XVII EDICIÓN. Curso de Estudios Mayores de la Construcción

# La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. CEMCO 2007

## Volumen I

## Estructuras y habitabilidad en edificación

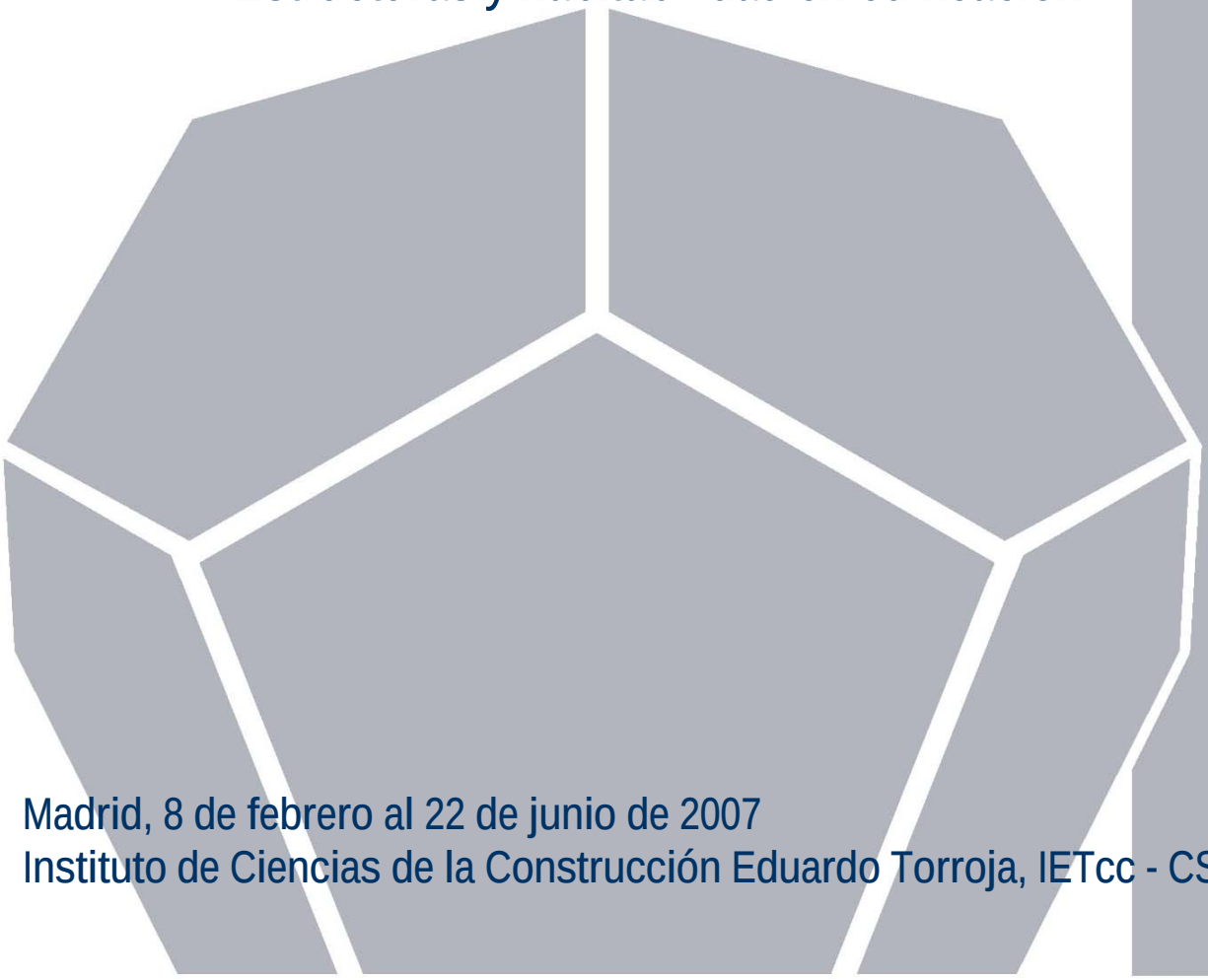
Madrid, 8 de febrero al 22 de junio de 2007
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc - CSIC

XVII EDICIÓN.
Curso de Estudios Mayores de la Construcción

# La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. CEMCO 2007

## Volumen I

## Estructuras y habitabilidad en edificación



Madrid, 8 de febrero al 22 de junio de 2007
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc - CSIC

© de los textos
Los autores

ISBN-13: 978-84-691-2405-5

Edita: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. IETcc – CSIC

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción parcial o total por ningún medio mecánico, fotográfico, o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado sin permiso del editor.

# Introducción

Desde el año 1956 el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC) viene realizando, a través del Curso de Estudios Mayores de la Construcción, CEMCO, una labor de formación y difusión científico-tecnológica en el área de la Construcción y sus Materiales. La decimoséptima edición (año 2007), de este Curso MASTER, teórico-práctico, *LA INNOVACIÓN EN LAS TÉCNICAS, LOS SISTEMAS Y LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, trató de continuar en la línea de informar sobre las novedades técnicas y los avances en cada área temática.

En el curso CEMCO 07 se planteó abordar la innovación desde un enfoque general dividiéndose en cinco áreas temáticas: MARCO GENERAL, ESTRUCTURAS, HABITABILIDAD EN EDIFICACIÓN, MATERIALES Y PRODUCTOS, DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO.

El curso constó de 16 seminarios de tres días de duración y 7 jornadas técnicas complementarias, de uno o dos días. Durante este tiempo se trataron tanto los conceptos consolidados como los últimos avances, se hizo hincapié en los aspectos más relevantes del marco general de la innovación y el desarrollo del sector, las estructuras a lo largo de su vida útil y de la habitabilidad en su relación con el medio ambiente, prestando además una atención especial a los materiales y productos.

A los profesores de este CEMCO les pedimos el esfuerzo adicional de tratar de decir por escrito lo que en este curso enseñaron, y que ha dado como fruto la obra que presentamos.

La publicación con el hilo argumental de la innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción se divide en los siguientes cuatro volúmenes:

Volumen I. – Estructuras y habitabilidad en edificación

Volumen II. – Materiales y productos

Volumen III. – Durabilidad y conservación de patrimonio

Volumen IV. – Jornadas CEMCO

Esta obra no recoge lo expuesto en los seminarios y jornada sobre “Estudios avanzados sobre cementos morteros y hormigones”, “Reciclado de materiales en el sector de la construcción” y “CEMCO – RECOPAR Limpieza de superficies exteriores de elementos constructivos”, que se trata en publicaciones independientes.

Esperamos que esta obra contribuya a promover la innovación en la construcción y transferir conocimientos y, principales objetivo del CEMCO 07.

**Los Directores de CEMCO 07:**
Juan Monjo Carrió. Dr. Arquitecto. Director del IETcc
José Antonio Tenorio Ríos. Ingeniero de Caminos, IETcc

**XVII edición del Curso de Estudios Mayores de la Construcción. CEMCO 2007**

La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción

Directores:

Juan Monjo Carrió
José Antonio Tenorio Ríos

Coordinación Docente:

Mª Teresa Carrascal García

Comisión Docente:

Compuesta por la dirección del curso y los directores de los seminarios:

MªCruz Alonso Alonso
Mª Carmen Andrade Perdrix
Ángel Arteaga Iriarte
Virtudes Azorín-Albiñana López
María Teresa Blanco Varela
Antonio Blázquez Morales
Rosa Bustamante
Ana de Diego Villalón
Aurelio Domínguez Álvarez
Luis Fernández Luco
Moisés Frías Rojas
José Fullea García
José Pedro Gutiérrez Jiménez
David Izquierdo López
Marcelo Izquierdo Millán
María Pilar Linares Alemparte
Mariana Llinares Cervera
María Eugenia Maciá Torregrosa
Esperanza Menéndez Méndez
Francisco Morán Cabré
Manuel Olaya Adán
Ignacio Oteiza
Rafael Piñeiro Martínez de Lecea
Francisca Puertas Maroto
David Revuelta Crespo
Jesús Mª Rincón López
Olga Isabel Río Suárez
Fernando Rodríguez García
Maximina Romero Pérez
Julián Salas Serrano
María Isabel Sánchez de Rojas
Luis Vega Catalán

Secretaría:

Mª Rosa Rodríguez Beltrán

Coordinadora de la obra:

Mª Teresa Carrascal García

Con la colaboración de:

Asociación de Miembros del Instituto Eduardo Torroja

MINISTERO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

CSIC

INSTITUTO EDUARDO TORROJA

FUNDACION ACS

FUNDACIÓN CAROLINA

# Volumen I.

# Marco general, estructuras y habitabilidad en edificación

S1 Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad

S3 Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego

S4 Industrialización y prefabricación de elementos estructurales de hormigón

S5 Hormigones estructurales especiales

S6 Habitabilidad edificatoria. Salubridad

S7 Habitabilidad edificatoria. Confort acústico y térmico

# Índice

# Volumen I

Seminario S1.
**Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad**

**Optimización de la producción de viviendas. Industrialización de viviendas sostenibles - INVISO**
Ignacio Oteiza; Juan Monjó,Marcelo Izquierdo; José Miguel de Prada; Juan Barceló; Miguel Villamor; Ana Iglesias; Domingo Guinea; Sergio Vega, y Javier Neila

**La innovación en el Código Técnico de la Edificación**
Javier Serra María-Tomé

**El papel de los centros de investigación**
Juan Monjo Carrió

Seminario S3.
**Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego**

**Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego. Tendencia Europea de nuevas reglamentaciones**
Julio P. Salazar-Mitchell

**Documento básico seguridad en caso de incendio: criterios y procedimientos generales**
María Eugenia Maciá Torregrosa

**El hormigón frente al fuego. Métodos de evaluación**
Mª Cruz Alonso Alonso

**Ensayos de reacción al fuego aplicables a materiales. Evolución normativa y exigencias actuales recogidas en CTE-SI y marcado CE**
Izaskun Martínez Lanz

**Evaluación de riesgos**
Mariana Llinares Cervera, Ángel Arteaga Iriarte

**Determinación experimental de la resistencia al fuego**
Vicente J. Moliner Besalduch

**Estudio del comportamiento de los materiales de la estructura del edificio Windsor frente a las altas temperaturas producidas en el incendio del 12 febrero de 2005**
José María Izquierdo y Bernaldo de Quirós

Seminario S4.
**Industrialización y prefabricación de elementos estructurales de hormigón**

**Empleo de hormigón autocompactante en prefabricación**
Hugo Lasala Alonso

**Acabados en elementos prefabricados**
David Fernández-Ordóñez Hernández

**Sistema construtivo INDAGSA de paneles portantes**
José Luis Cano Muñoz

**Consideraciones especiales en el calculo de estructuras prefabricadas**
Ángel Ortiz Bonet

**Marcado CE en productos prefabricados**
Eva Navarro Santolaria

**Marcado CE y marcas voluntarias. Sello CIETAN**
Olga Martínez Muñoz

Seminario S5.
**Hormigones estructurales especiales**

**Hormigón autocompactante. Características y aplicaciones**
Luis Garrido Romero

**Hormigón autocompactante. Propuesta de incorporación a la nueva EHE**
David Revuelta Crespo

**Hormigón estructural con árido reciclado. Características y aplicaciones**
Pere Borralleras Mas

**Borrador de normativa española sobre la utilización del árido reciclado en hormigón estructural**
Pilar Alaejos

**Hormigones reforzados con fibras. Características y aplicaciones**
David Revuelta Crespo

**El dique flotante de Mónaco. Aplicación del hormigón a una obra innovadora.**
Luis Peset González

**Optimización de sistemas de construcción “in situ” empleando hormigón autocompactante**
Antonia Pacios Álvarez

Seminario S6.
## Habitabilidad edificatoria. Salubridad

**Humedades de filtración en fachadas. Medidas de prevención**
Juan Monjo Carrió

**Sistemas de ahorro de agua en edificios**
Gonzalo López Patiño, Rafael Pérez García, Fco. Javier Martínez Solano

**Propuestas técnicas para atenuar la entrada de radón en los edificios**
Borja Frutos Vázquez, Manuel Olaya Adán

Seminario S7.
## Habitabilidad edificatoria. Confort acústico y térmico

**El ruido exterior a los edificios. Regulación de la contaminación acústica: La ley 37/2003, del ruido y su desarrollo reglamentario.**
José Manuel Sanz Sa

**Exigencias básicas frente al ruido en el interior de los edificios**
Amelia Romero Fernández

**Cálculos acústicos y aplicaciones informáticas**
Amelia Romero Fernández, Mª Teresa Carrascal García

**Soluciones constructivas de partición para satisfacer las exigencias básicas**
Mª Teresa Carrascal García

**Taller de mediciones acústicas**
Borja Frutos Vázquez

**Exigencias básicas de ahorro de energía en los edificios**
María Jesús Gavira Galocha

Seminario S1

# Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad

# OPTIMIZACION DE LA PRODUCCION DE VIVIENDAS. **IN**DUSTRIALIZACIÓN DE **VI**VIENDAS **SO**STENIBLES[1] - **INVISO**

Juan Monjo; Ignacio Oteiza; Marcelo Izquierdo; José Miguel de Prada; Juan Barceló; Miguel Villamor; Ana Iglesias; Domingo Guinea; Sergio Vega, Javier Neila. (Coordinadores de los subproyectos).

Organismos y Empresas participantes en el proyecto: IETcc-CSIC, ETSAM-UPM, DRAGADOS, DRACE, Nemetschek España, IAI-CSIC, Telefónica I+D, EMVS-Ayuntamiento de Madrid, Consejería de Vivienda de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, Aldesa ANDECE, CENER, IMat-ITec, GOP, Bluecoast, CIDEMCO.

## 1. Antecedentes

Se parte del Proyecto Singular Estratégico INVISO, aprobado en la última convocatoria, y en el se incorporan algunas tareas del equivalente APOLO, en las partes en las que INVISO tenía alguna carencia.

En cuanto al primer proyecto, que es el que se mantiene como estructura y objetivos básicos, se recuperan los subproyectos que no han sido aprobados, mejorando su contenido de innovación y objetivos, y se completan los subproyectos aprobados con la mejor definición de objetivos, tareas e hitos de innovación, incorporando nuevos socios que permitan esa mejora general.

En cuanto al segundo, se recuperan dos subproyectos que se añaden a los existentes en INVISO, a saber, uno relacionado con la mejora de los procesos constructivos y otro relacionado con la mejora de la eficiencia energética en elementos industrializados para la construcción de viviendas, incorporando asimismo a los socios de aquel proyecto que faciliten el logro de los nuevos objetivos.

Por otra parte, los antecedentes del Sector de la Construcción que justifican la presentación de este Proyecto como Singular y Estratégico, se mantienen, a saber:

[1] Proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia,- PROYECTOS SINGULARES Y ESTRATÉGICOS-2006.

- La vivienda es un bien de primera necesidad.
- La construcción de viviendas es una parte fundamental en el sector de la edificación en España (>80%) con una producción anual superior a las 700.000 unidades.
- Los sistemas y procedimientos actuales de construcción se pueden considerar obsoletos y faltos de eficiencia. Se mantienen prácticamente inalterados en los últimos 50 años, con un bajo nivel de "racionalización".
- La mayoría de las técnicas de construcción "in situ" de edificios de viviendas están basadas en el uso masivo de mano de obra, normalmente con una baja cualificación ("*Artesanía sin artesanos*") que suelen obligar a deshacer unidades de obra recién terminadas, con gran producción de escombros, y con el consiguiente empobrecimiento tecnológico del sector, así como un elevado número de problemas patológicos, además del inevitable encarecimiento del producto final. Según los últimos datos, más de un 10% del coste de construcción se dedica a corregir errores "in situ".
- En la actualidad, prácticamente cada edificio de viviendas resulta un prototipo en el que el diseño inicial no tiene suficientemente en cuenta el sistema constructivo a emplear en su ejecución, lo que obliga a adaptaciones durante la obra que no siempre resultan satisfactorias para el propio edificio e implican una pérdida de efectividad en el proceso global.
- Por otra parte, no se incorporan nuevas técnicas de ejecución y control que ya existen en otras cadenas de producción. Con ello se ve reducida la calidad y la eficacia y, en definitiva, la sostenibilidad del proceso en su conjunto.

Como consecuencia de todo lo anterior, cabe mencionar una serie de hechos concretos que sugieren una modificación del planteamiento actual:

**a.** *Altos precios*
**b.** *Baja calidad*
**c.** *Poca racionalización funcional y sostenible* de la vivienda
**d.** Dificultad de proyectar las viviendas para ser construidas con técnicas de "*montaje*" (industrializadas)

Paralelamente, la Comisión Europea está apoyando la realización de algunos proyectos de investigación relacionados con el presente, con respecto a los cuales INVISO supone un avance y una concreción de resultados en el entorno español. Nos referimos específicamente a MANUBUILD y a I3COM.

# 2. Objetivos

A la vista de esos hechos, el proyecto que se presenta persigue dos objetivos básicos:

- *Alcanzar la máxima sostenibilidad en la producción y uso de viviendas.*
- *Optimizar la producción de viviendas.*

## *2.1. Alcanzar la máxima sostenibilidad en la producción y uso de viviendas*

Resulta necesario fijarse una serie de hitos:

- ***Mejorar la eficiencia de las técnicas y procedimientos de construcción*** (materiales, elementos y ejecución) lo que implica la *racionalización de todo el proceso,* consiguiendo:
  - *alto grado de industrialización,*
  - *reducción de los plazos globales de ejecución,*
  - *reducción del coste total, por ahorro de tiempo.*
- ***Mejorar la calidad del producto final, y la durabilidad de sus elementos***, lo que supone un menor gasto en el uso y mantenimiento del edificio.
- ***Reducir la necesidad de mantenimiento****,* en sus diversas variantes:

  - *reducción de consumo energético,*
  - *reducción de la necesidad de reposición y reparación,* gracias a la mejor calidad y durabilidad de materiales y elementos.
- ***Mejorar la funcionalidad de la vivienda***, con un alto nivel de confort, gracias al *control automático del uso funcional (Domótica)* abarcando todos los aspectos de habitabilidad.

Para todo ello se debe disponer de unos "***laboratorios***" donde se pueda experimentar las mejoras funcionales. Laboratorios que funcionarán como campos de experimentación antes de concretar el diseño de las nuevas técnicas y productos, e incorporar las soluciones en los edificios demostradores. Se prevén tres campos en funcionamiento, uno en las dependencias del CSIC en Arganda del Rey, sustentado por el presente proyecto, otro en la UPM, en la Escuela T. S. de Arquitectura, aportado por otras actividades y, por tanto, sin coste para INVISO, y un tercero en Argamasilla de Calatrava, cedido por el propio ayuntamiento.

## *2.2. Optimizar la producción y mantenimiento de viviendas*

Se hace necesario entender la construcción de viviendas como un proceso global que incluye desde la redacción del proyecto hasta la finalización de su ejecución, y el mantenimiento durante su vida útil, pasando por la fabricación de materiales y elementos componentes, tanto constructivos como de instalaciones; **deben estar implicados, pues, todos los agentes intervinientes**.

Dicha optimización se puede conseguir a través de una serie de logros:

- ***Racionalización de los proyectos*** *(a costa de su posible singularidad)* lo que implica una consideración específica en ambas fases:
  - *Proyecto básico*, para optimizar su funcionalidad y posibilitar la industrialización de su ejecución, estableciendo las pautas de diseño necesarias para definir un "*proyecto para ser construido*", además de un "*proyecto para ser habitado de forma sostenible*."
  - *Proyecto de ejecución*, definiendo las especificaciones y condiciones técnicas para dicha industrialización.
- ***Coordinación y catalogación de productos y técnicas del mercado*** para conseguir:
  - Fácil adaptación mecánica y geométrica de los mismos para proyectos racionalizados (coordinación modular y acoplabilidad).
  - Posibilidad de su incorporación en un proceso de *industrialización de la construcción de viviendas.*
- ***Diseño de una herramienta informática que posibilite:***
  - *Incorporar y actualizar los distintos proyectos racionalizados* del primer apartado.
  - *Incorporar y actualizar los catálogos de productos y técnicas de industrialización* obtenidos a través del segundo apartado.
  - *Uso interactivo de la herramienta por los distintos agentes que intervienen en el proceso,* para la búsqueda de soluciones industrializadas a partir de situaciones reales:
    - *proyectistas,* de un modo preferente, para el diseño de sus proyectos,
    - *promotores,* para la optimización de sus edificios,
    - *fabricantes de materiales,* para especificar las calidades y geometrías de sus productos,
    - *constructores,* para racionalizar la ejecución de las obras,
    - *usuarios,* para optimizar el uso y mantenimiento.

  En definitiva, se pretende desarrollar un **sistema integrado de diseño asistido por ordenador que facilite la interacción entre las actividades de los distintos agentes que participan en el proceso de diseño y construcción de viviendas**.

Todo ello se debe completar con la realización de uno o varios "***edificios demostradores***" que permita comprobar la validez de la industrialización como un sistema constructivo que facilita la

racionalización de la ejecución de viviendas y, por tanto, la reducción de su costo y la mejora de su calidad, así como la utilidad de una herramienta informática que ayude a conseguirlo. Los edificios debe servir además de ejemplo de construcción industrializada sostenible, cuidando en especial los aspectos relacionados con el consumo de energía, durante la construcción y para su utilización, el consumo de recursos y el mantenimiento.

## 3. Subproyectos

Para el correcto desarrollo del proyecto, se proponen los siguientes subproyectos:

***SP 1 Análisis del entorno socioeconómico, coordinación y difusión***

Coordinación: IETcc-CSIC

Participantes:IAI-CSIC, EMVS, DRAGADOS, DRACE, Telefónica,Aldesa, Nemetschek.

De acuerdo con los antecedentes indicados, se procederá a un ***análisis de la situación actual*** y un estudio de las necesidades reales a partir de los diferentes agentes: consumidores, promotores, proyectistas, fabricantes y constructores, es decir, todos aquellos antecedentes que nos permitan la adecuada racionalización y sostenibilidad del proceso de producción de viviendas, así como la integración de las "TIC" para mejorar los procesos de diseño y construcción.
Además, se planteará, a nivel nacional, un ***concurso de ideas para la industrialización de viviendas***, con el objeto de sondear entre los agentes implicados en el proceso las posibilidades y las sugerencias para alcanzar los objetivos del proyecto.
Por otra parte, y dada la heterogeneidad de los diversos intereses que confluyen en el proyecto, se deberá proceder a la ***coordinación de los objetivos*** de todos y cada uno de ellos para asegurar la obtención de las metas finales.
Asimismo, comoquiera que la experimentación de los distintos elementos innovadores, tanto para la mejora de la producción como de la funcionalidad, requieren de la ***construcción y gestión de una infraestructura que permita la realización de ensayos de uso de los distintos elementos y productos***, este subproyecto se deberá encargar del diseño y la gestión de dicha infraestructura.
Por último, dada la innovación que la idea de la industrialización supone en el sector de la construcción de viviendas, se hace necesario un ***plan de difusión*** muy estudiado, para asegurar la aceptación de sus resultados entre los distintos agentes del sector; plan de difusión que supondrá la edición de *folletos informativos* del proyecto, la organización de una serie de *jornadas técnicas* de análisis y discusión del problema, *publicaciones* diversas para explicar las innovaciones y resultados que se vayan obteniendo y, en general, la mejora que ello puede suponer en la producción y uso funcional de las viviendas.

Como consecuencia, aparecen los siguientes **objetivos** concretos del subproyecto:

- ***Análisis de la situación actual.***
- ***Concurso de ideas para la industrialización de viviendas.***
- ***Coordinación de los distintos subproyectos.***
- ***Coordinación y gestión de las infraestructuras de experimentación.***
- ***Plan de difusión.***

Por su parte, los **hitos innovadores** de la labor de este subproyecto se pueden concretar en:

- **Propuestas generales para la industrialización de la ejecución de viviendas.**
- **Infraestructura de experimentación.**
- **Transferencia de conocimientos.**

## *SP 2 Tipología de soluciones racionalizadas de viviendas*

Coordinación: Proyectos-ETSAM-UPM
Participantes: ETSAM-UPM,IETcc-CSIC, EMVS, Nemetschek,

A partir de los numerosos proyectos de vivienda que se están desarrollando en España actualmente, tanto por promotores públicos como por los privados, se llevará a cabo un ***análisis de su tipología***, con el objeto de establecer las correcciones y variantes necesarias para conseguir que dichos tipos tengan una racionalización posible a nivel de proyecto básico y que faciliten la racionalización de su producción así como su sostenibilidad.
Ello irá precedido de un ***estudio sociológico*** que permita entender los diferentes tipos de *unidades básicas familiares*, desde las unipersonales, hasta las plurifamiliares, analizando su evolución a través del tiempo y su incidencia en el diseño y funcionalidad de la vivienda, incluso su posible adaptación dimensional a lo largo de la vida de la unidad familiar.
Con ello, y utilizando en lo posible las ideas obtenidas a través del concurso nacional, se podrán alcanzar una serie de "***proyectos básicos tipo***" que permitan esos objetivos y que puedan constituir la base de un *catálogo* de posible incorporación a la herramienta informática de ayuda al diseño de viviendas del subproyecto 7.

Así pues, los **objetivos** concretos del este Subproyecto se pueden resumir en:

- ***Análisis sociológico y tipología de la unidad familiar.***
- ***Tipología de soluciones racionalizadas de vivienda.***

En cuanto a los **hitos de innovación**, se pueden mencionar:

- **Catálogo de soluciones racionalizadas de viviendas en forma de proyectos básicos tipo.**

## *SP 3 Generación sostenible de energía en viviendas*

Coordinación: IETcc-CSIC.
Participantes: Tise-ETSAM-UPM,IAI-CSIC, EMVS, Telefónica, Nemetschek, UC3M.

Se trata de estudiar y definir las soluciones de ***bajo consumo energético en el uso y mantenimiento de la vivienda*** que puedan adaptarse mejor a procesos industrializados, a partir de las existentes. Para ello, se analizarán aquellas soluciones que traten de *minimizar el impacto ambiental* y *cogenerar energía,* desde las basadas en paneles solares, hasta las que utilizan combustibles de bajo consumo, como el gas, pasando por los paneles fotovoltaicos.
Asimismo, se establecerán las ***condiciones básicas de coordinación geométrica y funcional*** de los distintos equipos y unidades de confort, y se llevará a cabo el ***diseño de unidades de producción de frío-calor mediante el uso de combustibles económicos*** o reciclables, fácilmente incorporables en las unidades de vivienda tipo, con un análisis básico de ciclo de vida de las soluciones propuestas.
Por otra parte, se realizarán una serie de experiencias piloto en zonas climáticas adversas, para su comprobación funcional, en los distintos campos experimentales propuestos en el proyecto, especialmente en el de Argamasilla de Calatrava y en el de Arganda del Rey.

Para ello, se plantean los siguientes **objetivos** concretos:

- ***Diseño y adaptación experimental de aparatos de aprovechamiento solar para unidades familiares de diversos tamaños.***
- ***Id. de unidades de producción de energía de bajo coste.***
- ***Análisis de la producción industrial modulada de ambos tipos de productos para su óptima utilización en viviendas.***

Como consecuencia, se pueden indicar los siguientes **hitos innovadores**:

- **Máquinas de cogeneración de energía para su producción industrial y uso en viviendas.**

## *SP 4 Funcionalidad sostenible y Domótica*

Coordinación: Telefónica I+D

Participantes: ETSAM-UPM, CEDINT-UPM, IAI-CSIC, Telefónica, Aldesa,.

Actividad complementaria a la del punto anterior, en la que se persigue asegurar la funcionalidad sostenible de las viviendas industrializadas, persiguiendo la ***mejora de la funcionalidad de uso***, lo que implica la incorporación de *sistemas domóticos* de fácil comercialización y empleo, que permitan la ***automatización de las funciones usuales de habitabilidad***, además de asegurar el mejor aprovechamiento de los sistemas de ahorro energético, todo ello a través de las llamadas "***plataformas para el hogar***".

Para ello, se estudiarán los ***elementos electrónicos de funcionalidad domótica*** existentes en el mercado europeo (*dispositivos personales y del hogar, tecnologías para las redes, arquitecturas y estándares de interconexión, micro-servidores, terminales y sensores, etc.)* que se completarán con el nuevo diseño o la adaptación para asegurar su fácil producción y su mejor adaptación a la construcción industrializada de viviendas.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los elementos definidos, así como su fácil incorporación en el proceso, se experimentarán los distintos dispositivos en los "laboratorios" del proyecto, especialmente el de Arganda del Rey, lo que permitirá confirmar su adecuado funcionamiento y, si cabe, su mejora.

En este sentido, se pueden plantear los siguientes **objetivos** básicos del subproyecto:

- ***Mejora de la funcionalidad de uso sostenible de viviendas industrializables.***
- ***Diseño e implementación de las redes domésticas, incluyendo dispositivos conectados, para viviendas industrializables.***
- ***Diseño e implementación de los ambientes inteligentes.***

Asimismo, los **hitos innovadores** serán:

- **Diseño de sistemas y elementos domóticos de fácil aplicación en viviendas industrializables.**

## *SP 5 Optimización de la industrialización (mejora de sistemas, elementos y componentes)*

Coordinación: DRACE
Participantes: TISE-ETSAM-UPM, ANDECE, DRAGADOS, Nemetschek, IMat, CIDEMCO.

Para que los objetivos sean realistas y poder vencer la natural inercia y carácter conservador de la construcción, empezando por los mismos proyectistas, y resolver las dudas existentes sobre sostenibilidad, versatilidad formal y beneficios en la calidad de la edificación, resulta necesario establecer la ***integración técnica de los sistemas y productos*** que existen, o puedan existir, en el mercado nacional y europeo, con el objeto de que puedan disponer de una información técnica adecuada y suficiente para su incorporación en sistemas de industrialización, y que el programa informático de ayuda al diseño trabaje con elementos y componentes reales y, en su caso, el sistema funcione efectivamente como una industrialización abierta y se pueda hablar de "comprar y montar".

Para ello, se llevará a cabo, en primer lugar, un ***estudio de los antecedentes*** recientes así como la definición de unos ***criterios básicos de incorporación de los sistemas a una industrialización abierta***, definiendo los convenios dimensionales y modulares para dicha incorporación. Posteriormente se hará un ***análisis exhaustivo de los productos con algún nivel de prefabricación*** (producción en serie, con tipos estándar) que puedan ser incorporados en la vivienda final, en base a una adecuada *coordinación dimensional* en consonancia con las tipologías de diseño del segundo subproyecto, así como a un estudio exhaustivo de los ***sistemas de unión y acoplamiento entre elementos constructivos***. Todo ello, tanto para elementos y técnicas constructivas, como para instalaciones de acondicionamiento y servicios.
Con todo ello, se podrán definir las características fisicoquímicas y geométricas más adecuadas para los productos y técnicas constructivas, que podrán constituir un "***catálogo de elementos y componentes industrializables***", que tiene que ser susceptible de incorporarse en la herramienta informática de ayuda al diseño del subproyecto 7, y que facilite la labor de fabricantes, proyectistas, promotores, constructores y usuarios para conseguir un proceso de edificación de viviendas sostenible e industrializable.

Como consecuencia, se pueden establecer los siguientes **objetivos** prioritarios del subproyecto:

- ***Análisis crítico de la incorporación de los sistemas industrializados en la construcción de viviendas en la historia reciente (éxitos y fracasos).***
- ***Directrices y bases para la incorporación de los sistemas industrializados en la construcción de viviendas.***
- ***Clasificación y catalogación de tipologías y procedimientos constructivos.***
- ***Definición de los requisitos generales para la implantación eficaz de la industrialización de la vivienda.***
- ***Adopción de convenios de intercambiabilidad de componentes y de compatibilidad de juntas.***

Asimismo, los **hitos de innovación** previsibles se pueden resumir en:

- **Establecimiento de un sistema de coordinación modular de fácil uso en proyectos de viviendas.**
- **Generación de una base de datos sobre sistemas industrializados directamente aplicable en el proyecto básico y de ejecución de viviendas**
- **Diseño de elementos de conexión múltiple para sistemas prefabricados e industrializados.**

## *SP 6 Automatización de los procesos de ejecución*

Coordinación: IAI-CSIC
Participantes: IETcc-CSIC, TISE-ETSAM-UPM, Telefónica ,Aldesa.

Dentro de las posibles vías de industrialización del proceso, se contempla también la automatización de actividades de construcción, tanto en fábrica como en obra. En este sentido, se deben dar los siguientes pasos:

- ***Análisis de las actividades*** del proceso constructivo de viviendas susceptibles de ser automatizadas, bien por su repetitividad mecánica, bien por el posible ahorro que suponga su automatización, bien por el riesgo que implica la actividad para la seguridad de la mano de obra.
- ***Gestión de la ejecución*** de cada una de las actividades seleccionadas, lo que implica,
  - la *fabricación de componentes*,
  - la *logística* de la operación,
  - el *transporte y puesta en obra* de los elementos a incorporar, y
  - el *uso y mantenimiento* de la unidad constructiva.
- ***Automatización de la puesta en obra*** de los materiales y elementos de cada unidad, lo que a su vez requiere,
  - la *asistencia al operario*,
  - las *herramientas industriales* (máquina de construir) y
  - la *robotización integral* de la actividad.

Con ello se persigue reducir al máximo la intervención de la mano de obra en las operaciones de construcción con el doble objetivo de aumentar la calidad del producto y mejorar la seguridad de las operaciones.

Para la comprobación técnica y funcional de los distintos robots, se llevarán a cabo experimentos en el “laboratorio” situado en Arganda del Rey.

Como consecuencia, podemos definir los siguientes **objetivos** básicos del subproyecto:

- ***Análisis de las actividades del proceso constructivo susceptibles de ser automatizadas.***
- ***Definición de las especificaciones de ejecución de las unidades de obra seleccionadas para los robots.***
- ***Desarrollo de sistemas integrados de seguimiento de la ejecución de obra***
- ***Introducción de sistemas de captación de información en obra.***

Los **hitos de innovación** consecuentes serían:

- **Diseño y puesta a punto de robots para la ejecución automática de diversas actividades de construcción.**
- **Diseño y puesta a punto de sistemas de información actualizada de la marcha de la obra.**

## *SP 7 Herramienta informática*

Coordinación: Nemetschek
Participantes:TISE-ETSAM-UPM, DRAGADOS, NewCastle University

Se trata de estudiar y desarrollar un ***sistema informático capaz de definir y conformar los espacios para obtener posibles soluciones arquitectónicas para vivienda,*** dentro de los límites determinados por la tipología de proyectos desarrollada en los apartados anteriores, incorporando ***componentes industrializados existentes en el mercado,*** o técnicas tradicionales racionalizadas, así como soluciones sostenibles y sistemas domóticos de control funcional. Dicho programa debe ser pensado como una ***herramienta de ayuda al proyectista para la obtención del proyecto básico*** por medio de diversas iteraciones en las que van apareciendo posibles geometrías y relaciones de espacios, que el diseñador va seleccionando, hasta alcanzar la representación final del edificio, con los diversos sistemas que intervienen, desde el estructural hasta el de climatización, pasando por los de los cerramientos de fachada y cubierta y acabados interiores, así como las soluciones de aprovechamiento energético y control domótico.
También debe incluir el ***desarrollo del proyecto de ejecución***, en el que se deberán tener en cuenta: La normativa obligatoria, europea, nacional y autonómica, las soluciones constructivas aceptadas según el punto anterior, los cálculos estructurales y de diseño del confort interior, el desarrollo de planos de construcción, los pliegos de condiciones y especificaciones técnicas y las mediciones exhaustivas de la solución.
Asimismo, el programa puede ser una ***herramienta para el resto de los agentes del proceso***, tanto los *promotores* y *usuarios*, para definir tipos y programas de necesidades, como los *fabricantes* de materiales, para mejorar el diseño de sus productos, y los *constructores*, para racionalizar e industrializar los procesos de ejecución.

Para lograr todo eso, se plantean los siguientes **objetivos** básicos:

- ***Análisis de los programas existentes en el mercado y su depuración, teniendo en cuenta los datos a introducir resultantes de las labores de los anteriores subproyectos.***
- ***Estudio y desarrollo del "asistente de diseño" para el proyecto básico, a partir de la tipología de viviendas preparada en el SP 2, en el que se pasa del uso actual del "elemento constructivo" al de "tipología constructiva".***
- ***Estudio y desarrollo de un "asistente para la industrialización", basado también en las tipologías constructivas obtenidas en los SP 3, 4 y 5, para el desarrollo del proyecto de ejecución.***

Los **hitos de innovación** más importantes son:

- **El desarrollo de una herramienta que pueda realmente llamarse de "diseño asistido por ordenador", para la optimización del proceso de proyecto de viviendas. Un sistema "experto" que incorpora las nuevas tecnologías en materiales y procesos constructivos, así como los relativos a domótica y ahorro energético.**

## *SP 8 Ejecución de edificios de demostración*

Coordinación: EMVS

Participantes: IETcc-CSIC, IAI-CSIC; TISE-ETSAM-UPM, DRAGADOS, DRACE , Telefónica , Aldesa, Nemetschek

Para completar el estudio y asegurar su viabilidad, resulta necesario el ***desarrollo de los prototipos*** necesarios que nos permitirán ajustar los procedimientos de diseño en el proyecto básico y en el proyecto de ejecución, asegurando el funcionamiento de las soluciones constructivas seleccionadas y su sostenibilidad.
En ellos, además de ***comprobar la funcionalidad práctica de la herramienta informática*** diseñada y de sus resultados, se deberá analizar la ***viabilidad real de los procesos de industrialización de la fase de montaje***, incluso lo que podríamos denominar la *industrialización parcial del proceso constructivo*, racionalizando alguna parte del mismo, y todo ello con dos opciones posiblemente simultáneas, cuales son, el máximo uso de *unidades prefabricadas*, con elementos de alto nivel de acabado y certificados de calidad, y la racionalización de técnicas y sistemas convencionales, incluso su automatización, reduciendo la ejecución de *unidades de obra "in situ"*, lo que implica la participación de *mano de obra sin cualificar.*
Ello se debe completar con el establecimiento de *controles rigurosos de calidad de producción*, y posible instrumentación de las soluciones para comprobar su comportamiento.
Para una mejor comprobación, se deberán construir, por lo menos, ***dos tipos de edificios, a saber, viviendas en bloque y viviendas individuales***, probablemente adosadas.

En definitiva, se pueden establecer los siguientes **objetivos** básicos:

- ***Aplicación en nuevos proyectos de los resultados de los subproyectos anteriores.***
- ***Id. en edificios de vivienda, individuales y colectivas.***
- ***Análisis de las ventajas reales de los procesos de industrialización aplicados, tanto en proyecto como en construcción, y su seguimiento en el tiempo.***

Como **hitos innovadores** más destacados podemos mencionar:

- **La construcción de dos edificios reales, para ser usados, empleando los nuevos sistemas de diseño y construcción.**

## *SP 9 Diseño y experimentación de soluciones técnicas innovadoras*

Coordinación: TISE-ETSAM-UPM

Participantes: IETcc-CSIC, IAI-CSIC; ETSAM-UPM, CEDINT-UPM, Telefónica , CIDEMCO, GOP, Bluecoast, IMAT-ITec, CENER.

La finalidad del subproyecto es la de diseñar y desarrollar ***nuevas soluciones técnicas industrializadas sostenibles***, caracterizando el funcionamiento de las mismas, de forma que puedan ser integrados tanto en construcciones modulares ligeras, como en componentes integrables en edificios más convencionales.

Para ello se prevé ***implementar en el módulo experimental*** de la Universidad Politécnica de Madrid, diversas soluciones constructivas completamente innovadoras en España, que se están empezando a emplear en otros países del mundo (Europa, USA, Japón), para su experimentación y caracterización, procediendo en una segunda fase a la ***optimización de dichas soluciones técnicas, sus prestaciones, y condiciones de sostenibilidad***. Se enumeran a continuación algunas posibles líneas de investigación:

- *Desarrollo de sistemas de cimentación inteligente.*
- *Sistemas de doble piel y ventana inteligente. Caracterización y optimización*
- *Integración constructiva de los sistemas de inercia térmica variable, y sistemas con acumuladores de calor, en combinación con el SP10.*
- *Integración de sistemas de recuperación de calor para minimizar las pérdidas energéticas por ventilación, incorporando intercambiadores de alto rendimiento a baja temperatura, en combinación con el SP10.*
- *Nuevos recubrimientos de exterior de alto aislamiento mediante tecnología de tratamiento de superficies y control de la emisividad espectral.*
- *Aprovechamiento de los espacios de los elementos constructivos ligeros interiores (compartimentación; suelos técnicos sobreelevados, tabiques divisorios móviles etc.) para controlar las pérdidas de energía.*

En definitiva, se pueden mencionar los siguientes **objetivos** básicos:

- ***Búsqueda de nuevas soluciones técnicas innovadoras, su caracterización y optimización***
- ***Hacerlo desde parámetros de:***
  - *industrialización,*
  - *eficiencia en las prestaciones,*
  - *optimización del ciclo de vida de los materiales y sistemas,*
  - *análisis termo-económico de las soluciones innovadoras ("ingeniería de valor")*
  - *experimentación y optimización, para que pueda aplicarse industrialmente en un futuro cercano.*

En consecuencia, los **hitos de innovación** más representativos serán:

- ***Caracterización y patentes de soluciones técnicas innovadoras***

## *SP 10 Sistemas para la optimización del comportamiento eficiente de las viviendas*

Coordinación: ABIO-ETSAM-UPM
Participantes: TISE- ETSAM-UPM, CIDEMCO, GOP, IMAT-ITec, CENER.

La finalidad del subproyecto es la de generar conocimiento sobre distintas formas de ***optimizar el comportamiento eficiente de las viviendas*** en su forma de funcionar cotidiana, con sistemas que puedan ser integrados tanto en construcciones industrializadas, tanto modulares como más convencionales.
La innovación se centra en el desarrollo de conocimientos y experiencias que puedan generar nuevas ideas de cómo ***mejorar la sostenibilidad de las viviendas desde un comportamiento global más eficiente*****,** teniendo como objetivos la satisfacción del usuario por las prestaciones recibidas y la optimización energética necesaria para las mismas.

Algunas posibles líneas de investigación, dirigida específicamente a viviendas industrializadas, serían:

- *Revisión y caracterización de las técnicas pasivas convencionales en el funcionamiento energético de las viviendas. Estudio para la optimización de los recursos de la arquitectura bioclimática.*
- *Recuperadores de calor de superficie (geotermia solar) para el control de la inercia térmica del edificio.*
- *Sistemas de optimización de la iluminación natural.*
- *Optimización del comportamiento acústico. Interfaces con entorno y con las instalaciones.*
- *Sistemas de optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos de la vivienda. Tratamiento de aguas grises y aguas negras.*
- *Análisis de los sistemas de ventilación higiénica de las viviendas en relación con la eficiencia energética y acústica.*
- *Aprovechamiento de la generación de agua caliente solar para la mejora eficiente de las viviendas (geles de cambio de fase, chimenea solar,…)*

En consecuencia, podemos establecer los siguientes **objetivos** básicos:

- ***Nuevas soluciones para optimizar la eficiencia en el funcionamiento de las viviendas, refiriéndose a los parámetros de:***
  - *Eficiencia energética,*
  - *eficiencia en las condiciones de iluminación,*
  - *mejora del comportamiento acústico,*
  - *mejora en el aprovechamiento de los recursos hídricos,*
  - *eficacia en los sistemas de ventilación, compatibilizándolos con la minimización de las pérdidas energéticas.*

Los **hitos** de innovación más claros serán:

- ***Caracterización del modo de funcionamiento y patente de nuevas soluciones que mejoren la eficiencia en el comportamiento de las viviendas industrializadas***

# CUADRO RESUMEN - INVISO

| PLANTEAMIENTO GENERAL | |
|---|---|
| **Objetivos generales** | **Tareas básicas** |
| Alcanzar la máxima sostenibilidad en la producción y uso de viviendas | – Mejorar la eficiencia de las técnicas y procedimientos de construcción<br>– Mejorar la calidad del producto final y la durabilidad de sus elementos<br>– Reducir la necesidad de mantenimiento<br>– Mejorar la funcionalidad de la vivienda |
| Optimizar la producción y mantenimiento de viviendas | – Racionalización de los proyectos<br>– Coordinación y catalogación de productos y técnicas del mercado<br>– Diseño de una herramienta informática |

| INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN | | |
|---|---|---|
| **Socios** | **Campos de experimentación** | **Edificios demostradores** |
| – Empresas del sector<br>– Centros de investigación<br>– Universidades<br>– Promotores públicos de vivienda | – Arganda del Rey (CSIC)<br>– E T de Arquitectura (UPM)<br>– Argamasilla de Alba (Ayto.) | – EMVS (Madrid)<br>– Consejería de vivienda (Com. De Castilla La Mancha) |

| SUBPROYECTOS EXISTENTES | | |
|---|---|---|
| **Subproyecto** | **Objetivos básicos** | **Hitos innovadores** |
| SP 1 | – Análisis de la situación actual.<br>– Concurso de ideas para la industrialización de viviendas.<br>– Coordinación de los distintos subproyectos.<br>– Coordinación y gestión de las infraestructuras de experimentación.<br>– Plan de difusión. | – Propuestas generales para la industrialización de la ejecución de viviendas.<br>– Infraestructura de experimentación.<br>– Transferencia de conocimientos. |
| SP 2 | – Análisis sociológico y tipología de la unidad familiar.<br>– Tipología de soluciones racionalizadas de vivienda. | – Catálogo de soluciones racionalizadas de viviendas en forma de proyectos básicos tipo. |
| SP 3 | – Diseño y adaptación experimental de aparatos de aprovechamiento solar para unidades familiares de diversos tamaños.<br>– Id. de unidades de producción de energía de bajo coste.<br>– Análisis de la producción industrial modulada de ambos tipos de productos para su óptima utilización en viviendas. | – Máquinas de cogeneración de energía para su producción industrial y uso en viviendas. |
| SP 4 | – Mejora de la funcionalidad de uso sostenible de viviendas industrializables.<br>– Diseño e implementación de las redes domésticas, incluyendo dispositivos conectados, para viviendas industrializables.<br>– Diseño e implementación de los ambientes inteligentes. | – Diseño de sistemas y elementos domóticos de fácil aplicación en viviendas industrializables. |
| SP 5 | – Análisis crítico de antecedentes<br>– Directrices para la incorporación de sistemas industrializados en la construcción de viviendas.<br>– Clasificación y catalogación de tipologías y procedimientos constructivos.<br>– Definición de los requisitos generales para la implantación eficaz de la industrialización de la vivienda.<br>– Adopción de convenios de intercambiabilidad de componentes y de compatibilidad de juntas. | – Establecimiento de un sistema de coordinación modular de fácil uso en proyectos de viviendas.<br>– Diseño de elementos de conexión múltiple para sistemas prefabricados e industrializados.<br>– Generación de una base de datos sobre sistemas industrializados directamente aplicable al proyecto y a la ejecución de viviendas |

| | | |
|---|---|---|
| SP 6 | – Análisis de las actividades del proceso constructivo susceptibles de ser automatizadas.<br>– Definición de las especificaciones de ejecución de las unidades de obra seleccionadas para los robots.<br>– Desarrollo de sistemas integrados de seguimiento de la ejecución de obra<br>– Introducción de sistemas de captación de información en obra. | – Diseño y puesta a punto de robots para la ejecución automática de diversas actividades de construcción.<br>– Diseño y puesta a punto de sistemas de información actualizada de la marcha de la obra. |
| SP 7 | – Análisis de los programas existentes en el mercado y su depuración, teniendo en cuenta los datos a introducir resultantes de las labores de los anteriores subproyectos.<br>– Estudio y desarrollo del "asistente de diseño" para el proyecto básico, a partir de la tipología de viviendas preparada en el SP 2, en el que se pasa del uso actual del "elemento constructivo" al de "tipología constructiva".<br>– Estudio y desarrollo de un "asistente para la industrialización", basado también en las tipologías constructivas obtenidas en los SP 3, 4 y 5, para el desarrollo del proyecto de ejecución. | |
| SP 8 | – Aplicación en nuevos proyectos de los resultados de los subproyectos anteriores.<br>– Id. en edificios de vivienda, individuales y colectivas.<br>– Análisis de las ventajas reales de los procesos de industrialización aplicados, tanto en proyecto como en construcción, y su seguimiento en el tiempo. | – La construcción de dos edificios reales, para ser usados, empleando los nuevos sistemas de diseño y construcción. |
| SP 9 | – Búsqueda de nuevas soluciones técnicas innovadoras, su caracterización y optimización<br>– Hacerlo desde parámetros de industrialización, eficiencia en las prestaciones, optimización del ciclo de vida de los materiales y sistemas, análisis termo-económico de las soluciones innovadoras ("ingeniería de valor") y experimentación y optimización, para que pueda aplicarse industrialmente en un futuro cercano | – Caracterización y patentes de soluciones técnicas innovadoras |
| SP 10 | – Nuevas soluciones para optimizar la eficiencia en el funcionamiento de las viviendas, refiriéndose a los parámetros de eficiencia energética, eficiencia en las condiciones de iluminación, mejora del comportamiento acústico, mejora en el aprovechamiento de los recursos hídricos, eficacia en los sistemas de ventilación, compatibilizándolos con la minimización de las pérdidas energéticas. | – Caracterización del modo de funcionamiento y patente de nuevas soluciones que mejoren la eficiencia en el comportamiento de las viviendas industrializadas |

Madrid, febrero 2007

CURSO
CEMCO 2007

Seminario S1
Innovación y desarrollo tecnológico en el sector.
Fomento de la calidad y la sostenibilidad
La innovacion en la Reglamentación

# “La innovación en el Código Técnico de la Edificación”

Javier Serra

14 de febrero de 2007

## 1. INTRODUCCIÓN

En el mundo occidental, la innovación siempre ha estado muy estrechamente relacionada con los grandes cambios sociales, pues se la ha responsabilizado de muchos de ellos. Existen una serie de claves para comprender el peso de la innovación y sus relaciones con la economía y la sociedad por una parte, y con la ciencia, por otra.

El siglo XX ha sido sin duda uno de los de mayor avance tecnológico, tanto en las ingenierías tradicionales como en las aplicaciones médicas y biológicas. Los primeros decenios vieron consolidarse modelos teóricos que permitían comprender tanto fenómenos conocidos como otros que la actividad experimental, ampliamente renovada, ponía de manifiesto. La genética, la relatividad y la teoría cuántica son productos de este siglo, como también lo son muchos nuevos materiales, los antibióticos, las aplicaciones enormemente extendidas de la radiación electromagnética, la energía nuclear, los satélites artificiales, el ordenador, Internet y la ingeniería genética, entre otros muchos.

Del mismo modo, ha quedado patente que la sustitución de productos y procesos de la forma acelerada que ahora conocemos data de hace pocos años. La vida de un producto o de un proceso ha entrado en una fase de drástica reducción, inimaginable hasta hace poco por parte de tecnólogos y economistas. Seguramente, nunca hasta estos días las empresas han sabido sacar provecho de la "curva de aprendizaje", que se ha convertido en la actualidad en uno de sus más claros factores de competitividad, al permitirles idear, sobre la base de lo aprendido, nuevos procesos y productos con costes continuamente decrecientes.

La rápida evolución del conocimiento científico y del potencial tecnológico que se ha producido durante todo este último siglo ha sido motivo de constantes trabajos tanto especializados como de divulgación. En este sentido, es especialmente importante destacar que sólo recientemente ha surgido cierta preocupación por las consecuencias económicas del cambio tecnológico, y esto es debido, seguramente, a que hasta fechas muy recientes este cambio era suficientemente lento como para que las teorías económicas consideraran la tecnología como un factor exógeno al que los sistemas económicos, de alguna u otra forma, debían adaptarse.

La innovación ha dejado de ser un fenómeno marginal de la economía moderna. Antes al contrario, la innovación es una actividad esencial para la dinámica industrial y el desarrollo de las naciones. Muchos estudios econométricos han tratado de evaluar el impacto de la investigación sobre la productividad y otros parámetros económicos sobre la base de resultados sociales y políticos y, prácticamente todos, han mostrado retornos positivos con respecto a los fondos utilizados.

De acuerdo con esto, resulta lógico observar cómo la política científica de los Estados Unidos del último medio siglo se ha conformado, en gran medida, por la experiencia del papel decisivo de la ciencia en la II Guerra Mundial. Esta idea fue resumida por su Presidente en tres principios:

1. La ciencia contribuye a servir las necesidades nacionales más críticas.
2. La financiación pública de la investigación es una función principal de la administración.
3. Los beneficios de la ciencia se extienden a través de los mecanismos naturales del mercado.

Del mismo modo, la vertiente europea aborda la idea básica de integración de la ciencia y tecnología europeas como uno de los frutos y fundamentos de la eficacia política de sus objetivos económicos y de la materialización de dichos objetivos.

Este aparente común acuerdo sobre la importancia de la política científica y tecnológica no está exento de la obtención de resultados diferentes porque, si bien es reconocida la excelencia de muchos de los descubrimientos científicos de la ciencia europea, no abunda tanto su utilización por parte de empresas rentables. Es decir, resulta rara la existencia de inversores dispuestos a enfrentarse con los riesgos de la comercialización de los nuevos descubrimientos, ya que el modelo americano de capital riesgo es mucho menos frecuente en los países europeos. La financiación a través de capital riesgo, principalmente en Estados Unidos, ha prestado en las últimas décadas una especial atención a las aplicaciones potencialmente útiles, y a la transformación en negocios de las nuevas ideas científicas.

En definitiva, la globalización actual de las relaciones ciencia-tecnología-economía está imponiendo nuevos tratamientos y exigencias a la investigación científica, a la vez que considera la innovación como fuente fundamental de progreso y riqueza económica, e incluso, de prestigio político.

## 2. LA INNOVACIÓN MOTOR DE LA PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD

Uno de los objetivos de la política económica del Gobierno es el **impulso de la productividad**. En cada uno de los sectores productivos se están tomando medidas que contribuyan a la mejora de la productividad. Para lograr esta meta las estrategias y actividades deben ser integradas y permanentes. Además del esfuerzo colectivo del sector público, deben involucrar a empresarios, trabajadores y organizaciones sociales.

La **construcción** es una de las actividades industriales que de forma más significativa contribuyen al PIB y cuyo efecto multiplicador global se estima en torno a dos (una subida de un punto porcentual en la demanda constructiva, se traduce en casi el doble de subida en la producción económica del país. No obstante, debe destacarse que es también, un sector cuya productividad, en relación con otros sectores puede calificarse de baja. Es evidente pues que cabe mejorar la productividad, la competitividad, la calidad y la seguridad de este sector.

Un aspecto que caracteriza al sector de la construcción es el elevado **número de agentes** que intervienen en él: promotores, proyectistas, directores de obra, constructores, fabricantes de productos de construcción, etc. Por su parte, la actividad de la promoción edificatoria comprende un número grande de fases y constituye un proceso complejo y de larga duración, donde la medida de su productividad es de gran complejidad. El número de indicadores de productividad es por tanto amplio, y el estudio y medida de la misma podría hacerse globalmente, aunque de forma difícil, o bien en cada una de las fases que desarrollan sus agentes, de forma que puedan plantearse la influencia de diferentes acciones que traten de mejorar la productividad.

Una progresiva reorientación hacia los objetivos de la **construcción sostenible y de rehabilitación**, y hacia la satisfacción de las demandas sociales contribuirá a incrementar la competitividad a la vez que beneficiar a la sociedad en su conjunto. Una de las estrategias consiste en mejorar el **marco reglamentario**. Debido a su impacto en la salud seguridad y el medio ambiente, el sector de la construcción está muy regulado, tanto en los productos como en las obras. Ello comporta inevitablemente un impacto sobre esta industria. La Comisión de la UE está actuando para consolidar y simplificar la legislación relativa al Mercado

Interior y de contratación pública con el fin de crear un marco favorable y transparente para la competitividad, eliminando las barreras que existen al comercio.

Como en otros sectores industriales, la mejora de la productividad del sector va ineludiblemente ligada, entre otros aspectos, al **desarrollo de la innovación y a la implantación de las nuevas tecnologías** en todos los ámbitos del proceso productivo. Es un hecho que la innovación, elemento crucial para proporcionar unos altos niveles de calidad a precios competitivos haciendo más productivos los procesos, muchas veces se ve frenada por un marco reglamentario excesivamente rígido y de carácter fundamentalmente prescriptivo en el cual encajan difícilmente los materiales, productos, sistemas y procedimientos innovadores.

Por otro lado debe conseguirse que el progreso en los niveles de productividad no suponga, una merma en la calidad de la edificación. La competitividad del sector de la construcción depende, pues, cada vez más de su capacidad de innovar, tanto en el nivel del proceso, como en el desarrollo de productos, en la organización de las obras y en la rápida difusión de las nuevas tecnologías. A este respecto es esencial aumentar la inversión en investigación y acelerar la penetración de nuevas tecnologías en las PYMES, su contribución al desarrollo de nuevos mercados y a la mejora de las normas y reglamentaciones.

Recientemente, la Comisión Europea ha publicado dos **informes** que pretenden alcanzar los objetivos de la **Agenda de Lisboa para la competitividad europea**, mediante unas políticas fuertes en lo relativo al desarrollo innovador sostenible. Estas políticas ambientales revisadas que pretenden llevarse al Consejo de marzo de 2005 tienen como mensajes clave la idea de que una política ambiental y de "**eco-innovación**" puede promover el desarrollo económico, y mantener y crear puestos de trabajo, contribuyendo a la competitividad y al empleo. La denominada "eco-industria" se ha estado comportando mejor que el resto de la economía, y emplea a más de dos millones de personas en Europa y continúa creciendo a un ritmo del 5% anual. Entre los principales retos están la aplicación de la legislación europea ambiental, una mejor reglamentación, más sencilla que reduzca los costes y trabas administrativas en el sector.

La Comisión, en un **segundo informe** relativo a la puesta en práctica de un **Plan de Acción de tecnologías Ambientales** (ETAP) recomienda establecer los denominados "Green Investment Funds" para las PYMES, y definir "performance targets" es decir objetivos prestacionales, para productos, procesos y servicios clave. La Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) ha lanzado un catálogo "on-line" de tecnologías ambientales (Green Technologies), en línea con lo dicho.
En materia de **políticas energéticas**, la UE se enfrenta en estos momentos al reto de la transposición de la importante **directiva 2002/91/CE** sobre **rendimiento energético de edificios** que va a abrir un campo nuevo a estas industrias relacionadas con la mejora del medio ambiente en la construcción de edificios.

## 3. SITUACIÓN EN ESPAÑA: EL NUEVO CÓDIGO TÉCNICO

En España, el avance hacia un marco reglamentario más abierto, de carácter prestacional, como es el nuevo Código Técnico de la Edificación, aúnan convenientemente unas garantías de los niveles de seguridad y habitabilidad acordes con la demanda social, con una flexibilidad en la forma de conseguirlos, posibilitando el avance de la innovación dentro del sector, y por ende mejorando sus niveles de productividad. Los aspectos energéticos, medioambientales, en definitiva, la apuesta por la mejora de la sostenibilidad de la edificación que se pretenden con el código son patentes.

### *Un nuevo Marco normativo para la edificación*

El Código Técnico de la Edificación, CTE, es el Marco normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, que permiten el cumplimiento de los 'requisitos básicos de la edificación' establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, LOE con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente.

### *Los Requisitos Básicos de la edificación*

Los requisitos mencionados en la LOE son el núcleo central de la regulación del CTE, y abarcan los relativos a la funcionalidad (utilización, accesibilidad y acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información), los relativos a la seguridad (estructural, en caso de incendio y de utilización) y los de habitabilidad (higiene, salud y protección del medio ambiente, protección contra el ruido, ahorro de energía y aislamiento térmico). El Código Técnico desarrolla, según se indica en la Ley, los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad dejando los de funcionalidad para que sean desarrollados por otros órganos competentes.

Está previsto incluir los requisitos de accesibilidad en tanto que sean las condiciones básicas mínimas de accesibilidad que requiere sean aprobadas por el Gobierno, según lo establecido en la Ley 51/2003, sobre Igualdad de Oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal para las personas con discapacidad.

### *Enfoque por prestaciones*

El Código está planteado con un enfoque moderno denominado "por objetivos o prestaciones" que son las exigencias que han de cumplir el edificio o sus partes y las características de sus materiales, productos o sistemas. Este enfoque por objetivos es semejante al adoptado en el ámbito de la Unión Europea y también se alinea con el denominado "enfoque basado en prestaciones", propugnado por las principales organizaciones internacionales relacionadas con los códigos de edificación, tales como el Consejo Internacional para la Investigación e Innovación de la Edificación y Construcción, CIB, o el Comité Interjurisdiccional de Colaboración Reglamentaria, IRCC, foros internacionales en los que España participa activamente.

### *Tendencia mundial*

La creciente tendencia en el mundo de introducir códigos basados en prestaciones es fundamental para mejorar la competitividad y eficiencia en el sector de la construcción. Al fomentar la innovación y la flexibilidad en general, los códigos de la edificación basados en prestaciones potencian el uso de nuevas técnicas y prácticas constructivas, conduciendo al aumento de la eficiencia del proceso.

### *Ordenación del Código en dos partes*

El Código tiene dos partes diferenciadas, en la primera parte se fijan las disposiciones generales y las condiciones técnicas y administrativas que deben cumplir las obras de edificación. Además en esta parte se enuncian las llamadas Exigencias Básicas que desarrollan los Requisitos Básicos, y que en número representan dos para seguridad, seis sobre seguridad en caso de incendio, ocho de seguridad de utilización, cinco de higiene salud y protección del medio ambiente, una de protección frente al ruido y cinco de ahorro de energía. En esta parte el Código define además el proyecto y los llamados 'Documentos Reconocidos', estos

segundos de singular importancia previsible en este nuevo marco normativo que quiere fomentar la innovación.

***Los Documentos Básicos***

La segunda parte del Código la componen los Documentos Básicos, DB, de carácter reglamentario y que ofrecen a los proyectistas una serie de métodos y soluciones que se considera cumplen las exigencias del Código. El nuevo marco normativo por lo tanto sigue dando la seguridad jurídica que demandan los técnicos, aunque permite como se ha dicho la innovación.

Los Documentos Básicos, al ceñirse a dar respuesta a cada uno de los seis requisitos básicos establecidos por la LOE, podría decirse que son seis, uno por cada requisito. Sin embargo el requisito básico de seguridad estructural tiene una peculiaridad. Como se verá más adelante, al glosar estos DB, la parte estructural del Código se compone de un conjunto de documentos comunes (seguridad estructural, acciones y cimentaciones) y un documento por cada tipología constructiva contempladas (acero, madera, fábricas de ladrillo y bloques). En esta primera versión del Código no existe un documento sobre estructuras de hormigón, por lo que se hace una referencia a la normativa española de hormigón estructural, EHE, que contempla en su ámbito todo tipo de obras de construcción, incluidas las de edificación.

***Los Documentos Reconocidos***

Por su parte, los Documentos Reconocidos mencionados anteriormente, serán una serie de documentos externos al Código, que servirán de complemento de los anteriores documentos básicos y que nacen con el objetivo de permitir el mejor cumplimiento del Código contribuyendo al fomento de la calidad de la edificación. Estos documentos, que no tienen carácter reglamentario, permitirán la participación del propio sector en su elaboración y serán reconocidos por el Ministerio de Vivienda. Esta participación se espera sirva para promover la I+D+i también en el propio sector, aspecto fundamental.

***El Registro General del Código***

Para crear un marco de fomento de la calidad se creará el Registro General del Código en el que se inscribirán y harán públicos además de los documentos reconocidos, los distintivos de calidad u otras evaluaciones técnicas de carácter voluntario que contribuyan al cumplimiento del Código.

***Un Código que deberá estar al día***

El código se actualizará periódicamente el Código conforme a la evolución de la técnica y la demanda de la sociedad, para lo que se creará la Comisión Permanente del Código Técnico de la Edificación de la que podrán formar parte todos los sectores interesados. En las futuras versiones se deben recoger los avances en el conocimiento de los distintos temas que se obtengan de la llamada investigación prenormativa que se convierte así en un pilar básico para el futuro de la edificación y su reglamentación.

***Un Código abierto a la innovación***

El Código Técnico de la Edificación es el nuevo marco normativo que regula las exigencias básicas de la edificación. El Código está planteado con un **enfoque abierto, basado en prestaciones**, y por ello impulsa la innovación en construcción lo que redunda en el desarrollo tecnológico. El principal objetivo del código es atender la demanda creciente de los

usuarios en cuanto a bienestar y calidad de los edificios; sin olvidar los objetivos medioambientales. Con el nuevo código los edificios serán más seguros, habitables, sostenibles, etc.
Asimismo, y en línea con los objetivos antes indicados que propone la UE para mejorar la competitividad, requieren que la propia estructura del marco reglamentario tenga que ser ágil y dinámica Con el enfoque planteado en el reglamento se ha pretendido crear un nuevo entorno en el que el sector pueda participar en la creación de documentos de apoyo al Código, los ya citados **Documentos Reconocidos**. Para la elaboración de estos documentos se hace necesario que el propio sector acometa trabajos de investigación. Los denominados Documentos Reconocidos podrán ser como guías técnicas, códigos de buena practica, modelos de análisis de comportamiento alternativos, etc., que sin tener carácter reglamentario son reconocidos por la administración y pueden ayudar a los agentes intervinientes en el proceso, a demostrar el cumplimiento del Código, y suponen una puerta a la innovación.

***Un Código bien ordenado***

Otra premisa básica, necesaria para alcanzar niveles óptimos de productividad es que el marco reglamentario se estructure de una forma clara. En este sentido, el Código Técnico de la Edificación simplifica y supera una situación de dispersión reglamentaria que desorientaba a los técnicos dificultando su actividad e incidiendo, por tanto negativamente sobre la productividad global del proceso. Este carácter aglutinador del nuevo Código elimina asimismo los riesgos de contradicciones y permite identificar con mayor facilidad las lagunas reglamentarias que deben ir siendo eliminadas conforme al desarrollo del estado del arte, aspectos que deben redundar positivamente sobre los niveles de calidad y productividad del sector. La relación entre un marco exigencial abierto y mayores niveles de productividad puede observarse en el análisis de aquellos países de nuestro entorno que han implantado códigos de edificación con enfoque prestacional.

***Un Código flexible***

La sociedad moderna es una sociedad cambiante, en constante desarrollo, donde tanto las demandas sociales como la forma de satisfacerlas evolucionan de forma significativa. La reglamentación debe necesariamente evolucionar en paralelo, de acuerdo con el avance de la técnica, si no se quiere constituir un freno a dicho desarrollo. El código técnico de la Edificación se plantea desde esta óptica de flexibilidad, y va a requerir una permanente actualización y desarrollo, siempre basados en investigación y desarrollos aplicados, de forma que se mantenga su espíritu de código prestacional abierto a al innovación. En la medida que esto se vaya logrando se alcanzarán objetivos de mejor productividad.

***EL papel de la investigación prenormativa***

Además, tanto para la propia revisión, y actualización del Código, obligada por la propia la Ley de Ordenación de la Edificación, como para contribuir a la elaboración de Documentos Reconocidos, se ha de poner en marcha la llamada **investigación prenormativa**. Esta investigación tratará de completar los vacíos de conocimiento y avanzar en el estudio del comportamiento de la tecnología actual. Se trata pues de una investigación de carácter aplicado y muy enfocada en cuanto a sus objetivos. En definitiva, este nuevo código conducirá a una mayor tecnificación e industrialización de la industria construcción, lo que conducirá a avances y cambios estructurales importantes.

## 4. CONCLUSIÓN

Por todo lo anterior, puede concluirse que todos los aspectos anteriores tendrán una influencia positiva en la productividad del sector de la construcción, y en definitiva, se puede afirmar que la aprobación de un Código Técnico de la Edificación nuevo, simplificador, enfocado a la sostenibilidad y el ahorro de energía, abierto a la innovación, es congruente con el objetivo fundamental de las medidas de política económica del Gobierno español en cuanto a aumentar el crecimiento potencial y la productividad de la economía.

Madrid, 8 de Febrero al 22 de Junio de 2006

**La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción**

(Seminario 1. Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad)
*(Mesa redonda*: La infraestructura de I+D+i)

# EL PAPEL DE LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN

Juan Monjo Carrió, Dr. Arquitecto
IETcc

## 1 Los centros de investigación

Podemos adjudicar tres características básicas a los centros de investigación desde el punto de vista de su papel en el panorama de la I+D+i, a saber:

Son ***conocedores*** de la "demanda" de innovación, puesto que en su papel de investigadores deben estar al día de las necesidades reales de innovación de su sector correspondiente, tanto por parte de la industria como por parte de la Administración pública.

Son ***procuradores*** de la "oferta" de investigación, ya que se dirigen a la Administración y al sector industrial para ofrecer sus servicios como investigadores, además de conocer la oferta de ayudas y subvenciones, tanto particulares como públicas existentes en cada momento.

Son ***colaboradores*** con las empresas en el desarrollo de la innovación, estando dispuestos a la creación de empresas de base tecnológica (EBT) para llevar a cabo el desarrollo de la innovación, a partir de la investigación llevada a cabo.

Por su parte, el ***Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*** (IETcc) cumple todas y cada una de esas características, contenidas en su "misión" como centro de investigación, además de ofrecer:

- ***asistencia científico-técnica*** al sector de la construcción, tanto de forma directa, con contratos de investigación con las empresas del mismo, como de forma indirecta, con la acreditación y certificación de productos, especialmente los innovadores, y

- ***transferencia*** de los resultados de la investigación a todos los profesionales y técnicos del sector, con numerosas jornadas técnicas y cursos como el presente, además de publicaciones, tanto periódicas (dos revistas pioneras: *Informes de la construcción* y *Materiales de construcción*) monografías y libros técnicos.

# 2 Datos sobre las actividades de investigación en el sector

- ***El futuro*. Datos de propuestas de investigación en las Primeras Jornadas Nacionales de Investigación en Construcción (2005)**

Para poder establecer unas conclusiones y propuestas, veamos algunos datos estadísticos sobre las actividades de investigación en España, distribuidos en tres apartados correspondientes al *pasado* inmediato, al *presente* y al *futuro* basado en las últimas propuestas.

## 2.1 El pasado

El ***pasado*** lo analizamos a partir de las actividades llevadas a cabo en el IETcc en el periodo 2001-2006.

En cuanto a los proyectos de investigación, recogemos los llevados a cabo en los trienios 2001-2003 y 2004-2006, que se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 1 - Proyectos de investigación desarrollados en el IETcc en los trienios 2001-2003 y 2004-2006**

| TEMA | 2001-2003 | % | 2004-2006 | % |
|---|---|---|---|---|
| **Materiales** | 43 | 54,5 | 25 | 33,5 |
| **Sistemas constructivos** | 13 | 16,5 | 17 | 22,5 |
| **Patología y patrimonio** | 12 | 15 | 20 | 26,5 |
| **Medio ambiente** | 6 | 7,5 | 7 | 9,5 |
| **Sector de la Construcción** | 5 | 6,5 | 6 | 8 |
| **TOTAL** | **79** | | **75** | |

Se observa una clara dominancia de los proyectos relacionados con materiales, con tendencia a disminuir, mientras que suben los relacionados con sistemas constructivos, en general, y con patrimonio y medio ambiente, en particular.

Por su parte, recogemos los contratos de investigación llevados a cabo en el quinquenio 2002-2006, como *actividades de apoyo científico-técnico*, que aparecen en la siguiente tabla:

**Tabla 2 - Actividades de apoyo científico-técnico al Sector, en el quinquenio 2002-2006**

| TIPO DE TRABAJO | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Características de materiales** | 203 | 199 | 198 | 178 | 194 | 972 | 44,4 |
| **Certificación y evaluación de productos** | 105 | 129 | 116 | 133 | 170 | 653 | 29,8 |
| **Patología y evaluación de Patrimonio** | 88 | 88 | 75 | 79 | 73 | 403 | 18,4 |
| **Otros** | 27 | 40 | 26 | 32 | 37 | 162 | 7,4 |
| **TOTAL** | **423** | **456** | **415** | **422** | **474** | **2190** | |

En esta segunda tabla podemos comprobar también el dominio de los contratos de investigación relacionados con características de materiales, seguidos de los de certificación y evaluación de productos de construcción, en general, y de patología y evaluación del patrimonio construido, a continuación.

## 2.2 El presente

Para analizar el ***presente*** utilizamos los datos proporcionados por el *Programa de Construcción* del *Plan Nacional de I+D,* del Ministerio de Educación y Ciencia, en los últimos tres años (2004-2006) los de la vigencia del Programa.

**Tabla 3 - Proyectos aprobados en el Programa de Construcción en el periodo 2004-2006, agrupados por objetivos**

| OBJETIVOS | 2004 | 2005 | 2006 | Total | % |
|---|---|---|---|---|---|
| **Materiales y productos para la construcción** | 16 | 8 | 6 | 30 | 19 |
| **Tecnologías, sistemas y procesos constructivos** | 17 | 11 | 8 | 36 | 22,5 |
| **Sistemas de evaluación y gestión en la construcción (incl. sostenibilidad)** | 13 | 11 | 26 | 50 | 31,5 |
| **Mantenimiento, evaluación y rehabilitación** | 26 | 7 | 3 | 36 | 22,5 |
| **Otros** | 1 | 3 | 3 | 7 | 4,5 |
| **TOTAL** | **73** | **40** | **46** | **159** | |

Se observa un porcentaje superior de los objetivos relacionados con la evaluación y gestión, lo que incluye la sostenibilidad, seguidos por partes iguales por los proyectos relacionados con *tecnologías, sistemas y procesos*, junto con los relativos a *mantenimiento, evaluación y rehabilitación*. Al mismo tiempo, se observa un porcentaje menor de los proyectos relacionados con *materiales y productos*, probablemente por la existencia de un programa específico de materiales en el mismo Plan Nacional.

A su vez, estos proyectos se pueden agrupar en las siguientes áreas, recogidas en la tabla 4.

**Tabla 4 - Proyectos aprobados en el Programa de Construcción en el periodo 2004-2006, agrupados por áreas**

| AREA | PROYECTOS | % |
|---|---|---|
| **Ingeniería Civil** | 67 | 42,1 |
| **Arquitectura y Edificación** | 52 | 32,7 |
| **Ciencia y Tecnología de los Materiales** | 24 | 15,1 |
| **Física** | 5 | 3,2 |
| **Psicología** | 3 | 1,9 |
| **Ingeniería Mecánica, Naval y Aeronáutica** | 3 | 1,9 |
| **Arte** | 3 | 1,9 |
| **Historia** | 2 | 1,2 |

Podemos ver un porcentaje importante de proyectos de *ingeniería civil*, seguidos de los de *arquitectura y edificación*, y a cierta distancia los relacionados con *ciencia y tecnología de materiales*, lo que coincide, básicamente, con los resultados del cuadro anterior.

## 2.2 El futuro

El ***futuro*** lo podemos descubrir a partir de dos jornadas técnicas de investigación, celebradas en los años 2005 y 2007, considerando las comunicaciones presentadas donde podemos entender que se reflejan, no sólo los trabajos en marcha, sino también los trabajos que se pretenden desarrollar próximamente. Veamos.

En primer lugar, analicemos las comunicaciones presentadas a las I Jornadas de Investigación en Construcción del IETcc, celebradas en junio de 2005, con las propuestas agrupadas por temas y subtemas.

**Tabla 5 - Proyectos de investigación presentados a las I Jornadas de Investigación en Construcción del IETcc (2005) agrupados por temas y sub-temas**

| TEMA | NÚMERO | % | SUBTEMA | NÚMERO | % |
|---|---|---|---|---|---|
| **Materiales de construcción** | 21 | *22,3* | Reciclado de materiales | 4 | *19* |
| | | | Madera | 3 | *14,3* |
| | | | Cerámica | 3 | *14,3* |
| | | | Cementos, morteros y horm. | 11 | *52,4* |
| **Obra civil. Infraestructuras y equipos** | 7 | *7,5* | Diseño y dimensionado | 4 | *57* |
| | | | Comportamiento | 2 | *28,5* |
| | | | Seguridad | 1 | *14,5* |
| **Edificación. Técnicas y sistemas** | 30 | *31,9* | Seguridad | 2 | *6,7* |
| | | | Proyectos | 3 | *10* |
| | | | Acústica | 3 | *10* |
| | | | Urbanismo | 4 | *13,3* |
| | | | Cerramientos | 7 | *23,3* |
| | | | Fuego | 5 | *16,7* |
| | | | Estructura | 6 | *20* |
| **Medio ambiente. Exterior e interior** | 15 | *16* | Medio ambiente | 9 | *60* |
| | | | Energía | 6 | *40* |
| **Patrimonio construido. Patología y rehabilitación** | 21 | *22,3* | Estudio de casos | 12 | *57,1* |
| | | | Propuestas metodológicas | 9 | *42,9* |
| **TOTAL** | **94** | | | | |

Como podemos observar, ya no dominan los proyectos relacionados con materiales, aunque todavía tienen un gran peso, y entre ellos destacan los relacionados con los cementos y el hormigón, probablemente los materiales más estudiados a lo largo de la historia reciente. Por el contrario, aparecen muchos proyectos de investigación relacionados con sistemas constructivos, tanto en edificación como en obra civil, además de los que se agrupan en el tema de medio ambiente y en el de patrimonio construido. Dentro de esos otros cuatro grandes temas, no se puede observar dominancia de ninguno de los subtemas, si hacemos la excepción de los estudios de casos en el patrimonio.

Como complemento a esta primera información, veamos los resultados equivalentes en las Jornadas de Investigación en Edificación, organizadas por la UPM en mayo de 2007, que se recogen en la siguiente tabla:

**Tabla 6 - Proyectos de investigación presentados a las I Jornadas de Investigación en Edificación de la UPM (2007) agrupados por temas y sub-temas**

| TEMA | NÚMERO | % | SUBTEMA | NÚMERO | % |
|---|---|---|---|---|---|
| **Materiales** | 24 | *19* | Materiales | 17 | *50* |
| | | | Sistemas, técnicas y elementos | 10 | *29,5* |
| **Elementos y sistemas** | 10 | *8* | | | |
| | | | Análisis patológico | 7 | *20,5* |
| **Estructuras** | 19 | *15* | | | |
| **Técnicas de instalaciones y acondicionamiento** | 12 | *9,5* | | | |
| **Edificación y medio ambiente** | 19 | *15* | Sostenibilidad | 10 | *52,5* |
| | | | Ahorro energético | 5 | *26,5* |
| | | | Confort interior | 4 | *21* |
| **Rehabilitación y patrimonio** | 23 | *18,5* | Diagnóstico | 10 | *43,5* |
| | | | Técnicas de intervención | 3 | *13* |
| | | | Estudio de casos | 10 | *43,5* |
| **Seguridad y prevención de riesgos laborales** | 5 | *4* | | | |
| **Aplicaciones gráficas en la edificación** | 4 | *3* | | | |
| **Legislación, economía, ética y normalización** | 10 | *8* | | | |
| **TOTAL** | **126** | | | | |

El análisis que podemos hacer es similar al del cuadro anterior, es decir, marcar la tendencia al aumento de estudios relacionados con elementos y sistemas constructivos, además de una alza importante en este caso de proyectos relacionados con la rehabilitación y el patrimonio en edificación, así como con el medio ambiente, en detrimento parcial de los relacionados con materiales. Destaca además en este caso, el número relativamente elevado de proyectos relacionados con legislación y economía, además de los propios de la seguridad en las obras.

# 3 Conclusiones y propuestas

A la vista de los datos aportados sobre los trabajos de investigación en construcción en los últimos años en nuestro país, así como la evolución previsible en función de las propuestas presentadas en las últimas jornadas de investigación llevadas a cabo, podemos establecer unas conclusiones que afectan al papel de los centros de investigación en esa labor. Lo haremos mediante un breve ***análisis*** general de los datos aportados, lo que nos permitirá alcanzar una serie de ***conclusiones*** y establecer unas ***propuestas*** de actuación.

## 3.1 Análisis previo

Tradicionalmente, la investigación en construcción ha incidido, sobre todo, en el análisis de los materiales empleados, tanto en relación con su durabilidad, como en lo que respecta a la obtención de mejores propiedades como, finalmente, en la síntesis de nuevos materiales.

Ello, podemos pensar, debido en parte al planteamiento de las ayudas públicas, ya que el único programa en el que tenía cabida la construcción era el de *Materiales* en el Plan Nacional de I+D desde su principio.

En el periodo 2000-2003 apareció el Programa de *Construcción y Conservación del Patrimonio* que ayudó al desarrollo de proyectos relacionados con el tema, pero no es hasta el trienio 2004-2007, en el que aparece el programa actual de *Construcción* con el que se permite el desarrollo de proyectos de investigación más amplios y abarcando otros aspectos que afectan al desarrollo del sector.

De hecho, actualmente, el objetivo de *Innovación*, y la *demanda del sector*, han sacado a relucir la necesidad de más investigación aplicada en técnicas, sistemas y procedimientos; no en balde, la Construcción es una industria donde los materiales son una parte del producto acabado (edificio u obra civil) y la eficiencia funcional y la bondad de dicho producto dependen del resultado final de su ejecución, y ello implica la investigación y desarrollo de los sistemas constructivos, las técnicas y los procedimientos.

Como consecuencia, los investigadores que participan en el sector son, tanto los científicos de los *centros de investigación*, como los técnicos y los profesionales implicados en los procesos. De hecho, las *empresas* del sector también participan en el proceso investigador, y lo deben hacer en *coordinación con los centros de investigación.*

En este sentido, los *centros de investigación* podemos aportar, tanto los conocimientos específicos, como la capacidad de relaciones con otros centros nacionales e internacionales como, en fin, las sugerencias sobre líneas preferentes.

## 3.2 Conclusiones

A la vista de lo anterior, y teniendo en cuenta las características de los centros de investigación y su papel en el panorama de la innovación en el sector, podemos alcanzar las siguientes conclusiones:

**a.** Los ***centros de investigación*** son, en efecto, ***conocedores de la "demanda" de innovación***, puesto que su contacto con el sector les permite estar al día de las necesidades reales de innovación del mismo, y eso tanto en lo que se refiere a la industria, como en lo que afecta la Administración pública. Dicho contacto se lleva a cabo, no sólo en su papel de apoyo científico-técnico a los profesionales e industriales del sector, sino también a través de las actividades de transferencia de conocimientos a los mismos mediante cursos, jornadas técnicas y congresos. Ello les permite, en consecuencia, proponer temas de investigación al propio sector y a las diversas Administraciones, como más apropiados para alcanzar la innovación necesaria.

En este sentido, cabe recomendar a todos los centros de investigación esa colaboración estrecha con el sector que les permitirá mantener y mejorar su conocimiento de las necesidades reales del mismo, además de proyectar sus propias iniciativas que ayuden a los profesionales e industriales a dar un salto cualitativo en sus objetivos de innovación.

**b.** Son, asimismo, ***procuradores de la "oferta" de investigación***, ya que, como parte de su propio "oficio", saben dirigirse a la Administración y al sector industrial para conocer la oferta de ayudas y subvenciones, tanto particulares como públicas, y tanto nacionales como internacionales, existentes en cada momento. Además, participan en las convocatorias de organización y seguimiento de esas subvenciones públicas, pudiendo orientarlas en base a sus conocimientos en la materia.

También cabe aquí recomendar a los centros de investigación que procuren estar al día en el conocimiento de esa oferta pública, o bien que recaben la colaboración de gestores especializados en esa tarea, ya que del correcto desarrollo de la misma depende muchas veces el éxito de las labores de investigación y, por ende, de innovación.

**c.** Son, en fin, ***colaboradores con las empresas en el desarrollo de la innovación***, en su convencimiento firme de que la investigación que lleve con éxito a la innovación, tiene que llevarse a cabo en estrecha colaboración con los profesionales e industriales del sector, especialmente con las empresas del mismo. En este sentido, los centros de investigación suelen estar dispuestos, entre otras actividades, a la creación de empresas de base tecno-

lógica (EBT) para llevar a cabo el desarrollo de la innovación, a partir de la investigación llevada a cabo.

Cabe, asimismo, recomendar a esos centros que estrechen al máximo los lazos con el sector industrial, así como con los profesionales del mismo, para asegurar que la investigación que llevan a cabo tiene una aplicación asegurada, y dirigida a la necesaria innovación, sin descuidar, por supuesto, las iniciativas y propuestas propias, incluso basadas en procesos de investigación básica, pero siempre con el espíritu de cotejarlas con las necesidades reales del sector y de la sociedad en general.

## 3.3 Propuestas

Como complemento a ese análisis y a las conclusiones consiguientes, especialmente a esta última, parece oportuno aportar una serie de propuestas de líneas de investigación, algunas de las cuales ya están en marcha y otras son incipientes, que pueden ayudar definitivamente a la necesaria innovación en el sector.

### 3.3.1 Estadística de uso y funcionamiento de sistemas y materiales constructivos (OBSERVATORIO DE LA CONSTRUCCIÓN)

Se trata de aprovechar el conocimiento real de los materiales, productos y sistemas utilizados, que nos permita comprender su funcionamiento, sus problemas, sus ventajas, y poder establecer las necesidades de investigación y desarrollo a partir de ese conocimiento, además de evitar el caer de nuevo en errores ya comprobados.

Por otra parte, el seguimiento estadístico de esa evolución puede tener diversas ventajas en el sector industrial en cuanto a los usos reales de los productos que ofrece.

Esa estadística requiere su centralización en un solo organismos, con el apoyo preferente de las diversas Administraciones implicadas.

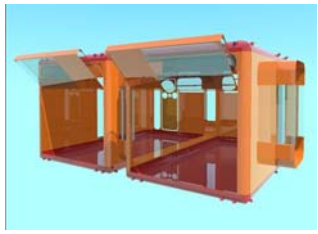
### 3.3.2 Racionalización de los procesos de construcción, especialmente de viviendas (INDUSTRIALIZACIÓN)

La construcción actual de viviendas sigue pautas técnicas y de diseño que no han variado, prácticamente, en los últimos 60 años. Ello hace que los índices de eficiencia de las técnicas constructivas y de funcionalidad y sostenibilidad de los edificios resultantes sean bajos, especialmente si atendemos a la racionalidad de los procesos constructivos, a la eficacia y facilidad de las técnicas de mantenimientos, y a la funcionalidad de los sistemas de confort.

Se trata, por tanto, de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las construcciones, especialmente de las de vivienda, lo que requiere una mejora en los procesos de diseño que facilite la racionalización de los procesos constructivos (su industrialización) reduciendo al máximo la inter-

vención de mano de obra sin formación en los procesos de montaje y mejorando la eficiencia en el uso y mantenimiento de los edificios.

Para ello hay que facilitar a los proyectistas herramientas de diseño que les permitan conocer y adaptar los sistemas y técnicas industrializadas existentes a sus propias ideas, incorporando las posibilidades reales que ofrece el mercado y ayudando a racionalizar los proyectos para ello. Asimismo hay que facilitar a promotores y constructores el conocimiento de esas posibilidades, además de desarrollar soluciones constructivas que se adecuen a todas esas necesidades.



### 3.3.3 Fiabilidad estructural y teoría de riesgos de los elementos resistentes (SEGURIDAD)

El conocimiento actual sobre riesgos y fiabilidad sigue en crecimiento, lo que aumenta indudablemente la seguridad de ejecución y de uso. Sin embargo, no hemos alcanzado la situación óptima, lo que se puede comprobar por los accidentes que siguen teniendo lugar. Por ello consideramos que existe la necesidad permanente de continuar con los estudios relativos a la fiabilidad estructural, tanto antes acciones habituales (cargas y sobrecargas) como antes acciones especiales (fuego, sismo, etc.).

### 3.3.4 Mejora del consumo energético y automatización de la funcionalidad (SOSTENIBILIDAD EN EL USO DE LA VIVIENDA)

La idea de la “sostenibilidad” se ha convertido actualmente en un “*leit motiv*” en la edificación en general, y en la vivienda en particular, toda vez que los recursos que se ocupan en ese sector, tanto en su producción como en su uso, son de los más relevantes y afectan a la vida diaria de la sociedad. Por ello parece evidente el que se deba alcanzar un nivel de sostenibilidad global adecuado en el uso y mantenimiento de la vivienda.

Dentro de los aspectos que condicionan en mayor medida esa sostenibilidad destacan dos especialmente, a saber, el consumo energético y la automatización de su funcionalidad.

El primero, tanto durante la ejecución como, sobre todo, a lo largo de la vida útil del edificio. El segundo, especialmente a lo largo de la vida útil, lo que facilita, no sólo el confort del edificio, como, sobre todo el ahorro energético del punto anterior.

### 3.3.5 Recuperación y reciclado de materiales y productos de construcción (SOSTENIBILIDAD EN LA PRODUCCIÓN)

De acuerdo con el apartado anterior, uno de los condicionantes básicos en la idea de la sostenibilidad es su aplicación en la producción de materiales y elementos. Dentro de ella cobra relevancia especial la posibilidad de recuperar materiales que ya han sido utilizados, transformando sus características para una nueva utilización, y evitando así la acumulación innecesaria de escombros y productos de deshecho.

Para ello, en los últimos lustros se ha iniciado el estudio del reciclado de materiales, que ofrece la posibilidad de una mejor conservación de los propios recursos naturales. En la construcción, de una forma especial, ese reciclado se presenta de cada vesz más necesario, por lo que consideramos fundamental el profundizar la investigación en esa línea, lo que nos permitirá alcanzar un nivel de sostenibilidad global adecuado en la producción de nuevos materiales.

### 3.3.6 Evaluación de la alteración de los materiales y elementos, de su protección y mantenimiento (DURABILIDAD)

Como parte importante también de esa sostenibilidad, hay que considerar la durabilidad de materiales y productos de construcción. Ello depende, sobre todo de su “vulnerabilidad”, lo que a su vez, está condicionada por su calidad (sus características fisicoquímicas y geométricas) su función constructiva y las acciones exteriores que deben soportar, lo que, a su vez, nos permitirá reducir los costes de mantenimiento.

Es esta una línea de investigación ya tradicional, pero que debe ser potenciada, toda vez que resulta necesaria para la mejora de resultados, y por el hecho de aparecer continuamente nuevos materiales y procedimientos que introducen el suficiente número de variables como para renovar su estudio.

En esa línea tienen un papel primordial los propios fabricantes de materiales y productos, así como los científicos especializados en el análisis de comportamiento, pèro no debemos olvidar a los profesionales proyectistas y a los ejecutores de las obras, toda vez que el comportamien-

to de materiales y productos durante la vida útil del edificio depende en gran manera de su situación relativa y de su colocación.

### 3.3.7 Evaluación y conservación del Patrimonio Construido, con mejor adaptación a su uso actual (PATRIMONIO)

El patrimonio construido es además, un documento histórico de gran valor cultural, lo que implica su necesidad de conservación. Para ello es necesario un proceso adecuado de diagnóstico, con el objeto de intervención permita asegurar su fácil mantenimiento y, por tanto, una mayor sostenibilidad en su posterior uso.

En este sentido, las técnicas de diagnóstico necesitan una continua actualización, tanto por el hecho de ser la clave para tomar decisiones correctas, como por la permanente aparición de nuevas posibilidades que tienen que ser correctamente evaluadas antes de generalizar su uso.

Asimismo, las técnicas de intervención necesitan ser depuradas y actualizadas, ya que de ellas depende el éxito de la rehabilitación de dicho patrimonio.

Por todo ello, y aunque se trata de una línea de investigación ya tradicional, sin embargo necesita una permanencia e incremento.

### 3.3.8 Análisis de la evoluciones de obras reales en el tiempo (ESTUDIO DE CASOS)

La permanencia de las obras de construcción nos permite su contemplación y seguimiento y, por tanto, su estudio a lo largo de la vida útil. Ello puede ser aprovechado, al igual como se hace en otros campos (medicina) para analizar la bondad de los sistemas y productos utilizados, o para comprobar el funcionamiento real de nuevas técnicas y sistemas, lo que nos daría una base importante de conocimientos, que redundaría en mejoras evidentes y, por tanto, en innovaciones prácticas y necesarias.

Para ello, podemos aprovechar el “Libro del edificio”, de uso actualmente obligado en todos los edificios, donde se deben reflejar las vicisitudes constructivas por las que pasa, así como las indicaciones del CTE en lo que se refiere a mantenimiento de los edificios. A partir de ahí, y estableciendo un seguimiento metodológico de cada edificio para comprobar la funcionalidad

constructiva de los distintos materiales y sistemas empleados, resulta relativamente fácil conocer los problemas reales y permitir su evolución para el futuro.

### 3.3.9 Investigación prenormativa, de acuerdo con el nuevo Código Técnico de la Edificación (NORMATIVA)

La reciente aparición en España del Código Técnico de la Edificación, que pretende mejorar la calidad de nuestros edificios a partir de una definición más concreta de sus prestaciones, hace que se deban dar una serie de propuestas de calidad, algunas de las cuales se han tomado de propuestas en las que no se ha llevado a cabo todas las comprobaciones necesarias.

Para alcanzar una mayor fiabilidad en los preceptos normativos, se deben llevar a cabo una serie de estudios específicos que permitan establecer las prescripciones con una mayor seguridad. Los temas son numerosos, pero podemos mencionar algunos relevantes:

- Distancias entre juntas de dilatación en cerramientos y acabados
- Limitación de flechas de forjados en valor absoluto, especialmente si sobre ellos descansan paredes de fábrica no estabilizadas
- Necesidad y tipología de anclajes de elementos de fachada para asegurar su integridad
- Comportamiento real de puentes térmicos, especialmente en el encuentro entre cerramientos y estructura
- Etc.

Seminario S3

# Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego

# Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego

## Tendencia Europea de nuevas reglamentaciones

*Julio P. Salazar-Mitchell, Jefe del Área de Normativa Técnica*

Ministerio de Fomento

### Introducción

Las Directivas denominadas de "nuevo enfoque" tienen como objetivo la libre circulación de productos en el mercado interior europeo. La Directiva de Productos de Construcción tiene esta función para los productos a emplear en las obras edificación y de ingeniería civil, por supuesto, incluidos aquellos empleados en la lucha contra incendios (aunque por el ámbito de la Directiva sólo aquellos pertenecientes a sistemas fijos). Y pretende conseguir ese objetivo a través de la aproximación de las leyes, reglamentos y disposiciones administrativas de los Estados miembros mediante la normalización y la certificación de productos de construcción. Normalización mediante el encargo al CEN y a EOTA de especificaciones técnicas armonizadas y certificación mediante la decisión de sistemas europeos de certificación de la conformidad con ésas especificaciones que permitan su marcado CE. El marcado CE es el icono que, fijado en los productos conformes, representa un pasaporte para su libre circulación.

Para ello se crean órganos e instrumentos que permitan alcanzar esta meta. El proceso, que comenzó en los años 80 está en un momento crítico. Ha sido lento, por la enorme cantidad de singularidades pero, sin parar, ya ha llegado al punto en que se disponen de cerca de 400 normas armonizadas, de las 600 previstas, que permitirán el marcado CE de muchos productos de construcción.

Las autoridades encargadas de elaborar los Reglamentos, Normas Básicas, Instrucciones, etc. deben revisar estos documentos de tal forma que cualquier barrera que pueda existir sea eliminada para adaptarse a la nueva realidad. Un producto marcado CE debe poder circular libremente en todo el mercado interior y debe poder ser utilizado con plena seguridad si sus niveles de prestación son los adecuados al proyecto en que se va a emplear. Todo un proceso de certificación de conformidad con una especificación técnica armonizada lo respalda.

Es imprescindible sin embargo la puesta en marcha de una inspección de mercado que en el ámbito del mercado interior garantice a todos los agentes afectados la correcta utilización del marcado CE.

La lentitud en su implantación y la aparición de ciertos rechazos por parte de actores implicados están obligando a la Comisión Europea a revisar los planteamientos del Nuevo Enfoque y con ello algunas directivas, entre ellas la de **Productos de construcción:** revisión encaminada a aportar claridad y reducir las cargas administrativas, en especial para las PYME, mediante una mayor flexibilidad en la formulación y el uso de especificaciones técnicas, normas de certificación menos estrictas y la eliminación de los obstáculos prácticos que han venido impidiendo la creación de un auténtico mercado interior de los productos de construcción.

El propósito de esta revisión es aclarar el alcance y los objetivos de la directiva vigente y simplificar los mecanismos para su implantación, asegurando el funcionamiento correcto del

mercado interior para los productos de construcción, al tiempo que se eviten restricciones y obligaciones, como por ejemplo, costes administrativos desproporcionados con respecto a los beneficios previstos.

**La Directiva de Productos de Construcción (DPC)**

Se trata de la Directiva 89/106/CEE, de 21 de diciembre 1988, en vigor desde el 1 de julio de 1991, también conocida como la DPC. Fue posteriormente modificada por la Directiva 93/68/CEE, de 22 de julio, para adaptar lo relativo al marcado CE en aplicación del denominado "Enfoque global" [1]

Es una Directiva de las de "nuevo enfoque"[2] aunque con estas singularidades:

- las especificaciones técnicas (normas armonizadas y DITEs) no son voluntarias pues son la única vía para el marcado CE;
- los requisitos esenciales no se establecen para los productos de construcción sino para los edificios y las obras de ingeniería civil; y
- la certificación de la conformidad no se hace aplicando los módulos del "enfoque global" sino unos propios establecidos en el Anejo III de la Directiva.

Su transposición se llevó a cabo mediante el: Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre, modificado por el Real Decreto 1328/1995, de 28 de julio.

Su campo de aplicación son los productos de construcción *destinados a ser incorporados de forma permanente* en los edificios y en las obras de ingeniería civil.

Su objetivo es hacer posible la libre circulación de estos productos de construcción.

La forma de lograr este objetivo es a través de a) el establecimiento del concepto "*idoneidad del producto para el uso a que está destinado"*, es decir, del cumplimiento con las especificaciones técnicas armonizadas y de b) la colocación del marcado CE en el producto.

Todo producto que sea "idóneo para el uso previsto" que ostente el marcado CE debe poder comercializarse y usarse en todo el territorio de la UE y EFTA sin que se le pueda exigir ningún otro requisito.

Otro objetivo, como refleja el título de la Directiva, es la *aproximación de leyes, reglamentos y disposiciones administrativas* de los Estados miembros, lo que se consigue mediante la imposición de tener que elaborar reglamentos con referencia a especificaciones técnicas europeas armonizadas.

**Instrumentos de la Directiva**

Los instrumentos empleados por la DPC para conseguir los fines establecidos han sido y son:

1) Los Requisitos esenciales de los edificios y las obras
2) Los documentos interpretativos
3) Los mandatos de la Comisión
4) Las decisiones de la Comisión
5) Las especificaciones técnicas armonizadas: Normas armonizadas (CEN) y Guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos (EOTA)
6) Los sistemas de Certificación de la conformidad
7) El Certificado CE y la Declaración CE de Conformidad

---

1 Decisión del Consejo "El Enfoque Global",de 22 de julio de 1993

2 Resolución del Consejo, de 7 de mayo de 1985

8) El Marcado CE

*Los Requisitos esenciales*

Los requisitos que deben satisfacer los edificios y las obras de ingeniería civil, y que constituyen la única posibilidad de reglamentación dentro del ámbito de esta directiva, son:

RE1 Estabilidad y resistencia mecánica

RE2 Seguridad frente al fuego

RE3 Salud, higiene y medio ambiente

RE4 Seguridad de uso

RE5 Aislamiento acústico

RE6 Aislamiento térmico y ahorro energético

Requisitos que se pueden resumir en tres, a saber, seguridad, salubridad y protección del medio ambiente.

*Los Documentos Interpretativos*

Estos documentos dieron en su día forma concreta a los 6 requisitos esenciales indicando, cuando procede, clases y niveles para cada requisito. En ellos se indicaron los métodos de correlación de estos niveles con las especificaciones técnicas armonizadas

Han sido y son referencia para el establecimiento de mandatos para la elaboración de normas armonizadas y guías de DITEs

Entre los años 1990 y 1994 se elaboraron los 6 documentos interpretativos (uno para cada uno de los requisitos esenciales exigibles a los edificios y a las obras de ingeniería civil):

DI.1 RE1 Estabilidad y resistencia mecánica

DI.2 RE2 Seguridad frente al fuego

DI.3 RE3 Salud, higiene y medio ambiente

DI.4 RE4 Seguridad de uso

DI.5 RE5 Aislamiento acústico

DI.6 RE6 Aislamiento térmico y ahorro energético

Cada documento recoge los requisitos reglamentarios al respecto vigentes en cada uno de los EEMM en el momento de su aprobación. También prevé la creación de una “clase 0”, que posteriormente se cambió a “clase NPD” (No Performance Determined), y que corresponde a la opción que tiene un fabricante de declarar mediante “NPD” una característica que no esté reglamentada en el EEMM en cuyo mercado pone su producto. Con especto a reacción al fuego, también existe la clase F que pueden utilizar aquellos fabricantes que prefieren no ensayar su producto y que equivale a la opción “NPD”.

*Los mandatos*

En el ámbito de la CPD son los contratos preparados por la Comisión para que el CEN/CENELEC o la EOTA preparen las especificaciones técnicas armonizadas de los productos de construcción.

Basados inicialmente en el contenido de los Documentos Interpretativos relevantes, entre 1994 y 1998 se prepararon la mayoría de ellos. Fueron mandatos para diferentes familias de productos y otros horizontales para la preparación de normas de clasificación y de ensayo de productos con respecto a su reacción y su resistencia al fuego. El comportamiento de los productos frente al fuego exterior ha merecido también un mandato para la preparación de las normas de ensayo.

*Las decisiones de la Comisión* (en base al artículo 20 de la DPC)

Al igual que con los mandatos, los Servicios de la Comisión son los que preparan los proyectos de decisión sobre los sistemas de certificación de conformidad que más tarde se deberán aplicar en las normas de producto correspondiente. Estos proyectos de decisión, una vez oído el CP de la DPC, pasan a la Comisión para su aprobación y posterior publicación en el DOCE**.**

Para cada uno de los mandatos ha sido necesaria una decisión. Igualmente hay decisiones para la clasificación de los productos con respecto a su reacción y resistencia al fuego.

Recientemente la Comisión ha publicado una decisión para descalificar una norma armonizada.

*Las normas armonizadas*

Son las normas para el marcado CE, hechas por el CEN/CENELEC por encargo de la Comisión.

Se trata de normas europeas de producto a las que se incorpora un anejo (Anejo ZA).

El contenido de este Anejo ZA permite llegar al marcado CE del producto y se estructura de la siguiente manera:

Apartado ZA.1 Campo de aplicación y cláusulas de prestaciones sacadas de la norma relacionadas con los requisitos esenciales (contenido del mandato). Cláusulas armonizadas.

Apartado ZA.2 Sistema de certificación de conformidad y asignación de tareas entre los distintos agentes de acuerdo con el anejo 2 de la Directiva. Además detalla los que debe contener el Certificado CE y/o la Declaración CE del fabricante.

Apartado ZA.3 El marcado y etiquetado CE. Dónde debe colocarse y qué debe contener este etiquetado.

Además de las normas armonizadas, el CEN elabora las normas de ensayo y de cálculo (normas de apoyo) que permiten llevar a cabo la evaluación de conformidad.

*Las Guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos (GDITE):*

Son documentos preparados por la EOTA por encargo de la Comisión para la concesión de los DITEs.

Este documento debe servir:

- para la evaluación de la idoneidad técnica para el uso previsto de un producto sin norma o fuera de norma,
- para la concesión del DITE correspondiente en función del resultado de la evaluación, y
- para el establecimiento de las condiciones para el marcado CE de los productos de la misma familia y la forma de concretarlas en el DITE.

Al igual que ocurre con los mandatos para normas armonizadas, todo mandato para elaboración de una Guía para los DITEs va acompañado de una decisión que establece el sistema, o los sistemas, de certificación de la conformidad.

*El Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) basado en una Guía*

Se trata de un DIT de ámbito europeo, otorgado por cualquiera de los Institutos que forman la Organización Europea para el Documento de Idoneidad Técnica (EOTA), para el marcado CE del producto correspondiente

Cada DITE es el resultado de la evaluación de la idoneidad para el uso previsto de un producto que no tiene norma propia. La evaluación se hace siguiendo los criterios fijados en la correspondiente Guía y el DITE pasa a ser como una norma armonizada específica para el producto objeto de la evaluación para uso exclusivo del fabricante que lo obtiene.

*El Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) sin Guía*

Se trata de un DIT de ámbito europeo otorgado por cualquiera de los Institutos que forman la Organización Europea para el Documento de Idoneidad Técnica (EOTA) para el marcado CE del producto correspondiente.

Es el resultado de la evaluación de la idoneidad para el uso previsto de un producto que no tiene norma propia. La evaluación se hace siguiendo los criterios fijados no en una Guía sino en un documento singular (el CUAP) pasando el DITE a ser como una norma armonizada específica para el producto objeto de la evaluación para uso exclusivo del fabricante que lo obtiene.

Para estos DITEs no se elaboran decisiones sobre el sistema de certificación de la conformidad y los productos cubiertos por este tipo de DITE deben poder acogerse a una de las decisiones ya existentes.

*La certificación de la conformidad*

La Comisión, a propuesta de los Servicios correspondientes y tras oír la opinión de los Estados miembros, decide, para cada uno de los productos con mandato, los sistemas de certificación de la conformidad con norma armonizada o con DITE

Los posibles sistemas de certificación de la conformidad vienen fijados en el Anejo III de la Directiva y se resumen en el Anejo 1 de este documento. Los finalmente empleados por la Comisión Europea quedan también recogidos en el mismo.

*La Declaración CE de Conformidad*

Documento requerido para todos los productos sujetos al marcado CE. Es una declaración suscrita por el propio fabricante del producto una vez que considera satisfechas todas las condiciones para el marcado CE.

Los productos con sistema 2 y 2+ requieren un certificado de la inspección inicial y del seguimiento, comprobación y aceptación del control de producción denominado “Certificado del Control de Producción”

*El Certificado CE de Conformidad*

Documento requerido para aquellos productos sujetos al marcado CE con características tales que se considere necesaria la certificación del producto por un organismo certificador autorizado (Sistemas 1+ y 1). Este documento lo emite y lo firma el organismo de certificación notificado que interviene en el seguimiento del control de producción.

*El marcado CE*

Respalda la “idoneidad” del producto para el uso previsto, es decir, que tiene características tales que las obras a las cuales deban ser incorporados puedan satisfacer los requisitos esenciales, siempre y cuando dichas obras estén adecuadamente diseñadas y construidas y estén sujetas a una normativa que contenga tales requisitos.

Significa que es conforme con una norma armonizada o con un DITE.

Es obligatorio para una familia de productos una vez que ésta dispone de especificación técnica armonizada propia.

Cuando el producto se ve afectado por varias directivas, el marcado CE debe cubrir todas ellas o el fabricante debe indicar con cuáles se cumple.

El marcado debe ir acompañado de una información sobre el fabricante y sobre las prestaciones del producto, de acuerdo con lo indicado en el Anejo ZA de la norma armonizada o en el DITE correspondiente.

El marcado CE es colocado:

- en el producto. Si no se puede…
- en el envase. Si tampoco se puede…

- en la etiqueta adjunta. Si aún no se puede…

- en la documentación comercial que le acompaña,

por el fabricante, o por su representante en la UE, en cuanto considere que cumple con todos los requisitos de este Anejo ZA.

El marcado CE es como un “pasaporte” para la libre circulación por el mercado interior del producto que lo ostenta y debe estar respaldado por una Declaración CE de Conformidad y adicionalmente, en su caso, por un Certificado CE de Conformidad, debiendo el fabricante tenerlo a disposición del inspector de mercado.

No debe interpretarse como una marca de calidad ni una denominación de origen pues

- respalda únicamente aquellos aspectos reglamentados de seguridad, salubridad y protección del medio ambiente, para un uso concreto, con una fiabilidad justa basada en la evaluación de los riesgos y en la naturaleza y sensibilidad del producto; y

- el producto puede haber sido fabricado fuera de la UE

*El marcado CE y los distintivos de calidad voluntarios*

Las marcas voluntarias seguirán utilizándose, acompañando de forma inequívoca al marcado CE, para respaldar esa otras calidades no incluidas en el marcado CE

**Órganos que participan en el desarrollo de la Directiva**

Comité Permanente de la Construcción

Grupo Preparatorio

Grupos de Reglamentadores y Expertos

Comité Europeo de Normalización - CEN/CENELEC y ECISS

Organización Europea para los DITEs - EOTA

Grupo de Organismos Notificados - GNBs

*El Comité Permanente de la Construcción (CPC)*

Creado en el artículo 19º de la DPC. La opinión de sus miembros es necesaria sobre los mandatos antes de enviarlos al Comité de la directiva 83/189 (previo del envío al CEN) o a EOTA y es consultado por la Comisión Europea sobre las Decisiones antes de adopción.

Su opinión es igualmente solicitada para todos los temas relacionados con la Directiva y los Eurocódigos estructurales.

*Grupo Preparatorio*

Como su nombre indica tiene el encargo del Comité Permanente de preparar aquellos asuntos con incidencia en la reglamentación que por su temática no se vean en los otros grupos citados a continuación.

*Grupo de Contactos Nacionales para los Eurocódigos estructurales.*

Este grupo se encarga de supervisar el trabajo que lleva a cabo el CEN TC250 "Eurocódigos". Como es bien conocido, en estos momentos se ha terminado de pasar de las normas experimentales (ENV) a las normas definitivas (EN). Estas normas son normas de diseño de estructuras así como de apoyo (cálculo) para las normas armonizadas de productos estructurales prefabricados. La falta de unificación de los coeficientes parciales de seguridad hace que su aplicación en normas armonizadas no admita toda la armonización deseada.

*Grupo de expertos sobre seguridad contra incendios (Experts Group on fire related issues)*

Este grupo asiste a la Comisión Europea en la preparación toda la documentación referente a temas relacionados con el fuego y que tengan incidencia sobre la reglamentación existente. Lo

forman expertos y representantes de las administraciones de los Estados miembros responsables a nivel nacional de la reglamentación de los productos de construcción con respecto a la Seguridad y Protección contra incendios. En el caso de España el representante es un funcionario de la Dirección General de Arquitectura del Ministerio de Fomento

*Grupo de expertos sobre productos de construcción en contacto con agua destinada al consumo humano.*

Este grupo también asiste a la Comisión y se encarga de estudiar la reglamentación existente sobre el agua potable y preparar un documento común (European Approval Scheme) para toda Europa de apoyo a las normas armonizadas para productos de construcción que estén diseñados para estar en contacto con agua destinada al consumo humano (tuberías, grifos, depósitos, etc.).

*Organización en España*

Para el seguimiento de todas las tareas relacionadas con la DPC y la toma de decisiones necesarias el Real Decreto 1630/ 1992, de 29 de diciembre creó el Comité Interministerial para los Productos de Construcción (CIPC) con un Comité Permanente y varios Grupos de Trabajo. Hay una presidencia del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que comparte con el Ministerio de Fomento. Estos dos ministerios son los que llevan la representación española en el Comité Permanente de la Construcción de la DPC.

*El Comité Europeo de Normalización (CEN)*

Su función es la de preparar las normas europeas. Dado su carácter europeo, recibe el encargo de la Comisión Europea de preparar las normas armonizadas. El CEN es miembro de la Organización Internacional de Normalización (ISO).

Los Comités Técnicos (CEN/TCs) son los auténticos órganos de elaboración de las normas. En ellos se integran expertos procedentes de los distintos organismos nacionales interesados. También se acepta la participación de observadores. Las tareas de gestión y coordinación las lleva el Centro de Gestión del CEN (CEN MC).

Los Comités técnicos del CEN involucrados en la elaboración de normas relacionadas con el fuego son fundamentalmente: el CEN/TC 70 “Manual means of fire fighting equipment”, CEN/TC 127 “Fire safety in buildings”, CEN/TC 191 “Fixed firefigthing systems·” y CEN/TC 192 “Fire service equipment”

*Organización en España: AENOR*

La participación española en los trabajos del CEN se canaliza a través de AENOR.

La industria y sectores interesados españoles se organizan en AENOR mediante Comités Técnicos “espejo” para dar la postura española en las encuestas y para el voto formal de las normas europeas e internacionales. Este Comité Técnico encargado de la normalización de asuntos y productos relacionados con el fuego es el AEN CTN 23 “Seguridad contra incendios”

*La Organización Europea para los DITEs (EOTA)*

Es la organización que agrupa los organismos notificados a la Comisión Europea por las administraciones de los distintos Estados miembros para llevar a cabo estas tareas:

- elaborar las Guías para los DITEs según mandatos de la Comisión y los CUAPs para los DITEs sin guía; y

- realizar la evaluación técnica de los productos según las Guías o los CUAPS y emitir los DITEs, que tienen validez en todo el mercado interior europeo.

Estos organismos pueden ser además notificados como organismos para la certificación de conformidad, normalmente con los DITEs.

La participación española se lleva a cabo a través de los 2 organismos notificados por la Administración española, que son:

- el Instituto Eduardo Torroja – IccET; y

- el Instituto Técnico de la Construcción - ITEC

*El Grupo de Organismos notificados (GNB)*

Es la organización que agrupa los organismos (Certificadores, Inspectores y Laboratorios de ensayo) autorizados y notificados por las administraciones de los distintos Estados miembros a la Comisión Europea para llevar a cabo las tareas de certificación, inspección y realización de ensayos relacionadss con el marcado CE.

Objetivos y funciones:

- Promover la confianza y transparencia mutuas entre todos los organismos autorizados y las autoridades reglamentadoras dentro de la CE.

- Conseguir una aplicación coherente, por parte de todos los organismos autorizados, de los requisitos de conformidad.

- Asegurar que todas las partes interesadas dispongan de una información completa sobre el campo de actuación y competencias de los organismos autorizados y sus servicios.

Se organiza alrededor de 2 Grupos horizontales (uno de ellos para el fuego) y 20 Grupos sectoriales (uno de ellos para los sistemas de lucha contra incendios) (Véase el Anejo 3). Tiene además un órgano decisorio y de coordinación, el Advisory Group, en el que los ONs españoles están representados.

Los grupos sectoriales elaboran, con la participación de los TCs del CEN involucrados, documentos relacionados con su tarea de evaluar la conformidad de los productos con las normas armonizadas y DITEs y de suministrar los certificados relacionados con el marcado CE

Cada EM tiene su organización nacional “espejo”. En España, inicialmente, este grupo espejo se encuentra ubicado en el seno de la CIPC, concretamente en el Grupo de Trabajo 3.

Hay una Guía, elaborada por la Comisión Europea y consensuada por los Estados miembros, en la que se establecen los requisitos que deben cumplir los Organismos Notificados. Estos se resumen en adaptarse a lo establecido en las siguientes normas:

Para los organismos de certificación, las normas EN 45011 y EN 45012; para los organismos de inspección, las normas EN 45012 y EN 45004; y para los laboratorios de ensayo, la norma EN 45001.

**Aproximación de las reglamentaciones nacionales**

Estado actual:

Existen unas 400 normas armonizadas por el momento y está previsto llegar a una cantidad de normas armonizadas cerca de las 600.

De la disponibilidad de todas las correspondientes normas de apoyo se responsabiliza el CEN.

Diversas Guía de EOTA: para anclajes metálicos, sistemas de fachadas acristaladas con sellado estructural y kits para tabaqueras interiores (algunos DITEs y marcado CE de algunos anclajes en conformidad con estos DITEs).

No es fácil saber cómo van a reaccionar los EEMM para actualizar sus Reglamentos. Algunos ya se han adelantado y tienen reglamentación dispuesta para incorporar las normas armonizadas que vayan saliendo.

El Código Técnico de la Edificación (de la LOE) de la Dirección General de Arquitectura ha hecho posible disponer de una reglamentación actualizada que recoge estos requisitos de la DPC, en particular en lo referente a:

- los nuevos requisitos exigibles a los productos; como, por ejemplo, el marcado CE, nuevas clases, referencia a nuevas normas europeas, etc.
- al control de recepción de productos en la obra;
- a los distintivos de calidad voluntarios; y
- a los periodos transitorios.

**La Directiva 98/34/CE**

Esta Directiva, que modificó y reemplazó a la 83/189/CE, obliga, por un lado, a los normalizadores (CEN) a comunicar los proyectos de normas que tienen pensado desarrollar y establece en estos casos la obligación de un "status quo" para que no se normalicen a nivel nacional productos que se estén normalizando a nivel europeo.

Obliga, por otro lado, a todos los reglamentadores (en nuestro caso, Administraciones General y Autonómica) de los EEMM a comunicar sus proyectos de reglamentos antes de pasarlos a publicación en el Boletín Oficial correspondiente y establece plazos para presentar objeciones, que deben tenerse en cuenta por el notificador o, en su caso, introducir las oportunas correcciones en los proyectos de disposiciones presentadas.

La no presentación de objeciones durante el plazo previsto para ello en la Directiva supone la aceptación del proyecto notificado.

Por otro lado, el no cumplimiento de este requisito por parte de las administraciones obligadas a notificar puede traer complicaciones al órgano de la Administración responsable si esta infracción es detectada. De hecho, la no notificación de una reglamentación supone su inexistencia a los efectos legales, no estando los ciudadanos obligados a cumplirla.

**Otras Directivas relacionadas con productos empleados en la construcción**

- **Recipientes a presión simple** (87/404/CEE) y (90/488/CEE)
- **Baja Tensión** (72/23/CEE)
- **Compatibilidad electromagnética** (2004/108/CE)
- **Máquinas** (98/37/CE)
- **Ascensores** (95/16/CE),
- **Instalaciones de Transporte de Personas por Cable** (2000/9/CE)
- **Equipos de protección individual** (89/686/CEE)
- **Aparatos a gas** (90/396/CEE),
- **Aparatos y Sistemas de Protección para Uso en Atmósferas Potencialmente Explosivas** (94/9/CE**)**
- **Calderas para agua caliente con combustibles líquidos o gaseosos** (92/42/CEE)
- **Equipos a presión** (97/23/CE)
- **Agua para consumo humano** (98/83/CE)
- **Sustancias nocivas** (76/769/CEE y sucesivas modificaciones).

**Situación actual de las normas armonizadas**

Si bien la normalización necesaria para el mercado interior de los Productos de Construcción está bastante avanzada, ésta encuentra todavía algunos escollos, como son:

- Las sustancias denominadas peligrosas;
- La definición de un marco único para los productos en contacto con agua potable;
- El empleo de los Eurocódigos como norma de apoyo (productos estructurales) en cuanto a los coeficientes de seguridad y los valores de resistencia al fuego; y
- La falta de acuerdo entre los miembros del CEN para la aprobación de normas de ensayo europeas para algunas características mandatadas a pesar de existir normas nacionales

La CE presiona pero algunas industrias nacionales y algunos EEMM mantienen posturas poco flexibles que permitan solventar estos problemas de forma inmediata. En algunos casos el estado del arte no permite mayor avance.

**El fuego en la Directiva de Productos de Construcción.**

El segundo requisito esencial, como ya se vio anteriormente, que debe cumplir un edificio o una obra de ingeniería civil es el de la Seguridad frente al Fuego.

Para analizar la repercusión de este requisito sobre los productos de construcción se elaboró el Documento Interpretativo n° 2:

**Requisito esencial 2: Seguridad en caso de incendio**

El artículo 3 de la Directiva estipula que el propósito de los Documentos Interpretativos es dar forma concreta a los requisitos esenciales establecidos en el Anexo I de la misma a fin de crear los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos de elaboración de normas armonizadas y guías para los documentos de idoneidad técnica europeos o para servir de base para el reconocimiento de otras especificaciones técnicas con arreglo a los artículos 4 y 5 de la Directiva.

En el Anexo 1 de la Directiva figura la siguiente definición del requisito esencial aplicable siempre que las obras se encuentren sujetas a una reglamentación que contenga dicho requisito:

*"Las obras deberán proyectarse y construirse de forma que, en caso de incendio:*

*- la capacidad portante de la obra se mantenga durante un período de tiempo determinado;*

*- la aparición y la propagación del fuego y del humo dentro de la obra estén limitados;*

*- la propagación del fuego a obras vecinas esté limitada;*

*- los ocupantes puedan abandonar la obra o ser rescatados por otros medios;*
*- se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate."*

De conformidad con la Resolución del Consejo de 7 de mayo de 1985 (Nuevo Enfoque) y con el preámbulo de la Directiva, la presente interpretación del requisito esencial pretende mantener los niveles existentes y justificados de protección aplicables a las obras en los Estados miembros.

El Documento Interpretativo nº 2 trata de los aspectos de las obras relacionados con la "seguridad en caso de incendio" y establece los productos o familias de productos y las características que pueden tener efectos sobre dicho requisito.

Para cada uso previsto del producto, los mandatos indican qué características se tendrán en cuenta en las especificaciones armonizadas.

En la medida en que fue necesario, las disposiciones de este Documento Interpretativo se especificaron con mayor detalle en cada uno de los mandatos.

**Decisiones de la Comisión Europea relacionadas con el fuego**

La Comisión ha estado adoptando y publicando decisiones con respecto a los siguientes temas temas:

- Clasificación de productos con respecto a su reacción al fuego;

- Clasificación de algunos materiales y productos como clase A1, y otras, sin necesidad de realizar ensayos;

- Clasificación de productos por su comportamiento al fuego externo;

- Clasificación de productos por su resistencia al fuego; y

- Decisiones para productos varios con prestaciones de reacción y/o resistencia al fuego

- Decisiones para productos destinados a combatir el fuego.

Entre otras consecuencias:

Todos los EEMM deben cambiar su clasificación para adaptarse a la nuevas clases en cuanto a la **reacción al fuego** para productos de acabados en:

Paredes y techos: A1, A2, B, C, D, E y F (decisión 2000/147/CE)

Suelos: $A1_{Fl}$, $A2_{Fl}$, $B_{Fl}$, $C_{Fl}$, $D_{Fl}$, $E_{Fl}$ y $F_{Fl}$ (decisión 2000/147/CE)

Cables: $A_{ca}$, $B1_{ca}$, $B2_{ca}$, $C_{ca}$, $D_{ca}$, $E_{ca}$, y $F_{ca}$. (decisión 2006/751/CE)

Aislamiento para tuberías: $A1_L$, $A2_L$, $B_L$, $C_L$, $D_L$, $E_L$, y $F_L$ (decisión 2003/632/CE)

Análogamente, todos los EEMM deben cambiar su clasificación para adaptarse a las nuevas clases en cuanto a la **resistencia al fuego** de los elementos constructivos en:

Tiempos: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 y 240 min

Designación: R, E, I, W, M, C, S y G

Finalmente, todos los EEMM deben cambiar su clasificación para adaptarse a las nuevas clases en cuanto al **comportamiento a un fuego exterior** de los elementos de cubiertas en:

$X_{ROOF}$ (t1), $X_{ROOF}$ (t2), $X_{ROOF}$ (t3), $X_{ROOF}$ (t4),

La Comisión ha elaborado una Guía sobre "El sistema europeo de clasificación de los productos de construcción en cuanto a su reacción al fuego". El él trata materias relacionadas con este sistema de clasificación en el contexto de la DPC.

Los criterios para la transición desde las actuales clasificaciones nacionales a la europea que hay que implantar son objeto de un Real Decreto recientemente publicado.

En el Anejo 4 re recoge la lista de decisiones tomadas por la Comisión Europea al respecto.

**Normas de apoyo relacionados con el fuego**

*Reacción al fuego, Resistencia al fuego y Comportamiento frente a un fuego externo*

Trabajo a cargo del CEN/TC 127. La relación de normas de este Comité Técnico se puede ver en el Anejo 5

*Sistemas fijos de lucha contra incendio.*

Trabajo a cargo del CEN/TC 191. La relación de normas de este Comité Técnico se puede ver en el Anejo 5

*Equipos de servicios contra incendios*

Trabajo a cargo del CEN/TC 192. La relación de normas de este Comité Técnico se puede ver en el Anejo 5

*Productos varios con prestaciones de reacción y/o resistencia al fuego*

La mayoría de los productos de construcción se ven afectados por requisitos referentes a la reacción y/o la resistencia al fuego.

Por regla general:

Todos los productos/elementos con función separadora o de compartimentación necesitan una declaración de su resistencia al fuego dentro de las clases establecidas

Todos los productos de fachada o de cubierta necesitan una declaración de su comportamiento al fuego externo dentro de las clases establecidas

Todos los productos de acabado así como todos los productos que puedan estar expuestos al fuego necesitan una declaración de su reacción al fuego dentro de las clases establecidas

**Guía para DITEs de los productos para parar el fuego, los productos de sellado y los productos protectores contra el fuego.**

EOTA ha recibido este mandato para preparar una Guía para la concesión de los DITEs a productos de estas familias.

**Eurocódigos en su parte 1-2**

La Comisión encargó en el año 1990 al CEN la preparación de los denominados Eurocódigos estructurales. Para ello se creó el TC250 y se estructuró en tantos Subcomités como Eurocódigos se encargaron. Estas normas fueron inicialmente normas experimentales (ENVs) de escaso uso por su carácter experimental y se han transformado entre los años 2000 y 2007 a normas definitivas (ENs). Son normas fundamentales para su referencia en las normas de productos estructurales prefabricados y también para su utilización, como alternativa al costoso ensayo, para estimar la resistencia al fuego de estos productos.

Los Eurocódigos referentes al diseño de estructuras de hormigón, acero, madera y piezas de albañilería contienen una parte 1-2 en la que se dan tablas de valores empíricos de resistencia al fuego de elementos estructurales. Estos valores se basan en resultados de ensayos hechos en los distinto EEMMs y que han sido aceptados por los expertos que participan en la redacción de estas partes de los Eurocódigos, dentro de las tareas del CEN/TC250

**Transición hacia la nueva normalización y reglamentación**

Como se ha visto a lo largo de la última parte de este documento, existen ya muchas normas de producto que contienen requisitos relacionados con las propiedades de reacción, resistencia y/o comportamiento frente al fuego. Para su utilización es fundamental que las normas de ensayo para la determinación de estas propiedades estén vigentes.

Para la transición de lo actual a lo nuevo, la Comisión tiene concebido un sistema de implementación de las nuevas normas armonizadas y desaparición de las actuales en conflicto con aquéllas. Para ello se establece un periodo en el que coexisten las dos normas hasta un momento en el que, cumplido el plazo establecido por el Comité Permanente, sólo la norma armonizada es válida. Durante este periodo de coexistencia los productos con marcado CE y los productos conformes con la norma actual podrán ser puestos en el mercado en las mismas condiciones. Desde la fecha de disponibilidad de la norma armonizada hasta la de retirada de las otras normas en conflicto hay un periodo por defecto de 21 meses establecido por el CPC.

Antes de llegar a al final de este periodo de coexistencia las autoridades de los EEMM encargadas de establecer la legislación al respecto deben tener dispuesta una que tenga en cuenta las nuevas clasificaciones de productos.

En este nuevo escenario aparecen términos de cierta trascendencia que marcan los hitos de esta transición: Periodo transitorio y periodo de coexistencia; fecha de aprobación de la norma; fecha de disponibilidad de la norma; fecha de publicación de la referencia a la norma en el DOCE ; y fecha de retirada de las normas en conflicto con la nueva.

## ANEJO 1

## Sistemas de certificación de conformidad recomendados por la DPC

| MÉTODOS DE CONTROL DE PRODUCCIÓN | CERTIFICACIÓN DE CONFORMIDAD (CE) DEL PRODUCTO POR ORGANISMO AUTORIZADO | DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD (CE) DEL PRODUCTO POR EL FABRICANTE | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1ª Posibilidad | 2ª Posibilidad | 3ª Posibilidad |
| a) ensayo inicial de tipo de producto | OC+ L | Fabricante | L | Fabricante |
| b) ensayo de muestras tomadas en fábrica según plan determinado o procedentes de un lote a entregar | Fabricante | (Fabricante)* | - | - |
| c) Ensayo por sondeo de muestras tomadas en fábrica. | (OC+OI+L)* | - | - | - |
| d) Control de producción en fábrica | Fabricante | Fabricante | Fabricante | Fabricante |
| e) Inspección inicial de la fábrica y del control de producción en fábrica | OC+OI | OC+OI | | - |
| f) Seguimiento y evaluación continuada del control de producción en fábrica | OC+OI | (OC+OI)* | - | - |
| h) certificación del control de producción en fábrica sobre la base de la vigilancia, supervisión y evaluación constantes del control de producción y/o de la inspección inicial de la misma | | OC | | |

* Se da la opción al legislador, según el riesgo.

## Sistemas de certificación de conformidad para los productos de construcción

| **Designación de la Directiva** | 1ª | | 2ª | | 3ª | 4ª |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Designación adoptada por el CPC** | **1+** | **1** | **2+** | **2** | **3** | **4** |
| a) ensayo inicial de tipo de producto | LA | LA | F | F | LA | F |
| b) ensayo de muestras tomadas en fábrica según plan determinado o procedentes de un lote a entregar | F | F | F | | | |
| c) ensayo por sondeo de muestras tomadas en fábrica | LA | | | | | |
| e) control de producción en fábrica | F | F | F | F | F | F |
| f) inspección inicial de la fábrica y del control de producción en la misma | OC | OC | OC | OC | | |
| g) vigilancia, supervisión y evaluación constantes del control de producción en fábrica | OC | OC | OC | | | |
| h) certificación del control de producción en fábrica sobre la base de la vigilancia, supervisión y evaluación constantes del control de producción de la misma | | | OC | OC | | |

## ANEJO 2

## Grupos sectoriales y horizontales de Organismos Notificados

- **SH1 Fuego**
- **SH2 Sustancias peligrosas**
- **SG01 Acabados en edificación (ensayos)**
- **SG02 Cemento, hormigón y mortero**
- **SG03 Chimeneas**
- **SG04 Equipamiento de circulación**
- **SG05 Chapados**
- **SG07 Sistemas fijos para la lucha contra incendios**
- **SG08 Elementos de fijación**
- **SG09 Vidrio**
- **SG10 Albañilería**
- **SG11 Membranas**
- **SG12 Tuberías, depósitos y productos de ingeniería de aguas sucias**
- **SG13 Productos prefabricados de hormigón**
- **SG14 Acero de armar y de pretensar para el hormigón**
- **SG15 Productos de construcción de carreteras**
- **SG16 Apoyos estructurales**
- **SG17 Productos estructurales metálicos**
- **SG18 Productos estructurales de madera**
- **SG20 Paneles de derivados de la madera**

## ANEJO 3

## PRODUCTOS PARA LA LUCHA CONTRA INCENDIO

## INCLUIDOS EN EL MANDATO M109 AL CEN

| FORMA | MATERIAL | PRODUCTOS |
|---|---|---|
| Sistemas y Componentes | Metales<br>Plásticos<br>Vidrio | SISTEMAS/KITS DE DETECTION Y ALARMA<br>combinados<br>de detección<br>de alarma<br>de aviso de incendio<br>COMPONENTES DE SISTEMAS DE DETECCION Y ALARMA<br>Detectores de humo, calor y llama<br>Aparatos de control e indicación<br>Aparatos de direccionamiento de la transmisión de la alarma<br>Aisladores de corto circuito<br>Aparatos de alarma<br>Aparatos de suministro de corriente<br>Aparatos de entrada/salida<br>Puntos de aviso manuales.<br>ALARMAS/DETECTORES DE HUMO INTEGRADOS<br>SISTEMAS/KITS DE SUPRESION Y EXTINCION DE INCENDIOS<br>Sistemas de manguera de primera acción<br>Sistemas de hidrantes secos y húmedos<br>Sistemas/kits de sprinklers y atomizadores de agua<br>Sistemas/kits extintores a base de espuma<br>Sistemas/kits extintores a base de polvo seco<br>Sistemas/kits extintores a base de gases (incluidos los de a base de $CO_2$.<br>COMPONENTES DE SISTEMAS DE SUPRESION Y EXTINCION DE INCENDIOS<br>Hidrantes<br>Detectores/interruptores de agua<br>Detectores/interruptores de presión<br>Tomas de piso<br>Conductos de entrada<br>Bombas para lucha contra incendio<br>Bocas de mangueras/sprinklers/tomas<br>SISTEMAS/KITS DE SUPRESION DE EXPLOSIONES<br>COMPONENTES DE SISTEMAS DE SUPRESION DE EXPLOSIONES<br>Detectores<br>Supresores<br>Sensores de explosiones<br>Productos de reducción de las explosiones<br>INSTALACIONES/KITS DE CONTROL DE HUMO Y FUEGO<br>Sistemas/kits de ventilación por aspiración de humos y calor<br>Sistemas/kits por presión diferencial<br>COMPONENTES DE INSTALACIONES DE CONTROL DE HUMO Y FUEGO<br>Cortinas de humo<br>Reguladores de tiro<br>Conductos<br>Ventiladores forzados<br>Ventiladores naturales<br>Paneles de control y paneles de control de emergencia<br>Aparatos de suministro de corriente. |

# ANEJO 4

## Relación de Decisiones de la Comisión sobre clasificación de productos de construcción con respecto al fuego

| | |
|---|---|
| Decisión 94/611/CE de la Comisión, de 9 de septiembre de 1994, por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE sobre los productos de construcción.<br><br>(DOCE 16.9.1994). | Derogada por la decisión 2000/147/CE (DOCE 23.2.2000) |
| Decisión 96/577/CE de la Comisión de 24 de junio de 1996 relativa al procedimiento de certificación de la conformidad de productos de construcción con arreglo al apartado 2 del artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en lo que concierne a las instalaciones de lucha contra incendios.<br><br>Texto pertinente a los fines del EEE. (DOCE 8.10.1996). | Modificada por la Decisión 2002/592/CE (DOCE 20.7.2002) |
| Decisión 96/603/CE de la Comisión, de 4 de octubre de 1996, por la que se establece la lista de productos clasificados en la clase A, "sin contribución al fuego", sin necesidad de ensayar, prevista en la Decisión 94/611/CE por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo sobre los productos de construcción.<br><br>Texto pertinente a los fines del EEE. (DOCE 19.10.1996). | Modificada por las Decisiones: 2000/605/CE (DOCE 12.10.2000) y 2003/424/CE (DOUE 12.6.2003) |
| Decisión 98/457/CE de la Comisión, de 3 de julio de 1998, relativa al ensayo del elemento único de combustión (SBI) contemplado en la Decisión 94/611/CE, por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo sobre los productos de construcción.<br><br>[notificada con el número C (1998) 1743]. Texto pertinente a los fines del EEE. (DOCE 17.7.1998) | |
| Decisión 2000/147/CE de la Comisión, de 8 de febrero de 2000, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción (los suelos y otros, excluidos los suelos).<br><br>[notificada con el número C (2000) 133]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 23.2.2000) | Modificada por la Decisiones: 2003/632/CE (DOUE 3.9.2003) y 2006/751/CE (DOUE 4.11.2006) |
| Decisión 2000/367/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de resistencia al fuego de los productos de construcción, las obras de construcción y los elementos de los mismos.<br><br>[notificada con el número C (2000) 1001]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 6.6.2000) | Ampliada por la Decisión 2003/629/CE (DOUE 30.8.2003) |
| Decisión 2000/553/CE de la Comisión, de 6 de septiembre de 2000, relativa a la aplicación de la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en lo que concierne a el comportamiento al fuego exterior sin necesidad de ensayos de los recubrimientos de tejados.<br><br>[notificada con el número C (2000) 2266]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 19.9.2000). | |
| Decisión 2000/605/CE de la Comisión, de 26 de septiembre de 2000, que modifica la Decisión 96/603/CE por la que se establece la lista de productos clasificados en la clase A, "sin contribución al fuego", prevista en la Decisión 94/611/CE por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo sobre los productos de construcción. | modifica la Decisión 96/603/CE (DOCE 19.10.1996) |

[notificada con el número C (2000) 2640]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 12.10.2000).

| | |
|---|---|
| Decisión 2001/671/CE de la Comisión, de 21 de agosto de 2001, relativo a la aplicación de la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que concierne a las clases de comportamiento de las cubiertas y de los revestimientos de cubiertas ante un fuego exterior. $X_{ROOF}$ t(1), t(2) y t(3) | Modificada por la Decisión 2005/823/CE (DOUE 25.11.2005) |
| [notificada con el número C (2001) 2474]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 4.9.2001). | |
| Decisión 2002/592/CE de la Comisión, de 15 de julio de 2002, por la que se modifican las Decisiones 95/467/CE, 96/577/CE, 96/578/CE y 98/598/CE relativas al procedimiento de certificación de la conformidad de productos de construcción con arreglo al apartado 2 del artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en lo que concierne a productos de yeso, instalaciones fijas de lucha contra incendios, aparatos sanitarios y áridos, respectivamente. | |
| [notificada con el número C(2002) 2586] (Texto pertinente a los fines del EEE). (DOCE 20.7.2002). | |
| Decisión 2003/43/CE de la Comisión, de 17 de enero de 2003, por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción (*tableros de derivados de la madera*). | Modificada por las Decisiones 2003/593/CE (DOUE 8.8.2003) y 2006/673/CE (DOUE 7.10.2006). |
| [notificada con el número C (2002) 4807]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOCE 18.1.2003). | |
| Decisión 2003/424/CE de la Comisión, de 6 de junio de 2003, por la que se modifica la Decisión 96/603/CE por la que se establece la lista de productos clasificados en la clase A "sin contribución al fuego" prevista en la Decisión 94/611/CE por la que se aplica el artículo 20 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo sobre los productos de construcción. | modifica la Decisión 96/603/CE (DOCE 19.10.1996) |
| [notificada con el número C(2003) 1673]. Texto pertinente a efectos del EEE. (DOUE 12.6.2003) | |
| Decisión 2003/593/CE de la Comisión de 7 de agosto de 2003 por la que se modifica la Decisión 2003/43/CE por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción (*placas de yeso, paneles decorativos HPL y productos de madera para uso estructural*). | modifica la Decisión 2003/43/CE (DOCE 18.1.2003) |
| [notificada con el número C(2003) 2592] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 8.8.2003) | |
| Decisión 2003/629/CE de la Comisión de 27 de agosto de 2003 que modifica la Decisión 2000/367/CE que establece un sistema de clasificación de las propiedades de resistencia al fuego de los productos de construcción, en lo que respecta la inclusión de productos para el control de calor y humo. | modifica la Decisión 2000/367/CE (DOCE 6.6.2000) |
| [notificada con el número C(2003) 2851] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 30.8.2003). | |
| Decisión 2003/632/CE de la Comisión de 26 de agosto de 2003 por la que se modifica la Decisión 2000/147/CE, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en cuanto a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción (aislamientos lineales de tuberías). | modifica la Decisión 2000/147/CE (DOCE 23.2.2000) |
| [notificada con el número C(2003) 2986] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 3.9.2003) | |
| Decisión 2005/403/CE de la Comisión de 25 de mayo de 2005 por la que se establecen las clases de comportamiento | |

| | |
|---|---|
| ante un fuego exterior de las cubiertas y revestimientos de cubiertas para determinados productos de construcción (acero revestido de Plastisol) con arreglo a la Directiva 89/106/CEE del Consejo.<br><br>[notificada con el número C(2005) 1501] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 28.5.2005). | |
| Decisión 2005/610/CE de la Comisión de 9 de agosto de 2005 por la que se establecen las clases de reacción al fuego sin ensayo para determinados productos de construcción. Empleados en suelos<br><br>[notificada con el número C(2005) 2925] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 11.8.2005). | |
| Decisión 2005/823/CE de la Comisión de 22 de noviembre de 2005 por la que se modifica la Decisión 2001/671/CE relativa a la aplicación de la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que concierne a las clases suplementarias de comportamiento al fuego externos de las cubiertas y de los revestimientos de cubiertas ante un fuego exterior $X_{ROOF}$ t(4).<br><br>[notificada con el número C(2005) 4437] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 25.11.2005). | modifica la Decisión 2001/671/CE (DOCE 4.9.2001) |
| Decisión 2006/213/CE de la Comisión de 6 de marzo de 2006 por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción en lo que respecta a los suelos de madera y los paneles y revestimientos murales de madera maciza.<br><br>[notificada con el número C(2006) 655] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 16.3.2006) | |
| Decisión 2006/600/CE de la Comisión de 4 de septiembre de 2006 por la que se establecen las clases de comportamiento ante un fuego exterior para determinados productos de construcción en lo relativo a los paneles sándwich para cubiertas con recubrimiento metálico por ambas caras.<br><br>[notificada con el número C(2006) 3883] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 7.9.2006) | |
| Decisión 2006/673/CE de la Comisión de 5 de octubre de 2006 que modifica la Decisión 2003/43/CE, por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción, en lo que respecta a las placas de yeso laminado.<br><br>[notificada con el número C(2006) 4360] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE 7.10.2006) | modifica la Decisión 2003/43/CE (DOCE 18.1.2003) |
| Decisión 2006/751/CE de la Comisión de 27 de octubre de 2006 que modifica la Decisión 2000/147/CE, por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción (cables eléctricos).<br><br>[notificada con el número C (2006 5063] (Texto pertinente a efectos del EEE). (DOUE.4.11.2006) | modifica la Decisión 2000/147/CE, (DOCE 23.2.2000) |

# ANEJO 5

## Normas EN relacionadas con la ingeniería de fuego

## CEN / TC 70- Manual means of firefighting equipment - Published standards

| Standard reference | Title | Citation in OJ | Directive |
|---|---|---|---|
| CEN/TR 14922:2004 | Portable fire extinguishers - Model laboratory - Report in compliance with EN 3-7 | No | 97/23/EC |
| CR 13934:2000 | Interpretation document of EN 3 Portable Fire Extinguishers | No | - |
| EN 1866:2005 | Mobile fire extinguishers | Expected | 96/98/EC, 97/23/EC |
| EN 1869:1997 | Fire blankets | No | - |
| EN 2:1992 | Classification of fires | No | - |
| EN 2:1992/A1:2004 | Classification of fires | No | - |
| EN 3-3:1994 | Portable fire extinguishers - Construction, resistance to pressure, mechanical tests | No | 96/98/EC |
| EN 3-6:1995 | Portable fire extinguishers - Part 6: Provisions for the attestation of conformity of portable fire extinguishers in accordance with EN 3 part 1 to part 5 | No | 96/98/EC |
| EN 3-6:1995/A1:1999 | Portable fire extinguishers - Part 6: Provisions for the attestation of conformity of portable fire extinguishers in accordance with EN 3 part 1 to part 5 | No | 96/98/EC |
| EN 3-7:2004 | Portable fire extinguishers - Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods | No | 96/98/EC |
| EN 3-8:2006 | Portable fire extinguishers - Part 8: Additional requirements to EN 3-7 for the construction, resistance to pressure and mechanical tests for extinguishers with a maximum allowable pressure equal to or lower than 30 bar | Expected | 94/55/EC, 96/49/EC, 96/86/EC, 96/87/EC, 96/98/EC, 97/23/EC |
| EN 3-9:2006 | Portable fire extinguishers - Part 9: Additional requirements to EN 3-7 for pressure resistance of CO2 extinguishers | Expected | 97/23/EC |

## CEN / TC 127- Fire Safety in Buildings - Published standards

| Standard reference | Title | Citation in OJ | Directive |
|---|---|---|---|
| CEN/TS 13381-1:2005 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 1: Horizontal protective membranes | No | 89/106/EEC |
| CEN/TS 15117:2005 | Guidance on direct and extended application | No | - |
| CEN/TS 15447:2006 | Mounting and fixing in reaction to fire tests under the Construction Products Directive | No | 89/106/EEC |
| EN 13238:2001 | Reaction to fire tests for building products - Conditioning procedures and general rules for selection of substrates | No | 89/106/EEC |
| EN 13501-1:2002 | Fire classification of construction products and | No | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests | | |
| EN 13501-2:2003 | Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services | No | 89/106/EEC |
| EN 13501-3:2005 | Fire classification of construction products and building elements - Part 3: Classification using data from fire resistance tests on products and elements used in building service installations: fire resisting ducts and fire dampers | No | 89/106/EEC |
| EN 13501-4:2007 | Fire classification of construction products and building elements - Part 4: Classification using data from fire resistance tests on components of smoke control systems | No | 89/106/EEC |
| EN 13501-5:2005 | Fire classification of construction products and building elements - Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests | No | 89/106/EEC |
| EN 13501-5:2005/AC:2006 | Fire classification of construction products and building elements - Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests | No | 89/106/EEC |
| EN 1363-1:1999 | Fire resistance tests - Part 1: General requirements | No | 89/106/EEC |
| EN 1363-2:1999 | Fire resistance tests - Part 2: Alternative and additional procedures | No | 89/106/EEC |
| EN 1364-1:1999 | Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 1: Walls | No | 89/106/EEC |
| EN 1364-2:1999 | Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 2: Ceilings | No | 89/106/EEC |
| EN 1364-3:2006 | Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 3: Curtain walling - Full configuration (complete assembly) | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-1:1999 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 1: Walls | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-2:1999 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 2: Floors and roofs | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-3:1999 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 3: Beams | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-4:1999 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 4: Columns | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-5:2004 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 5: Balconies and walkways | No | 89/106/EEC |
| EN 1365-6:2004 | Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 6: Stairs | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-1:1999 | Fire resistance tests for service installations - Part 1: Ducts | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-2:1999 | Fire resistance tests for service installations - Part 2: Fire dampers | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-3:2004 | Fire resistance tests for service installations - Part 3: Penetration seals | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-4:2006 | Fire resistance tests for service installations - Part 4: Linear joint seals | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-5:2003 | Fire resistance tests for service installations - Part 5: Service ducts and shafts | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-6:2004 | Fire resistance tests for service installations - Part 6: Raised access and hollow core floors | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-7:2004 | Fire resistance tests for service installations - Part 7: Conveyor systems and their closures | No | 89/106/EEC |
| EN 1366-8:2004 | Fire resistance tests for service installations - Part 8: Smoke extraction ducts | No | 89/106/EEC |
| EN 13823:2002 | Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to | No | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | the thermal attack by a single burning item | | |
| EN 14135:2004 | Coverings - Determination of fire protection ability | No | 89/106/EEC |
| EN 14390:2007 | Fire test - Large-scale room reference test for surface products | No | 89/106/EEC |
| EN 1634-1:2000 | Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 1: Fire resistance test for doors and shutter assemblies and openable windows | No | 89/106/EEC |
| EN 1634-1:2000/AC:2006 | Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 1: Fire resistance test for doors and shutter assemblies and openable windows | No | 89/106/EEC |
| EN 1634-3:2004 | Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 3: Smoke control test for door and shutter assemblies | No | 89/106/EEC |
| EN 1634-3:2004/AC:2006 | Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 3: Smoke control test for door and shutter assemblies | No | 89/106/EEC |
| EN ISO 1182:2002 | Reaction to fire tests for building products - Non-combustibility test (ISO 1182:2002) | No | 89/106/EEC |
| EN ISO 11925-2:2002 | Reaction to fire tests - Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test (ISO 11925-2:2002) | No | 89/106/EEC |
| EN ISO 13943:2000 | Fire safety - Vocabulary (ISO 13943:2000) | No | 89/106/EEC |
| EN ISO 1716:2002 | Reaction to fire tests for building products - Determination of the heat of combustion (ISO 1716:2002) | No | 89/106/EEC, 96/98/EC |
| EN ISO 9239-1:2002 | Reaction to fire tests for floorings - Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source (ISO 9239-1:2002) | No | 89/106/EEC |
| ENV 1187:2002 | Test methods for external fire exposure to roofs | No | - |
| ENV 1187:2002/A1:2005 | Test methods for external fire exposure to roofs | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-2:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of stuctural members - Part 2: Vertical protective membranes | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-3:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 3: Applied protection to concrete members | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-4:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 4: Applied protection to steel members | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-5:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 5: Applied protection to concrete/profiled sheet steel composite members | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-6:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 6: Applied protection to concrete filled hollow steel columns | No | 89/106/EEC |
| ENV 13381-7:2002 | Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 7: Applied protection to timber members | No | 89/106/EEC |
| ENV 1363-3:1998 | Fire resistance tests - Part 3: Verification of furnace performance | No | 89/106/EEC |

## CEN / TC 191- Fixed firefighting systems - Published standards

| Standard reference | Title | Citation in OJ | Directive |
|---|---|---|---|
| CEN/TR 12101-4:2006 | Smoke and heat control systems - Part 4: Installed SHEVS systems for smoke and heat ventilation | No | 89/106/EEC |
| CEN/TR 12101-5:2005 | Smoke and heat control systems - Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems | No | - |
| CEN/TS 15176:2005 | Evaluation of conformity for fixed firefighting systems standards | No | - |
| EN 12094-1:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 1: Requirements and test methods for electrical automatic control and delay devices | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-10:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 10: Requirements and test methods for pressure gauges and pressure switches | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-11:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 11: Requirements and test methods for mechanical weighing devices | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-12:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 12: Requirements and test methods for pneumatic alarm devices | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-13:2001 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 13: Requirements and test methods for check valves and non-return valves | Cited in OJ C 202 (2001-07-18), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-13:2001/AC:2002 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 13: Requirements and test methods for check valves and non-return valves | No | - |
| EN 12094-16:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 16: Requirements and test methods for odorizing devices for CO2 low pressure systems | No | 89/106/EEC |
| EN 12094-2:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 2: Requirements and test methods for non-electrical automatic | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | control and delay devices | C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | |
| EN 12094-3:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 3: Requirements and test methods for manual triggering and stop devices | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-4:2004 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 4: Requirements and test methods for container valve assemblies and their actuators | Cited in OJ C 263 (2004-10-26), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-5:2006 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 5: Requirements and test methods for high and low pressure selector valves and their actuators | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12094-6:2006 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 6: Requirements and test methods for non-electrical disable devices | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12094-7:2000 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 7: Requirements and test methods for nozzles for CO2 systems | Cited in OJ C 202 (2001-07-18), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-7:2000/A1:2005 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 7: Requirements and test methods for nozzles for CO2 systems | Cited in OJ C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12094-8:2006 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 8: Requirements and test methods for connectors | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12094-9:2003 | Fixed firefighting systems - Components for gas extinguishing systems - Part 9: Requirements and test methods for special fire detectors | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12101-1:2005 | Smoke and heat control systems - Part 1: Specification for smoke barriers | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12101-1:2005/A1:2006 | Smoke and heat control systems - Part 1: Specification for smoke barriers | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12101-10:2005 | Smoke and heat control systems - Part 10: Power supplies | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12101-10:2005/AC:2007 | Smoke and heat control systems - Part 10: Power supplies | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12101-2:2003 | Smoke and heat control systems - Part 2: Specification for natural smoke and heat exhaust ventilators | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| EN 12101-3:2002 | Smoke and heat control systems - Part 3: Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators | Cited in OJ C 67 (2004-03-17), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12101-3:2002/AC:2005 | Smoke and heat control systems - Part 3: Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12101-6:2005 | Smoke and heat control systems - Part 6: Specification for pressure differential systems - Kits | Cited in OJ C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12101-6:2005/AC:2006 | Smoke and heat control systems - Part 6: Specification for pressure differential systems - Kits | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12259-1:1999 + A1:2001 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 1: Sprinklers | Cited in OJ C 40 (2002-02-14), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-1:1999 + A1:2001/A2:2004 | Fixed firefighting systems components for sprinkler and waterspray systems - Part 1: Sprinklers | Cited in OJ C 263 (2004-10-26), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-1:1999 + A1:2001/A3:2006 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 1: Sprinklers | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12259-2:1999 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 2: Wet alarm valve assemblies | Cited in OJ C 139 (2005-06-08) | 89/106/EEC |
| EN 12259-2:1999/A1:2001 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 2: Wet alarm valve assemblies | Cited in OJ C 358 (2001-12-15), C 97 (2004-04-22), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-2:1999/A2:2005 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 2: Wet alarm valve assemblies | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12259-2:1999/AC:2002 | Fixed firefighting sytems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 2: Wet alarm valve assemblies | Cited in OJ C 139 (2005-06-08) | 89/106/EEC |
| EN 12259-3:2000 | Fixed firefighting systems - Components for automatic sprinkler and water spray systems - Part 3: Dry alarm valve assemblies | Cited in OJ C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-3:2000/A1:2001 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 3: Dry alarm valve assemblies | Cited in OJ C 358 (2001-12-15), C 97 (2004-04-22), C 139 (2005-06-08), | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | C 319 (2005-12-14) | |
| EN 12259-3:2000/A2:2005 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 3: Dry alarm valve assemblies | Expected | 89/106/EEC |
| EN 12259-4:2000 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 4: Water motor alarms | Cited in OJ C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-4:2000/A1:2001 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 4: Water motor alarms | Cited in OJ C 358 (2001-12-15), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12259-5:2002 | Fixed firefighting systems - Components for sprinkler and water spray systems - Part 5: Water flow detectors | Cited in OJ C 47 (2003-02-27), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12416-1:2001 | Fixed firefighting systems - Powder systems - Part 1: Requirements and test methods for components | Cited in OJ C 202 (2001-07-18), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12416-1:2001/A1:2004 | Fixed firefighting systems - Powder systems - Part 1: Requirements and test methods for components | Cited in OJ C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12416-2:2001 | Fixed firefighting systems - Powder systems - Part 2: Design, construction and maintenance | Cited in OJ C 40 (2002-02-14), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 12845:2004 | Fixed firefighting systems - Automatic sprinkler systems - Design, installation and maintenance | No | 89/106/EEC |
| EN 13565-1:2003 | Fixed firefighting systems - Foam systems - Part 1: Requirements and test methods for components | Cited in OJ C 263 (2004-10-26), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 1568-1:2000 | Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids | No | 89/106/EEC |
| EN 1568-2:2000 | Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids | No | 89/106/EEC |
| EN 1568-3:2000 | Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water- | No | 89/106/EEC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | immiscible liquids | | |
| EN 1568-4:2000 | Fire extinguishing media - Foam concentrates - Part 4: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-miscible liquids | No | 89/106/EEC |
| EN 25923:1993 | Fire protection - Fire extinguishing media - Carbon dioxide (ISO 5923:1989) | No | 89/106/EEC |
| EN 27201-1:1994 | Fire protection - Fire extinguishing media - Halogenated hydrocarbons - Part 1: Specifications for halon 1211 and halon 1301 (ISO 7201-1:1989) | No | 89/106/EEC |
| EN 27201-2:1994 | Fire protection - Fire extinguishing media - Halogenated hydrocarbons - Part 2: Code of practice for safe handling and transfer procedures (ISO 7201-2:1991) | No | 89/106/EEC |
| EN 615:1994 | Fire protection - Fire extinguishing media - Specification for powders (other than class D powders) | No | 89/106/EEC |
| EN 615:1994/A1:2001 | Fire protection - Fire extinguishing media - Specifications for powders (other than class D powders) | No | 89/106/EEC |
| EN 615:1994/AC:2006 | Fire protection - Fire extinguishing media - Specifications for powders (other than class D powders) | No | 89/106/EEC |
| EN 671-1:2001 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 1: Hose reels with semi-rigid hose | Cited in OJ C 202 (2001-07-18), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC, 96/98/EC |
| EN 671-1:2001/AC:2002 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 1: Hose reels with semi-rigid hose | No | 89/106/EEC, 96/98/EC |
| EN 671-2:2001 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 2: Hose systems with lay-flat hose | Cited in OJ C 202 (2001-07-18), C 139 (2005-06-08), C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC, 96/98/EC |
| EN 671-2:2001/A1:2004 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 2: Hose systems with lay-flat hose | Expected | 89/106/EEC |
| EN 671-3:2000 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 3: Maintenance of hose reels with semi-rigid hose and hose systems with lay-flat hose | No | 89/106/EEC |
| EN 671-3:2000/AC:2000 | Fixed firefighting systems - Hose systems - Part 3: Maintenance of hose reels with semi-rigid hose and hose systems with lay-flat hose | No | 89/106/EEC |

## CEN/TC 192- Fire service equipment - Published standards

| Standard reference | Title | Citation in OJ | Directive |
|---|---|---|---|
| EN 1028-1:2002 | Fire-fighting pumps - Fire-fighting centrifugal pumps with primer - Part 1: Classification - General and safety requirements | Cited in OJ C 192 (2003-08-14), C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 1028-2:2002 | Fire-fighting pumps - Fire-fighting centrifugal | Cited in OJ | 98/37/EC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | pumps with primer - Part 2: Verification of general and safety requirements | C 192 (2003-08-14), C 336 (2005-12-31) | |
| EN 1147:2000 | Portable ladders for fire service use | No | - |
| EN 13204:2004 | Double acting hydraulic rescue tools for fire and rescue service use - Safety and performance requirements | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 14043:2005 | High rise aerial appliances for fire service use - Turntable ladders with combined movements - Safety and performance requirements and test methods | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 14043:2005/AC:2006 | High rise aerial appliances for fire service use - Turntable ladders with combined movements - Safety and performance requirements and test methods | Expected | 98/37/EC |
| EN 14044:2005 | High rise aerial appliances for fire service use - Turntable ladders with sequential movements - Safety and performance requirements and test methods | Expected | 98/37/EC |
| EN 14339:2005 | Underground fire hydrants | Cited in OJ C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 14384:2005 | Pillar fire hydrants | Cited in OJ C 319 (2005-12-14) | 89/106/EEC |
| EN 14466:2005 | Fire fighting pumps - Portable pumps - Safety and performance requirements, tests | Expected | 98/37/EC |
| EN 14540:2004 | Fire-fighting hoses - Non-percolating layflat hoses for fixed systems | No | 89/106/EEC, 96/98/EC |
| EN 14710-1:2005 | Fire-fighting pumps - Fire-fighting centrifugal pumps without primer - Part 1: Classification, general and safety requirements | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 14710-2:2005 | Fire-fighting pumps - Fire-fighting centrifugal pumps without primer - Part 2: Verification of general and safety requirements | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 15182-1:2007 | Hand-held branchpipes for fire service use - Part 1: Common requirements | No | - |
| EN 15182-2:2007 | Hand-held branchpipes for fire service use - Part 2: Combination branchpipes PN 16 | No | - |
| EN 15182-3:2007 | Hand-held branchpipes for fire service use - Part 3: Smooth bore jet and/or one fixed spray jet angle branchpipes PN 16 | No | - |
| EN 15182-4:2007 | Hand-held branchpipes for fire service use - Part 4: High pressure branchpipes PN 40 | No | - |
| EN 1777:2004 | Hydraulic platforms (HPs) for fire fighting and rescue services - Safety requirements and testing | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 1846-1:1998 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 1: Nomenclature and designation | No | - |
| EN 1846-2:2001 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 2: Common requirements - Safety and performance | Cited in OJ C 141 (2002-06-14), C 192 (2003-08-14), C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 1846-2:2001/A1:2004 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 2: Common requirements - Safety and performance | Cited in OJ C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 1846-2:2001/A1:2004/AC:2007 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 2: Common requirements - Safety and performance | Expected | 98/37/EC |

| | | | |
|---|---|---|---|
| EN 1846-2:2001/A2:2006 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 2: Common requirements - Safety and performance | Expected | 98/37/EC |
| EN 1846-2:2001/AC:2007 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 2: Common requirements - Safety and performance | Expected | 98/37/EC |
| EN 1846-3:2002 | Firefighting and rescue service vehicles - Part 3: Permanently installed equipment - Safety and performance | Cited in OJ C 192 (2003-08-14), C 336 (2005-12-31) | 98/37/EC |
| EN 1947:2002 | Fire-fighting hoses - Semi-rigid delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles | No | - |
| EN 694:2001 | Fire-fighting hoses - Semi-rigid hoses for fixed systems | No | - |
| EN 694:2001/AC:2002 | Fire-fighting hoses - Semi-rigid hoses for fixed systems | No | - |
| EN 694:2001/AC:2003 | Fire-fighting hoses - Semi-rigid hoses for fixed systems | No | - |
| EN ISO 14557:2002 | Fire-fighting hoses - Rubber and plastics suction hoses and hose assemblies (ISO 14557:2002) | No | - |

# DOCUMENTO BÁSICO *SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO*: CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS GENERALES

María Eugenia Maciá Torregrosa
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 Introducción

En la actualidad el estado normativo español en lo referente a edificación se encuentra en un periodo transitorio. La convergencia europea y la necesidad de agrupación de la gran cantidad de normas existentes que afectan a los proyectos de construcción son las razones fundamentales de esta transición.

Dentro del Código Técnico de la Edificación, y para cumplir con el **objetivo de reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental**, se ha redactado el Documento Básico "*Seguridad en caso de Incendio*" (DB SI).

El Documento Básico "*Seguridad en caso de incendio*" se desarrolla en base a los criterios generales que determinan los **Códigos basados en Prestaciones**, estableciendo unas exigencias generales cuyo cumplimiento garantiza la consecución del objetivo general del Requisito mediante soluciones, como la Ingeniería de fuego, que no estaban habilitadas en los Códigos Prescriptivos.

Esta Ponencia tiene como objetivo situar en el **panorama actual** la actual normativa en función de los criterios y procedimientos generales que han regido su redacción, haciendo mención expresa a sus cambios, novedades y matices con respecto a la normativa anterior, señalando la existencia de la innovación de las técnicas de control del humo de incendio, la evolución en las instalaciones, la respuesta de los materiales ante el incendio y los métodos de cálculo de resistencia estructural que se habilitan en la **normativa española de Seguridad en caso de Incendio** de reciente implantación en nuestro país.

# 2 Antecedentes normativos

En estos últimos años la protección contra incendios ha estado regulada por la Norma Básica de la Edificación "*Condiciones de protección contra incendios en los edificios*" NBE-CPI/96. Se trataba de una norma relativamente reciente que no ha presentado grandes problemas en su aplicación. Sin embargo, la necesidad de la **adaptación a la normativa europea**, la adopción de un **marco basado en prestaciones**, así como los **avances técnicos** en materia de protección contra incendios han hecho necesaria su revisión.

Este nuevo enfoque pretende superar las **limitaciones impuestas por los tradicionales códigos precriptivos**, habitualmente inflexibles, que impiden la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, de forma que la normativa promueva la investigación y **no coarte el progreso tecnológico** permitiendo además la **apertura del sector** a los mercados cada vez mas globales dentro del comercio de productos de construcción y de profesionales del sector.

# 3 Objetivo principal del Documento Básico

El objetivo principal que persigue este documento es **clarificar** la normativa actual, **actualizar-la** con respecto a la normativa Europea y **abordar otros temas** no desarrollados hasta ahora.

El Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) ha sustituido a la NBE-CPI/96 teniendo en cuenta los aspectos enunciados anteriormente. Para su elaboración **se ha reestructurado el contenido de la Norma Básica** agrupando las medidas a adoptar en función de los riesgos identificados. Los diferentes apartados en los que se organiza el documento son: la propagación del incendio, tanto interior como exterior al edificio; la evacuación de ocupantes del edificio en condiciones de seguridad; la instalación de sistemas de detección, control y extinción de un incendio; la intervención de los bomberos y la resistencia al fuego de la estructura.

El DBSI es una actualización de la NBE-CPI/96, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

a) la **adaptación a la Directiva de Productos de la Construcción**, que obliga a adoptar los nuevos sistemas de clasificación de comportamiento ante el fuego de los elementos constructivos;
b) la conveniencia de la **introducción de temas no abordados** hasta ahora como el control del humo que es la principal causa de victimas en caso de incendio o la inclusión de especificaciones para los edificios de pública concurrencia;
c) la necesidad de desarrollar **criterios para el diseño de fachadas** que limiten el riesgo de propagación de un incendio a otros sectores o a otros edificios por el exterior del edificio;
d) la inexistencia de métodos explícitos para el **cálculo de la resistencia al fuego** de los elementos estructurales. La reglamentación actual se limita a la remisión a los Eurocódigos actuales;
e) la dificultad en la **interpretación y aplicación** de algunos de los preceptos de la NBE-CPI/96 causa de frecuentes consultas a la administración.

# 4 Ámbito de aplicación y exclusiones

El ámbito de aplicación del DB SI es el establecido con **carácter general para el CTE**, excepto para los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que sea de aplicación el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Edificios Industriales (RSCIEI). El Requisito Básico de SI y las Exigencias Básicas de SI también deben aplicarse a los edificios de uso industrial, pero no el DB. En estos edificios se cumplen las Exigencias Básicas aplicando el RSCIEI.

El DBSI regula la **dotación de instalaciones** de protección contra incendios en los edificios, pero en cuanto a sus características se remite al RIPCI.

Algunos aspectos regulados por la NBE CPI pasan a considerarse **propios del Requisito Básico "Seguridad de utilización**" y a regularse en el DB SU (en el DB SI se hace referencia al DB SU):

- Condiciones de diseño de elementos de circulación (pasillos, escaleras y rampas): tramos, peldañeado, mesetas, pendientes máximas, etc.
- Alumbrado de emergencia e iluminación de las señales.

Además este Documento Básico no **incluye exigencias dirigidas a limitar el riesgo de inicio de incendio** relacionado con las instalaciones o los almacenamientos regulados por reglamentación específica, debido a que corresponde a dicha reglamentación (la cual se relaciona en el Anejo SI B de este DB) establecer dichas exigencias.

# 5 Principales temas abordados en el Documento Básico

Para la realización de este proyecto se han definido de forma clara y concisa las exigencias básicas que garantizan el cumplimiento del objetivo y se ha planteado la **inclusión de varios temas con el fin de limitar diversas situaciones de riesgo**:

- En general se ha **clarificado la reglamentación vigente** mediante la inclusión de las respuestas a las consultas hechas a la Dirección General de la Vivienda, Arquitectura y Urbanismo (DGVAU).

- Debido al incremento del riesgo por la acumulación de personas en caso de evacuación se han regulado los espacios diáfanos de grandes dimensiones destinados a uso de **pública concurrencia**.

- Se han referenciado normas europeas para el **control del humo de incendio** en los edificios de gran complejidad espacial (centros comerciales y edificios con atrios) y en los garajes, para que los ocupantes puedan abandonarlos en condiciones de seguridad.

- Con el fin de reducir el **riesgo de propagación** de un incendio a través de las fachadas se han establecido unos parámetros de configuración de las mismas.

- Se proporcionan tablas y métodos simplificados de cálculo de **resistencia al fuego** de los elementos estructurales para el cumplimiento de la exigencia de estabilidad de la estructura.

- Se han adoptado los **nuevos sistemas europeos de clasificación de reacción y resistencia al fuego** de los materiales y elementos constructivos, estableciendo un periodo de coexistencia previo.

Una de las novedades de este documento es que se adoptan las clasificaciones europeas de **reacción al fuego** (es obligatorio, por el R.D. 312/2005, que los productos se ensayen y clasifiquen según nuevas normas europeas y euroclases). Pero la CPI concedía unos períodos de validez a los certificados de ensayo de reacción y resistencia al fuego (5 y 10 años), por lo que mientras el certificado era válido, ese producto podía seguir amparándose en él, acreditando el cumplimiento de las exigencias reglamentarias según la clasificación nacional.

En este Documento Básico se ha adoptado la **clasificación europea**:

- en general para los productos de construcción; o
- en particular, establece clasificaciones específicas para algunas familias de productos y para cubiertas.

La clasificación general consta de tres parámetros:

- Una letra, que es la clasificación principal e indica la **combustibilidad del material** y su **contribución al fuego**. Esta clasificación va de mejor (A) a peor (E) comportamiento al fuego. La clasificación A1 indica que el material es no combustible, y no tiene contribución al fuego. La clasificación E indica que estamos ante un material combustible y con contribución alta al fuego. La clasificación F nos indica que el material no tiene clasificación.

- El segundo parámetro, "s" (smoke), con tres niveles, indica la **velocidad y producción total de humo**. No indica la toxicidad del material pero sí el grado de opacidad, que puede afectar a la visibilidad que tendrán los ocupantes de un edificio en caso de evacuación.

- El tercero, "d" (drop), la **caída de gotas o partículas inflamadas**.
Así, por ejemplo, un material que tenga una clasificación B s3 d0 correspondería a un material poco combustible, que produce gran cantidad de humo cuando arde y que no desprende gotas o partículas inflamadas.

No todas las clases deben ir acompañadas de clasificación adicional de opacidad del humo o de caída de gotas o partículas inflamadas.

Por último, la clasificación no sólo depende del comportamiento ante el fuego de los materiales sino también de la forma en que éstos se colocan sobre los soportes, ya que los ensayos de un mismo material sobre diferentes soportes pueden dar lugar a clasificaciones distintas.

Se admite que toda clase, con índices iguales o más favorables de los de otra clase, satisface las condiciones de ésta.

Se establecen clasificaciones específicas para algunas familias de productos, como el caso de los suelos, de los productos lineales para el aislamiento térmico de tuberías, o para las cubiertas y sus recubrimientos. Para éstos se establecen **criterios de clasificación distintos a los generales**.

Las condiciones de **resistencia al fuego** se expresan según las **nuevas clasificaciones europeas**, que deben determinarse según los nuevos ensayos europeos.

**Conceptualmente**, la nueva clasificación de resistencia al fuego no comporta un cambio tan sustancial como en el caso de la reacción. Se trata esencialmente de un tema de nomenclatura y de nuevos ensayos, así como la forma en que éstos se llevan a cabo.
Sin embargo, sí se fija la función de los diferentes elementos en el conjunto del edificio.

En este DB se adoptan las clasificaciones europeas de resistencia al fuego, ya establecidas por el RD 312/2005, que se basan en tres nuevos parámetros generales:

R Aptitud de una estructura o de un elemento estructural de **soportar las acciones** especificadas durante la exposición prevista el fuego, de acuerdo con criterios definidos.

E Aptitud de un elemento separador de un edificio, cuando está expuesto al fuego por una cara, de **impedir el paso de las llamas y de los gases** calientes a su través y de impedir la aparición de llamas en la cara no expuesta.

I Aptitud de un elemento separador de un edificio, cuando está expuesto al fuego por una cara, de **limitar la elevación de la temperatura en la cara no expuesta** por debajo de valores establecidos.

Todos estos parámetros van acompañados de un valor que es el tiempo (en minutos) durante el cual se mantienen los **requisitos de comportamiento**.

# 6 Situaciones de riesgo establecidas en el Documento Básico

La Seguridad en caso de incendio es un requisito de la LOE: "*para que los ocupantes puedan desalojar el edificio en condiciones seguras, se pueda limitar la extinción de lincendio dentro del propio edificio y de los colindantes y se permita la actuación de los equipos de extinción y rescate*".

Para la redacción de este Documento se ha planteado dar un primer paso hacia una **normativa basada en prestaciones**, haciendo el esfuerzo de extraer las exigencias básicas del objetivo del requisito de "*Seguridad en caso de Incendio*", que pueden satisfacerse aplicando los parámetros objetivos y procedimientos proporcionados u otros debidamente justificados.

El CTE desarrolla este requisito en seis exigencias básicas e incorpora un Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DBSI) que establece parámetros y procedimientos para dar

cumplimiento a las mencionadas exigencias. Dichas exigencias básicas limitan las siguientes **situaciones de riesgo**:

**1. Evitar la propagación del incendio por el interior del edificio.**

Mediante las condiciones de compartimentación, establecimiento de locales y zonas de riesgo especial, espacios ocultos y la definición de la reacción al fuego de los elementos constructivos se puede llegar a controlar que el incendio no se propague dentro del edificio.

Se establecen **condiciones de compartimentación** en general y además para cada uno de los usos definidos en el apartado de Terminología.
En la mayor parte de los casos, el tamaño máximo del sector es de 2500 m2, con algunas excepciones como la de los edificios de uso docente (para los que los sectores pueden ser de hasta 4000 m2), o zonas de hospitalización (2x1500 m2), como en la CPI. **Es posible duplicar** esta superficie máxima si se protege el sector con una instalación automática de extinción que **no exija la norma**.

Como novedades a destacar:
- se acuña un nuevo término (en Terminología): el de ***sector de riesgo mínimo***, al que no se limita la superficie;
- no se limita el tamaño máximo del sector de incendios en **aparcamientos**;
- se regulan los **espacios diáfanos de grandes dimensiones para uso de PC** (como cines, teatros, salas para congresos, recintos feriales, etc.), debido al incremento del riesgo por la acumulación de personas en caso de evacuación.

**2. Impedir la propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.**

Este riesgo se limita mediante unos criterios claros de distancias entre medianerías, fachadas y cubiertas.

Se establecen en esta sección **medidas para limitar la propagación exterior** de un incendio, que se dividen en: medidas para medianerías y fachadas y medidas para cubiertas.

Además se introducen variaciones con respecto a las fachadas con respecto a la reglamentación anterior:

Como resultado de un estudio de los **mecanismos de propagación horizontal** (por incidencia directa de la llama o por radiación) de un incendio a través de las fachadas de los edificios, se fijan distancias mínimas entre huecos en función del ángulo formado por los planos exteriores de fachadas pertenecientes a edificios o sectores distintos.

Las medidas para limitar el riesgo de que se propague un incendio verticalmente a través de una fachada, pueden ser de varios tipos:

- establecer una **separación vertical mínima** entre zonas que no sean resistentes al fuego;
- disponer **salientes que actúen como barrera** e impidan que las llamas alcancen las plantas superiores;

- mejorar el **comportamiento de reacción al fuego** de los materiales de acabado exterior de las fachadas, así como de acabado interior de las cámaras ventiladas;

Por otro lado, se exige determinadas condiciones de reacción al fuego a los materiales que ocupen más del 10 % del revestimiento o acabado exterior de fachadas o de las superficies interiores de las cámaras ventiladas en fachadas cuyo arranque sea accesible al público (bien desde la rasante exterior, bien desde una cubierta, y para toda fachada cuya altura de evacuación sea mayor que 18 m.

**3. Inexistencia de medios de evacuación adecuados.**

Se asignan criterios de compatibilidad de los elementos de evacuación, cálculo de la ocupación, dimensiones de los medios de evacuación, control del humo de incendio, entre otros.

También se indican las condiciones de protección que deben cumplir las **escaleras previstas para la evacuación**, para los distintos usos de los edificios. Asimismo se regula la **dimensión de los pasos entre filas de asientos fijos** en salas para público tales como cines, teatros, auditorios, etc. Estos pasos deben tener un ancho mínimo que varía en función del número de asientos que tenga la fila.

Además se admite la ventilación de escaleras protegidas y vestíbulos de independencia mediante ventilación natural por conductos (Anejo A).

Como novedad, se exige el control del humo de incendio en edificios que **supongan un nivel de riesgo importante** para los ocupantes, por sus características específicas, como los garajes cerrados o los edificios con atrios, centros comerciales o de Pública concurrencia, a partir de una determinada ocupación.

**4. Inexistencia de instalaciones de protección contra incendios adecuadas.**

Esta sección **regula la dotación de instalaciones** de protección contra incendios en los edificios, pero no sus características (diseño, ejecución, puesta en funcionamiento y mantenimiento). Éstas están reguladas por el RIPCI.

Se indican las instalaciones que debe tener el edificio en función de su uso. Las **zonas** cuyo **uso previsto** sea **diferente** del principal y que deban constituir un sector de incendio diferente según la sección SI1, deberán disponer de la dotación de instalaciones para su uso.

Se amplía la exigencia de dotación de instalaciones de PCI en el caso de edificios en altura, por su **problemática específica** en cuanto a la evacuación de los usuarios y en cuanto a la accesibilidad de los servicios de extinción.

Un aspecto incluido en este Documento Básico es el de los **aparcamientos robotizados**, a los que también se exige su protección mediante un sistema de extinción automática.

Se establecen medidas específicas para los **edificios de Pública Concurrencia**. En particular, se hace más restrictiva la exigencia de instalación de los sistemas de detección y alarma.

**5. Dificultad en la intervención de los equipos de rescate y extinción de incendios.**

Se establecen las condiciones de aproximación y entorno a los edificios y la accesibilidad por fachada.

El principal cambio en cuanto a las medidas para facilitar la intervención de los servicios de extinción de incendios es que hasta ahora éstas eran recomendaciones, y en este caso **pasan a formar parte del texto reglamentario** (Documento Básico, cuyo cumplimiento satisface el requisito básico de Seguridad en caso de Incendio).

En áreas consolidadas en las que estas medidas no puedan llevarse a cabo la validez técnica de la solución propuesta, cuando ésta difiera de la establecida en el DB SI, deberá ser aprobada por los técnicos que intervienen en la supervisión del proyecto para la concesión de licencias y autorizaciones.

**6. Accidentes derivados de la pérdida de resistencia al fuego de la estructura portante.**

El objetivo de esta exigencia es que la estructura portante del edificio resista el tiempo suficiente para que puedan cumplirse las demás exigencias básicas.

Por un lado, el documento **habilita alternativas para obtener la resistencia al fuego estructural necesaria** como la de adoptar modelos que representen de forma más ajustada el comportamiento de un incendio real (modelos de incendio simplificados, como las curvas paramétricas o los fuegos localizados, y modelos avanzados, como los modelos de una o dos zonas o los modelos informáticos de dinámica de fluidos). Este Documento también habilita el uso del método del Tiempo Equivalente de exposición al fuego normalizado como alternativa a la exigencia mediante tablas de resistencia estructural.

Por otro lado, para evaluar la respuesta del material de la solución propuesta, en el documento se aportan tablas y/o **métodos simplificados de cálculo** suficientemente aproximados para la mayoría de las situaciones habituales, según el material en el que esté realizada la estructura: hormigón, acero, madera o fábrica. Se han proporcionado tablas siempre que ha sido posible y métodos de cálculo simplificados donde se puede hacer la hipótesis de que se reduce la sección resistente del elemento a medida que se va degradando el material por las temperaturas elevadas.

Para casos específicos en los que se quiera emplear métodos generales de cálculo, ha de recurrirse a los eurocódigos estructurales.

# 7 El Documento Básico y sus Anejos

Además de establecer las situaciones de riesgo a las que pueden estar sometidas las edificaciones en caso de incendio, el documento también se encarga de **facilitar su cumplimiento**

gracias a una serie de Anejos que ayudan a la compresión de los términos empleados en él así como de **facilitar el cálculo** de determinados elementos estructurales sometidos a la acción del fuego.

Es necesario mencionar que los términos que aparecen en cursiva en el texto **están codificados** por lo tanto deben utilizarse conforme al significado y a las condiciones que se establecen para cada uno de ellos en este apartado.

De esta manera se consigue adelgazar el documento puesto que muchas definiciones de términos son, en realidad, **desarrollos reglamentarios**. Es el caso, p.e., de las escaleras protegidas y especialmente protegidas: si tienen o no vestíbulo de independencia, qué resistencia al fuego tienen los elementos que las separan del resto del edificio, cuántos accesos pueden tener en cada planta, la ventilación que debe tener, etc.

En el apartado de terminología están también definidos los **usos de los edificios** que se consideran en el documento. Hay un nuevo uso que no se contemplaba en la CPI 96: el de Pública Concurrencia. El uso Pública Concurrencia incluye edificios destinados a restauración, espectáculos, reunión, deporte, esparcimiento, auditorios y juego, así como edificios religiosos y de transporte de personas. (antes contemplados por el Reglamento General de Policía de Espectáculos Públicos y Actividades Recreativas.)

# 8 Breves observaciones sobre el Documento Básico "*Seguridad en caso de Incendio"*

Para la redacción de este Documento se ha planteado dar un primer paso hacia una **normativa basada en prestaciones**, haciendo el esfuerzo de extraer las exigencias básicas del objetivo del requisito de "Seguridad en caso de Incendio", que pueden satisfacerse aplicando los parámetros objetivos y procedimientos proporcionados u otros debidamente justificados.

Para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio podrá optarse por:

a) **adoptar soluciones técnicas basadas en el DBSI** puesto que su aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas; o
b) **adoptar soluciones alternativas**, entendidas como aquellas que se aparten totalmente o parcialmente del DB. El proyectista o el director de la obra pueden, bajo responsabilidad y previa conformidad con el promotor, adoptar soluciones alternativas siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían mediante la aplicación del DB.

Aunque este documento ha tratado de avanzar en lo posible teniendo en cuenta los progresos en el estado del conocimiento actual sobre la seguridad en caso de incendio, adolece todavía, en esta primera etapa, de **ciertas limitaciones o carencias**. Es necesaria la realización de estudios y ensayos sobre determinados aspectos que establecen ciertas limitaciones al documento.

A pesar de eso, este Documento Básico establece esencialmente una serie de **avances o mejoras** considerables en relación a la normativa existente hasta ahora. Estos progresos se traducirán de forma notable en los siguientes aspectos:

- se facilitará la **libre circulación de los productos de construcción** mediante la adaptación del documento a la DPC;

- gracias al enfoque prestacional adoptado se permitirá la **innovación**, tanto en el diseño del edificio como en los métodos de cálculo adoptados o los materiales y productos utilizados;

- se **reducirán los daños materiales y personales** como consecuencia de la propagación del incendio por el exterior del edificio;

- se **reducirán los casos de intoxicación o quemaduras** debidas al humo de incendio durante la evacuación en edificios con atrios, centros comerciales y garajes;

- **disminuirán los costes de construcción**, en los casos en los que se permita menor resistencia al fuego en la compartimentación y la estructura mediante el método del tiempo equivalente.

# EL HORMIGON FRENTE AL FUEGO METODOS DE EVALUACION

**Mª Cruz Alonso Alonso**
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
Dpto. de Químico-física de materiales de construcción.
Madrid, España
mcalonso@ietcc.csic.es

## 1. Introducción

En la evaluación de la vulnerabilidad del hormigón armado frente al fuego se considera crítico conocer el recubrimiento de hormigón que ha estado expuesto a temperaturas superiores a los 300ºC. De hecho, temperaturas en el escenario del incendio por encima de los 900ºC son muy frecuentes en fuegos reales. Sin embargo, en un elemento de hormigón, únicamente la temperatura de las capas más externas del mismo, unos pocos mm, alcanzan estas temperaturas, mientras que la temperatura del interior del hormigón permanece en valores muy inferiores, dando lugar a importantes gradientes de temperatura y contribuyendo a diferentes niveles de daño.

El efecto de la temperatura sobre los componentes del hormigón es fundamental para valorar el daño sobre el conjunto del elemento. Si los tiempos de exposición son cortos, los daños sobre el hormigón se espera que no sean serios. Así, si la acción del fuego se limita a pequeñas profundidades, el efecto del daño sobre las propiedades del elemento se restringirá a la pérdida de sección de hormigón afectada. Sin embargo, elevados gradientes de temperatura pueden conducir a explosiones en la superficie del hormigón incluso dejando a la armadura directamente expuesta a la acción de las elevadas temperaturas. En este caso, o ante la acción de un fuego severo en el que el daño sobre el hormigón alcance el nivel de la armadura, se puede producir un desastre respecto a la respuesta mecánica del elemento.

En el presente trabajo se hace una revisión de los distintos métodos empleados para la evaluación de las estructuras de hormigón armado afectadas por fuego, contrastadas mediante resultados de casos concretos.

## 2. Técnicas para determinar la pérdida de propiedades del elemento de hormigón armado afectado por el fuego

En una estructura afectada por el fuego tres son los objetivos básicos a cubrir:

1) Determinar la profundidad del hormigón expuesta a temperatura crítica de 300ºC del inicio de pérdida de resistencias mecánicas, y
2) Estimar la profundidad de hormigón que ha sufrido una caída de resistencias tal, que afecten a la capacidad portante del elemento, o de la estructura.
3) Determinar la profundidad de la isoterma de 500ºC.

El requisito más común de una estructura que ha estado expuesta al fuego es, por tanto, la estimación de la resistencia a partir de la determinación de propiedades concretas de sus componentes y la adopción de la calibración con unas curvas específicas de Tª y de niveles de daño.

Al ir aumentando la temperatura del hormigón se producen varios cambios en sus componentes de tipo físico-químico (1-4): así a las distintas temperaturas de exposición se van descomponiendo los componentes del hormigón, el gel CSH entre 100 y 350ºC, entre 450 y 550ºC se descompone la portlandia, a partir de estas temperaturas comienzan a alterarse los áridos. Hay que tener en cuenta, además los cambios de volumen, retracción en la pasta y expansiones en los áridos. Aunque los cambios mas importantes en los áridos son debidos al aumento de volumen, estos dependen fundamentalmente del tipo de árido, los áridos calizos tienen un coeficiente de expansión que es aproximadamente la mitad del árido silíceo, mientras que los áridos basálticos presentan baja expansión térmica (4).

La resistencia residual de un hormigón suficientemente denso tras el enfriamiento va a variar dependiendo de la temperatura máxima alcanzada, del tipo de hormigón, de las condiciones de carga y sobretodo del tiempo de exposición a una determinada temperatura para que puedan desarrollarse plenamente las transformaciones descritas anteriormente. Para temperaturas de exposición inferiores a 300ºC la resistencia residual del hormigón estructural no queda afectada generalmente de forma significativa. Temperaturas superiores a 300ºC llevan a reducción en las resistencias a compresión, y ya a 500ºC solo queda una fracción de las resistencias iniciales, a partir de esa situación no se espera que el hormigón aporte una resistencia estructural útil.

El efecto que las elevadas temperaturas tienen sobre las armaduras se manifiesta en perdida de resistencia mecánica, que es la responsable de las excesivas deformaciones residuales del acero tras el enfriamiento. Pérdidas de propiedades mecánicas de hasta un 50% se producen entre 520 y 580 ºC. También ocurren perdidas de ductilidad del acero que se producen a elevadas temperaturas, y a menudo ocurren doblados (5). El comportamiento al fuego de los aceros de pretensado es mucho mas crítico y las perdidas de propiedades mecánicas tienen lugar a temperaturas inferiores, entre 370-420ºC.

La adherencia entre el hormigón y la armadura también se deteriora por el calor. La adherencia residual no solo depende de la temperatura alcanzada durante el

calentamiento, sino del tiempo que actúa. Con temperaturas máximas sobre el acero de 300ºC se estima que la fuerza de adherencia residual no es superior al 85% y con 500ºC no es superior al 50% (6).

Las distintas técnicas que se pueden utilizar para conocer el efecto del fuego y los daños producidos sobre cada uno de los componentes del hormigón armado y sobre las propiedades mecánicas del hormigón y de las armaduras, en una primera clasificación se pueden dividir en:

a) métodos no destructivos

b) métodos destructivos

Una parte son aplicables in-situ mientras que otras son utilizadas únicamente en el laboratorio. Por otro lado, aunque son variadas las técnicas empleadas para determinar la profundidad del hormigón alterada por el fuego, no todas permiten determinarla con suficiente precisión, y otras no permiten discriminar entre cambios por daños químicos en el material de los daños por fallos físicos, como fisuración, fig. 1. En la tabla 1 (7) se han recogido las técnicas sobre las que se tiene alguna experiencia, según el tipo de información que aportan:

Ninguno de los métodos de la tabla 1 permite determinar con suficiente rigurosidad las resistencias residuales de un determinado espesor de hormigón, ya que la presencia de gradientes del daño influye en el valor obtenido, cuando se intenta una determinación directa de las resistencias, o bien se emplean métodos indirectos para estimarlas, que únicamente se aproximan si se hacen ajustes empíricos.

**Fig. 1. Testigos y daños en el interior del hormigón de una estructura expuesta a fuego no aireado de larga duración, 48 horas.**

**Tabla 1.** Metodologías para la evaluación de estructuras dañadas por fuego

| **Respuesta media** | **Respuesta punto a punto (testigos)** | **Técnicas especiales** |
|---|---|---|
| Martillo Schmidt | Rest. Mecánicas en testigos | Velocidad de ultrasonidos. Método indirecto |
| Prueba Windsor | TG/DTA | Impacto ECO |
| Ensayo Capo | DRX | Tomografía sónica |
| Ensayo de fractura BRE | Termoluminiscencia | Análisis modal de ondas superficiales |
| Velocidad de ultrasonidos. Método directo | Porosimetria | Resistividad eléctrica |
| | Dilatometría | |
| | Microscopia | |
| | Microdurezas | |
| | Cambio Color /Colorimetria | |
| | Carbonatación | |

.

## 2.1. Determinación de la resistencia residual a partir de testigos.

Es el método más directo para estimar las resistencias mecánicas a compresión del hormigón, sin embargo, la información que se obtiene es escasa, debido al gradiente de resistencias a lo largo del testigo (8,9). Por lo que la interpretación y uso de estos resultados debe hacerse con mucha precaución. El testigo es más interesante para obtener valores de resistencia del interior del hormigón más que de la superficie, ya que además muchas veces el testigo se fragmenta debido a los daños existentes, (fig. 1).

## 2.2. Ensayo con el Martillo Schmidt

Este método aporta información sobre la dureza de la superficie; sin embargo, no es obvia la relación con la resistencia mecánica del material, aunque se han llegado a establecer correlaciones empíricas (10). Debido a que el ensayo debe hacerse sobre una superficie plana deben tomarse gran número de medidas para reducir la variabilidad, por lo que el ensayo no es adecuado para aplicar sobre superficies que han sufrido explosiones. Ya que debido a las elevadas temperaturas superficiales, > 1000ºC, se pueden producir efectos de endurecimiento. También la carbonatación superficial del revestimiento contribuye a endurecer al hormigón.

Los resultados disponibles en la literatura son muy dispersos, debido a los distintos tipos de hormigón, como se aprecia en la fig. 2, sin embargo la técnica es fácil de utilizar, rápida y selectiva de zonas donde el hormigón ha perdido el 30-50% de sus resistencias iniciales (7,10).

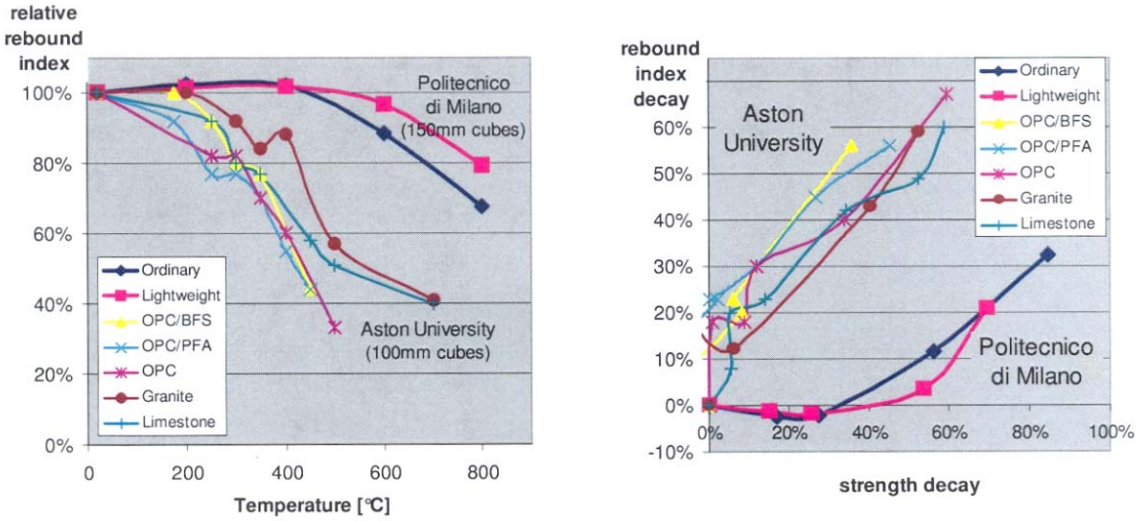



**Fig. 2. Caída del índice de rebote en el hormigón por efecto de la Tª. Probetas uniformemente calentadas**.

## 2.3. Ensayos de velocidad de ultrasonidos.

El empleo de la técnica de ultrasonidos para estimar la resistencia del hormigón es bastante conocido, aunque no existe una relación fundamental entre la velocidad del pulso y las resistencias, por lo que se usan ecuaciones empíricas que las relacionan. Sin embargo, existe una correlación aceptable con el modulo elástico y la sensibilidad a la temperatura de este parámetro. La mejor aproximación es tratar de comparar los valores del hormigón afectado por el fuego con el hormigón no dañado. Nuevamente la técnica requiere superficies planas y por lo tanto solo es aplicable en zonas donde no hay explosión, (11,12).

El método es muy útil para conocer la extensión del daño y localizar las zonas afectadas. La medida es más aplicable a vigas o columnas que a muros, y da información sobre defectos o daños en todo el espesor de hormigón, pero no delimita sobre la profundidad del daño ni discrimina sobre el tipo de daño alteración química de la pasta y los áridos o fisuración. El método requiere una superficie plana y sin explosión. La medida de la velocidad de ultrasonidos tiene la ventaja de ser una técnica no destructiva pero únicamente permite diferenciar a nivel macro la presencia de daño en el material pero no respecto a su origen ni la profundidad del daño, como se deduce de la fig. 3, (13).

Es preciso diferenciar entre el método directo e indirecto, en este último cuando el emisor y el receptor se colocan en la misma superficie. La velocidad aumenta con la distancia entre ambos y la profundidad del hormigón afectada por la onda es mayor. Con este método es posible investigar el estado de distintas capas de hormigón, hasta que se alcanza el hormigón sano y la variación de la velocidad se atenúa de una distancia y alcanzar la onda el hormigón sano. Es necesario tener en cuenta el efecto de la presencia de fisuras (14).

Entre los métodos de atenuación de la velocidad del sonido está también el Impacto Eco, para la detección de fisuras o espesores de recubrimiento afectado. También el Análisis Modal de Velocidad Superficial de onda, este método fue empleado con éxito en la inspección del túnel del Mont Blanc.

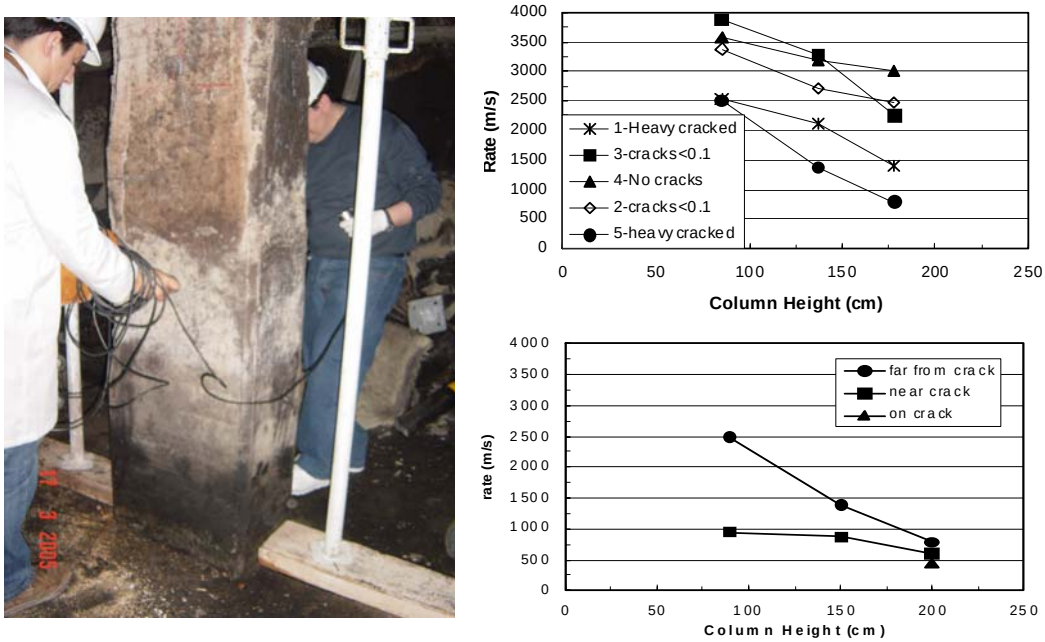



**Fig. 3. Medida directa de la velocidad de ultrasonidos. Influencia del nivel de daño. Tamaño y proximidad de la fisura (13).**

## 2.4. Prueba Windsor

El método se desarrolló en USA hace más de 40 años pero no está muy extendido en Europa. Consiste en introducir una barra de acero dentro de la superficie del hormigón. La longitud de barra que no ha penetrado se relaciona con las resistencias del hormigón. Se considera un método rápido y simple y da poca variabilidad. Se puede aplicar tanto en superficies horizontales como verticales y en zonas afectadas por la explosión. La correlación con las resistencias es ligeramente mejor que con los otros métodos.

## 2.5. Ensayo BRE de fractura interna y ensayo CAPO

El método implica perforar un agujero en el que se coloca un anclaje. La fuerza aplicada para sacar el anclaje da información sobre la resistencia del hormigón. La variabilidad del método es muy alta. La comparación con un hormigón sano le hace más fiable. Se precisa de una superficie razonablemente plana, Se precisan unos 100 mm de diámetro para sujetar el disco del aparato.

El ensayo CAPO es similar, en este caso se hace un hueco de unos 18 mm, se introduce un anillo expandible y se aplica una tensión para extraerle. El aspecto del tipo de equipamiento empleado se aprecia en la fig. 4 (7). El método tiene un tipo de fractura mas controlada que el sistema BRE y mayor repetibilidad. Se precisa de una superficie suficientemente plana de unos 100mm de diámetro.

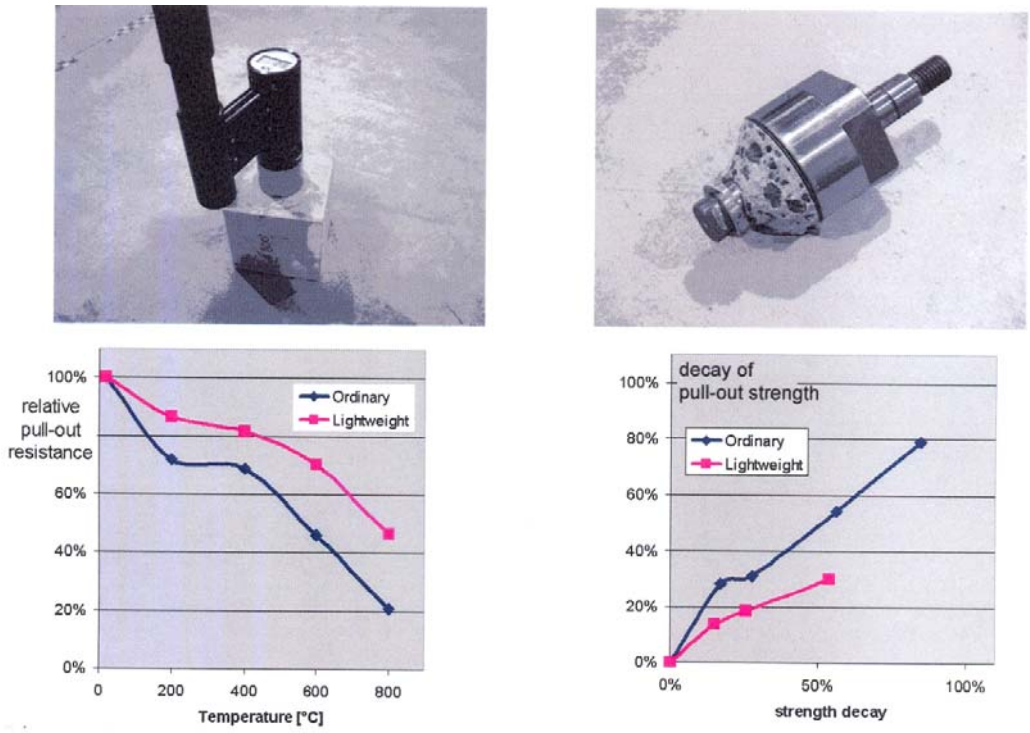



**Fig. 4. Equipamiento del ensayo CAPO y sensibilidad a caída de resistencias (7).**

## 2.6. Ensayo de Punzonamiento de disco, o "Disk-Punching"

Este método ha tenido un desarrollo muy reciente y trata de determinar las resistencias a compresión del hormigón dañado, (15). Para ello se precisa cortar lonchas del hormigón dañado a varias profundidades respecto a la superficie exterior expuesta al fuego, cada disco se ensaya mediante punzonamiento, fig. 5 (15).

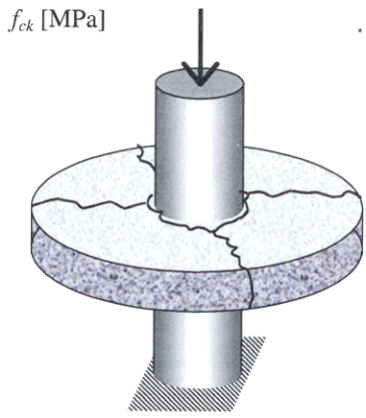



**Fig. 5. Aspecto de rotura del disco de hormigón por punzonamiento.**

## 2.7. Resistencia al taladro

El ensayo trata de medir la resistencia ofrecida por el hormigón para realizar un taladro a distintas profundidades. Con ella se puede hacer un barrido sobre la superficie de hormigón. Para el cálculo se considera el esfuerzo realizado por unidad de penetración del taladro. (J/mm). Sin embargo es difícil establecer una buena correlación con la caída de resistencias, ya que influyen propiedades como la energía de fractura o dureza del árido. El método da buena información cuando el daño es severo ($R_c^T < R_c^{20ºC}$). La fig. 6 muestra el tipo de equipamiento y la sensibilidad del mismo (16).

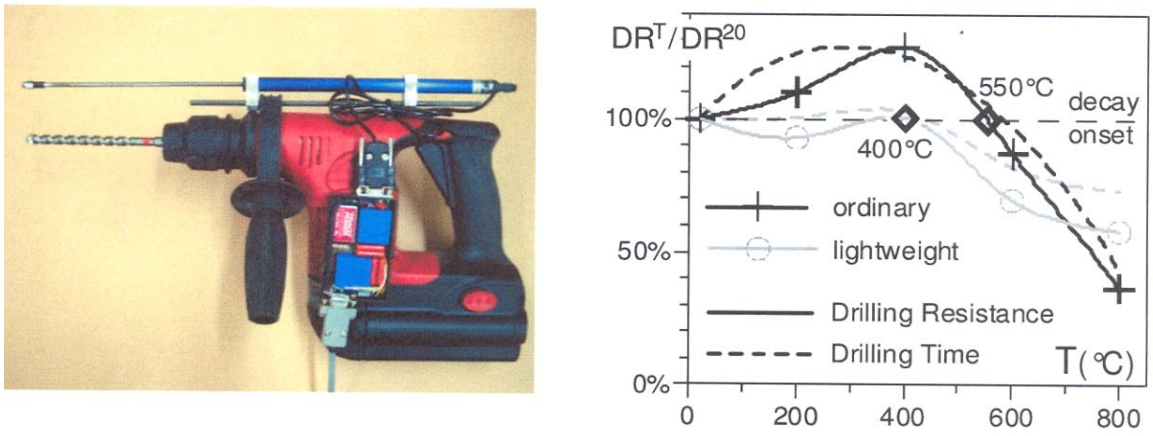



**Fig. 6. Aspecto del taladro y medidas en hormigones afectados por el calor.**

## 2.8. Ensayos de Termoluminiscencia, Colorimetría del hormigón y carbonatación

La base de este método para determinar el daño causado por el fuego en el material es la medida de la luminiscencia residual del hormigón. Se realiza sobre pequeñas muestras extraídas de la estructura. La mayor pérdida de luminiscencia ocurre a temperaturas en el entorno en el que se produce una caída significativa de resistencias, entre 300-500ºC.

Tiene como ventaja que solo precisa hacer pequeños huecos y se pueden determinar perfiles de temperatura. Es necesario poseer suficiente experiencia con la técnica (17).

Un método tradicionalmente usado para evaluar los efectos del fuego en el hormigón es remover capas de la superficie para determinar la profundidad de coloración rosa, pero es importante que esta coloración no deba confundirse con la que aparece como consecuencia de la carbonatación del hormigón. Si la profundidad de esta coloración rosácea, esta por debajo de la profundidad de carbonatación, se puede utilizar como un indicador del efecto del fuego.

El color del hormigón cambia de normal a rosa y rojo entre 300-600ºC, se vuelve gris blanquecino entre 600-900ºC y pardo entre 900-1000ºC. El color rojizo es debido a la oxidación de partículas de hierro en el material. La intensidad de color depende del tipo de árido, mas pronunciado en áridos silícicos, fig. 7 (18).

En cuanto a la profundidad de carbonatación, para determinarla se realiza aplicado fenolftaleina sobre el hormigón y midiendo la profundidad de cambio de color, de incoloro a rosa intenso.

**Fig. 7. Aspecto de coloración del hormigón del edificio Windsor (18), 2006)**

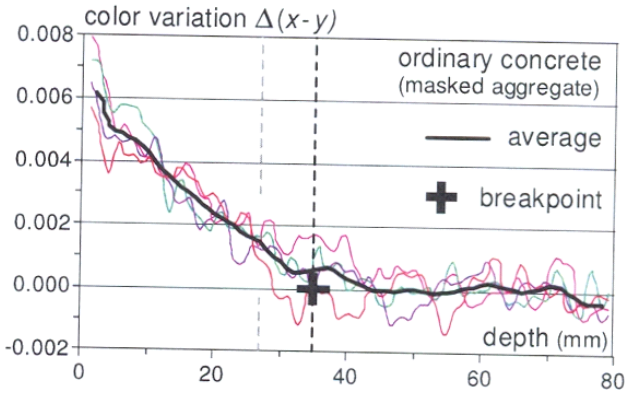



**Fig. 8. Perfiles de variación de color con cámara digital, medidos en testigos de hormigón calentados por una cara.**

Algunos autores consideran (19,20) que los cambios de color ocurridos en el hormigón por acción del calor se pueden detectar con un sistema de medida adecuado. Mas recientemente se estan empleando sistemas de procesado digital de imágenes tomadas con cámaras digitales (21), cuya sensibilidad al cambio de color se aprecia en la fig. 8.

## 2.9. Análisis químicos.

Los ensayos de TG y DTA para determinar el agua combinada y la presencia de portlandita, permiten con buena precisión determinar la profundidad de hormigón químicamente afectado por el calor y en su caso las zonas en las que han superado temperaturas de 300ºC. El método se basa en determinar el agua combinada residual asociada al gel CSH. Cuanto mayor es la temperatura de exposición menor es el agua combinada, lo que puede relacionarse con la pérdida de resistencias (13,18). A partir del TG/DTA es posible determinar los cambios en el contenido en portlandita que se descompone entre 400-500ºC, sin embargo la determinación de este parámetro presenta la limitación de que la muestra, que debe estar en polvo, puede carbonatarse durante la manipulación del ensayo o estar ya carbonatado por el ambiente, falseando el resultado, ejemplos de este tipo se presentan en la fig. 9.

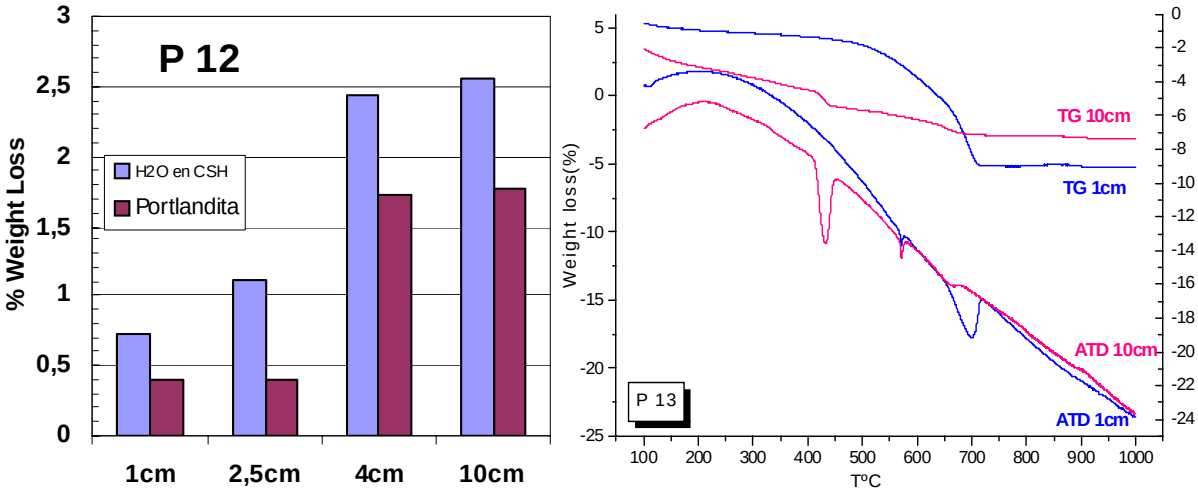



**Fig. 9. Variaciones del contenido en CSH y portlandita en hormigón del edificio Windsor a varias profundidades (18).**

A partir de la DRX es posible determinar la desaparición y formación de determinados compuestos cristalinos como la portlandita o la calcita.

Con las distintas técnicas microscópicas es posible determinar los daños sobre los componentes de la pasta, los áridos y la presencia y distribución de las fisuras. Entre las técnicas microscópicas más utilizadas están:

1) Empleo de láminas delgadas para microscopia de luz transmitida, en las que las fisuras se pueden revelar mas empleando resinas termoluminiscentes.
2) Con la Microscopia electrónica de barrido, SEM, es posible detectar cambios en la microestructura de los compuestos.
3) La microscopia electrónica de back-scattering permite detectar cambios en la densidad de la pasta, en la interfase con los áridos y la presencia de fisuración (13,18).

Las técnicas microscópicas permiten identificar con suficiente precisión los cambios microestructurales en función de la profundidad y el origen de los daños, sin embargo la experiencia es también escasa, varia con el tipo de microscopia empleada, precisa de una elaborada preparación de las muestras y una experiencia para detectar los daños y diferenciar según el tipo de daño, fig. 10 (13).

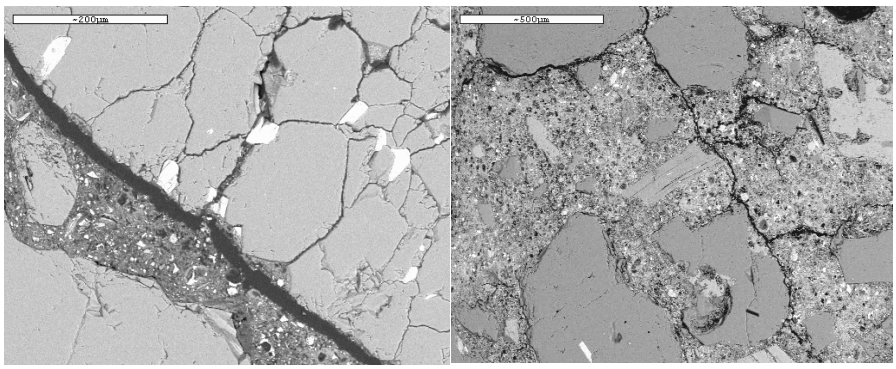


**Fig. 10. Aspecto de los cambios en la microestructura del hormigón afectado por el calor, zonas de pasta alteradas, mala interfase arido/pasta y fisuras.**

Finalmente indicar que son varios los intentos de cuantificar la fisuración, a partir de métodos de contado manual y automático usando métodos de análisis de imagen (22-25).

## 2.10. Ensayos físicos.

Mediante ensayos de porosimetría es posible determinar la variación de la porosidad y a partir de la porosimetría de mercurio atribuir los cambios observados a creación de porosidad dentro de la pasta o a la presencia de fisuras, fig. 11 (18).

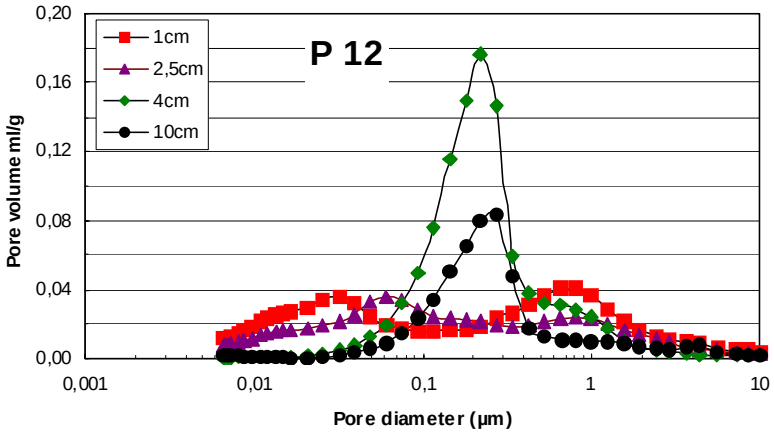
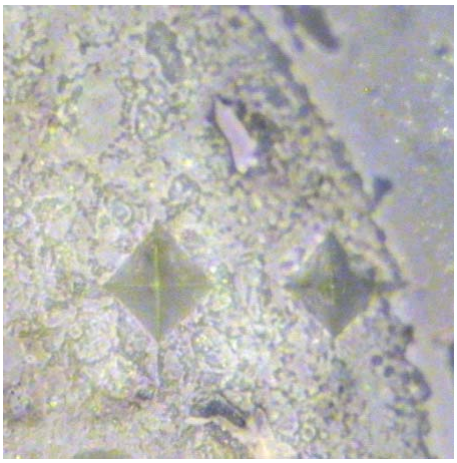



**Fig. 11. Variación del tamaño de poro por porosimetria de mercurio a distintas profundidades con distintos niveles de daño por el fuego.**

## 2.11. Medida de microdureza.

Un método novedoso es la determinación de la microdureza de la pasta mediante técnicas de identación, los ensayos de laboratorio indican que se detectan cambios en la dureza de la pasta que se correlacionan muy bien con cambios en las resistencias del hormigón expuesto a elevadas temperaturas (13,18)), sin embargo la cantidad de datos y experiencia con este método es aún escasa y requiere un estudio especialmente dirigido. Las superficies sobre las que se debe trabajar deben ser planas, por lo que requiere preparación de la muestra, fig. 12.



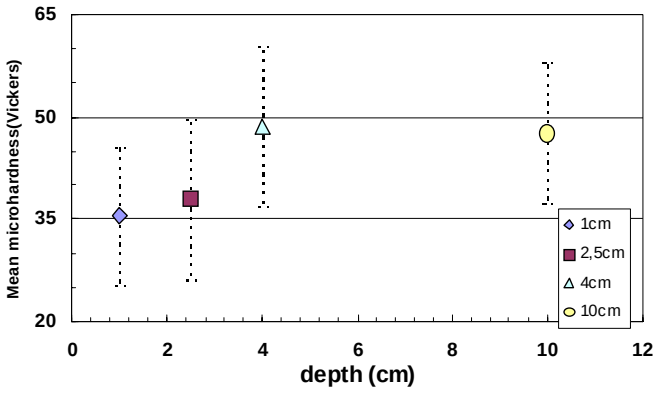



**Fig. 12. Huella de microdureza en pasta y perfil de microdurezas a distintas profundidades de una muestra de hormigón afectada por el fuego (18).**

## 2.12. Ensayos sobre las armaduras

Respecto al efecto del calor en las armaduras, los ensayos más habituales para detectar el daño se basan en ensayar fragmentos de armadura en el laboratorio. Entre los ensayos esta determinar cambios en la dureza del acero y en la microestructura. Otro tipo de ensayos es determinar la curva tensión deformación y extraer cambios en las propiedades mecánicas del acero y determinar la pérdida de ductilidad de la armadura. También informa el aspecto de la oxidación de la armadura, así, un óxido oscuro, homogéneamente distribuido y adherente es típico de oxidación a alta temperatura > 500ºC, como se puede observar en las fig. 13 y 14 (13).

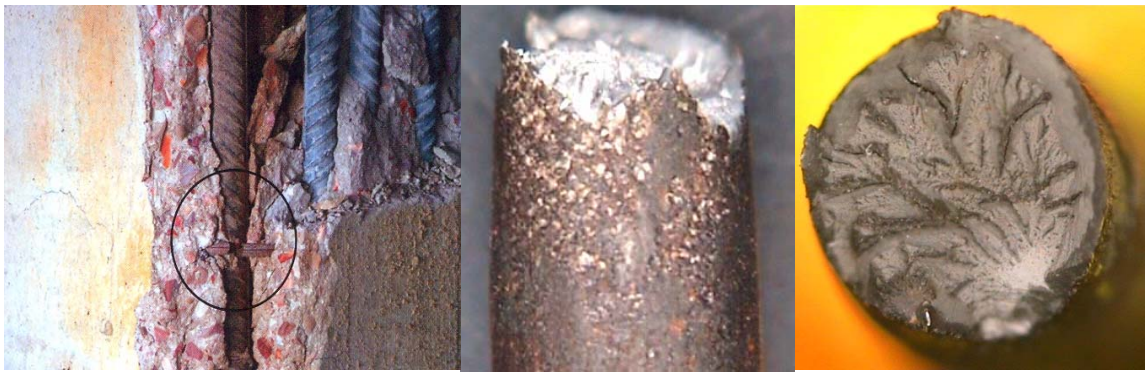


**Fig. 13. Aspecto de las armaduras afectadas por el fuego.**

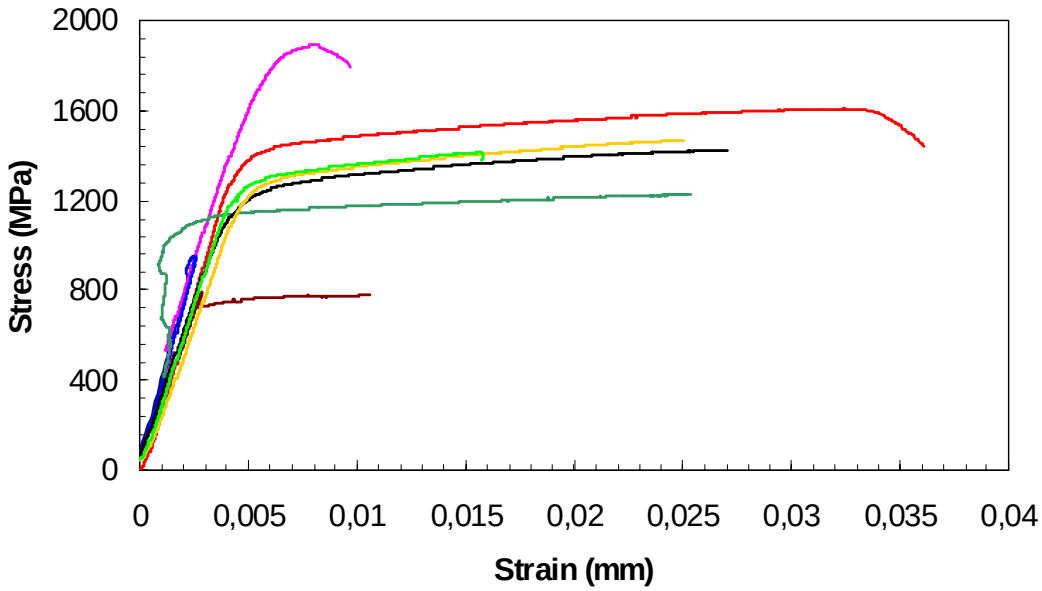



**Fig. 14. Cambios en las propiedades mecánicas del acero por la acción del fuego.**

## 3. Valoración de los ensayos para determinar el nivel de daño de una estructura de hormigón afectada por el fuego.

Finalmente se desea hacer una valoración de los ensayos mas destacables en el empleo para la evaluación de estructuras afectadas por fuego:

El método de medida de la velocidad de ultrasonidos tiene la ventaja de ser una técnica no destructiva pero únicamente permite diferenciar a nivel macro la presencia de daño en el material pero no respecto a su origen ni la profundidad del daño.

Las técnicas microscópicas permiten identificar con suficiente precisión los cambios microestructurales en función de la profundidad y el origen de los daños, sin embargo la experiencia es también escasa, varia con el tipo de microscopia empleada, precisa de una elaborada preparación de las muestras y una experiencia para detectar los daños y diferenciar según el tipo de daño.

Los ensayos de TG y DTA para determinar el agua combinada y la presencia de portlandita, permiten con buena precisión determinar la profundidad de hormigón afectado por el calor y en su caso las zonas en las que han superado temperaturas de 300ºC.

De su empleo y a la vista de los resultados que se obtienen, se concluye que la evaluación de la capacidad residual de las estructuras de hormigón expuestas al fuego no es una tarea sencilla, ya que las técnicas tanto destructivas como no destructivas no están previstas para un material tan heterogéneo como es el hormigón, por lo que no es de sorprender que su respuesta frente al fuego tenga también una distribución heterogénea.

Una forma de aproximarse sería haciendo inspecciones de la estructura que permitan una respuesta media del estado del recubrimiento de hormigón (ej. Medidas de ultrasonidos), y complementando con análisis punto a punto sobre pequeñas muestras a diferentes profundidades, de estos un ensayo que ha dado resultados muy fiables y selectividad de la profundidad de daño químico del hormigón es la determinación del grado de transformación del gel de la pasta de cemento (pérdida de peso 100-350ºC determinado mediante TG/DTA).

## Bibliografia


(1) U. Schneider, Repairability of fire damaged structures. Fire Safety J. v 16 (1990) 251-336

(2) C. Alonso, L. Fernandez. “Dehydration and Rehydration processes of cement paste exposed to high temperature environments”. Journal of Materials Science, vol 39, (2004) 3015-3024.

(3) C. Alonso y L. Fernandez.Municio, Procesos de deshidratación en la pasta de cemento tras su exposición al fuego. Relación entre las transformaciones micro y macroestucturales. Cuadernos de seguridad contra incendios, Feb 2005, 57-64.

(4) Z.P. Bazant and M. F. Kaplan. Concrete at high temperatures: Material properties and mathematical modells. Logman Grp. Ltd., England (1996).

(5) M. Holmes, R.D. Anchor, G.M.E. Cook and R.N. Crook, The effects of elevated temperatures on the strength properties of reinforcing and prestressing steels. The structural Engineer, 60B, 1 (1982)7-13.

(6) U. Diederichs and U. Schneider, Bond strength at high temperatures. Mag. Conc Res. , 34 (1982) 121.

(7) P. Bamonte, R. Felicetti, P. G. Gambarova and A. Meda, Expertise and assessment of materials and structures after fire, chapter 8,fib guidelines in fire design, may (2006).

(8) D. C. Tay and C.T. Tam, In situ investigation of the strength of deteriorated concrete, Construction and building materials, 10, n1, February (1996) 17-26.

(9) A. Benedetti and E. Mangoni, Damage assessment in actual fire situations by means of non-destructive techniques and concrete tests, Fire design of concrete structures: what now?, what next?, edt P. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda and P. Riva, (2004) 231

(10) N.R. Short, J.A. Purkis and S.E. Guise, Assessment of fire-damaged concrete using crack density measurements, Struct. Conc, v3 (2002)137-143.

(11) A.Benedeti. On the ultrasonic pulse propagation into fire damaged concrete, ACI structural journal, 95, n 3 May (1998).

(12) J. Calavera, J.M. Izquierdo et al, Fire in the Windsor building. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after the fire. NIT INTEMAC, dec (2005).

(13) C. Alonso, assessment of damage in concrete structures exposed to fire.Micro and macrostructural analysis. SiF-06, Aveiro, v 2 (2006)599-609.

(14) M Colombo and R. Felicetti, New NDT techniques for the assessment of fire damaged structures, SiF-06, Aveiro, v 2 (2006)721-734.

(15) A. Benedetti and E. Mangioni, Damage assessment in actual fire situations by means of non-destructive techniques and concrete tests, what now?, what next,", edt P. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda and P. Riva, (2004) 231-239.

(16) R. Fellicety, The drilling resistance test for the assessment of the thermal damage concrete. Fire design of concrete structures: what now?, what next, edt P. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda and P. Riva, (2004) 241.

(17) J.H. Bungey, The testing of concrete in structures, Surrey Univ. Press, New York (1982) 207.

(18) C. Alonso, Influence of fire in the damages of concrete in the Windsor Building, WS on Fire safety in tall buildings, Sant Oct (2006)111-127.

(19) R.M. Faure, and G. Hemond, Application of the methods for the analysis of a fire damaged concrete, Web application www.equipement.gouv.fr/cetu/Securite/.

(20) N.R. Short, J.A. Purkis and S.Guise, Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis, Const and Build Mat, n 15 (2001)9-15.

(21) R. Fellicety, Digital camera colorimetry for the assessment of fire- damaged concrete Fire design of concrete structures: what now?, what next,", edt P. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda and P. Riva, (2004) 211.

(22) N Short and J. Purkiss. Petrographic analisis of fire damaged concrete, Fire design of concrete structures: what now?, what next?, edt P. Gambarova, R. Felicetti, A. Meda and P. Riva, (2004) 221.

(23) X. Zhang, HX Du, B Zhang and D.V. Philips, assessment of fire damage of concrete by using infrared thermal imaging method, Concrete for extreme conditions, Edt R. K. Dhir, M. J. McCarthy and M D. Newlands, (2002)59-604.

(24) M.A. Rilley, Possible new method for assessment of fire-damaged concrete, Magazine of concrete research, vol43, (1991) 87-92.

(25) P. Soroushian, M. Elzafraney and A. Nosson, Specimen preparation and image processing and analysis techniques for authomated quantification of concrete microcracks and voids, Cem and conc rs, vol 33, (2003) 1949-1962.

# TÍTULO PONENCIA: ENSAYOS DE REACCIÓN AL FUEGO APLICABLES A MATERIALES. EVOLUCIÓN NORMATIVA Y EXIGENCIAS ACTUALES RECOGIDAS EN CTE-SI y MARCADO CE.

Izaskun Martinez Lanz
Resp. Área Ingeniería del fuego de CIDEMCO

La presente ponencia tiene dos **objetivos principales**, como primer objetivo, explicar la evolución de la normativa en cuanto a caracterización de la reacción al fuego de los materiales se refiere, para así explicar a grandes rasgos la filosofía del nuevo sistema europeo de clasificación basado en Euroclases.

Como segundo objetivo se trata de aportar una visión generalista de los nuevos requisitos reglamentarios reflejados en el Documento Básico de Seguridad en caso de incendio, exigidos a los revestimientos, textiles, elementos de cubierta y de mobiliario entre otros, en cuanto a sus prestaciones frente al fuego se refiere.
Finalmente se hará referencia al requisito de seguridad en caso de incendio de cara al cumplimiento del marcado CE.

## Reacción al fuego. Revolución normativa. Sistema de clasificación basado en Euroclases. Exigencias recogidas CTE-SI.

Antes de proseguir con la ponencia ha de quedar claro que la **definición exacta** de la **reacción al fuego** de un material es su capacidad para iniciar, propagar y alimentar un incendio, por lo cual no hay que confundir esta propiedad con la resistencia al fuego de un elemento constructivo, definida como el tiempo durante el cual un elemento constructivo conserva ciertas propiedades como aislamiento térmico, integridad ó capacidad portante .

La **normativa de ensayo** para la determinación de la reacción al fuego de los materiales ha sufrido **importantes modificaciones** al ser publicadas por el CEN en el **año 2000** un conjunto de normas de ensayo que daban lugar a una norma de clasificación EN 13501-1 , que clasificaba los materiales según su ***Euroclase*.** La importancia de la publicación de este conjunto de normas se basaba en la necesidad de la unificación de las distintas normativas de ensayo dentro de la Unión Europea.

Este nuevo sistema de clasificación fue adaptado en la reglamentación nacional a partir de la publicación del **RD/312 del 18 de marzo de 2005** , sustituyendo así el antiguo sistema de clasificación nacional basado en la norma UNE 23727 empleado desde el año 1990.

La primera diferencia clara que se observa entre ambas normativas de clasificación es lógicamente su diferente terminología, de hecho:

- ✓ Clasificación según norma UNE 23727:1990: M0, M1,.....M4, no clasificable
- ✓ Clasificación según norma UNE EN 13501-1:2002:

  A1,A2, B ,.....E, F (material empleado como revestimiento paredes/techos)
  $A1_{FL}$,$A2_{FL}$,$B_{FL}$,.....$E_{FL}$,$F_{FL}$ (material empleado como revestimiento suelos)

Si se hace una comparativa aproximada entre las diferentes tipologías de clasificación , las equivalencias se reflejarían en el siguiente cuadro nº 1:

**Comparativa entre normas distintos países (equivalencia aproximada)**

| Euroclases | Francia | Alemania | Dinamarca | Inglaterra | España |
|---|---|---|---|---|---|
| A1 | Incombustible | A1 | No combustibl | No combustibl | No hay transposici |
| A2 | M0 ó M1 | A2 ó B1 | No combustibl | Combustibilidad | M0 |
| B | M1 | B1 | Clase A | Clase 0 | M1 |
| C | M2 | B1 | Clase B | Clase 1 | M2 |
| D | M3 ó M4 | B2 | Clase B | Clase 3 | M3 |
| E | M4 | B2 | No clasificable | No hay transposici | M4 |
| F | No clasificable | B3 | No clasificable | No clasificable | No clasificable |

**Cuadro nº 1: Comparativa aproximada entre comportamientos de un material frente a diferentes normas de clasificación**

Haciendo memoria, los ensayos de reacción al fuego bajo normativa UNE estaban basados en el siguiente listado de normas de ensayo y clasificación:

UNE 23721: 1990: Ensayo por radiación
UNE 23723:1990: Ensayo del quemador eléctrico
UNE 23724:1990: Ensayo propagación de la llama
UNE 23725:1990: Ensayo de goteo
UNE 23726:1990: Ensayo del panel radiante
UNE 23102:1990: Ensayo de incombustibilidad
UNE 23730:1990: Anexo a las normas de métodos de ensayo
UNE 23727:1990: Clasificación de los materiales

Estos ensayos recogían información sobre inflamabilidad, poder calorífico, propagación de la llama, goteo , y generación del calor .
De hecho , en el caso de los materiales rígidos de cualquier espesor y los materiales flexibles de espesor superior a 5 mm , éstos eran sometidos a norma UNE 23721:1990 , calculándose cuatro índices:

*Indice i: indice de inflamabilidad*
*Indice s: indice de desarrollo de llamas*
*Índice h: indice de longitud máxima de llama*
*Índice c: indice de combustibilidad,*

Siendo a través de los resultados de estos índices y bajo tablas recogidas en la norma UNE 23727:1990 , los materiales clasificados desde M1 hasta M4.

Centrándose en el sistema de clasificación basado en **Euroclases (de acuerdo a EN 13501-1)**, existen un grupo de **cinco normas de ensayo** :

- ✓ *Empleo del material como revestimientos de paredes y techos:*

.- Ensayo según método SBI de acuerdo a UNE EN 13823:2002

- ✓ *Empleo del material como revestimientos de suelos:*

.- Ensayo según método del panel radiante de acuerdo a UNE EN ISO 9239-1:2002

- ✓ *Otros ensayos necesarios para la clasificación del material:*

.- Ensayo de inflamabilidad según UNE EN ISO 11925-2:2002
.-Ensayo de no combustibilidad según UNE EN ISO 1182:2002
.-Ensayo de poder calorífico según UNE EN ISO 1716:2002

Básicamente estos ensayos recogen información sobre :

- ✓ Incremento de temperatura
- ✓ Pérdida de masa
- ✓ Duración llama
- ✓ Potencial calorífico superior
- ✓ Velocidad de propagación del fuego

- ✓ Emisión total de calor
- ✓ Propagación lateral de la llama
- ✓ Velocidad propagación humo
- ✓ Propagación de la llama

A continuación, se pasa a describir de manera breve las diferentes metodologías de ensayo y las clasificaciones a las que dan lugar según UNE EN 13501-1:2002:

- ✓ **ENSAYO SEGÚN MÉTODO SBI (Single Burning Item) de acuerdo a UNE EN 13823:2002**

En este ensayo la muestra formada por dos alas de diferente tamaño que se colocan en un carro portamuestras formando una esquina son sometidas a la acción de un quemador inmerso en un lecho de arena con una energia de 30 kw durante 20 minutos.

**FOTOGRAFÍA 1: Muestra sometida a ensayo según UNE EN 13823:2002**

De esta manera se evalúan parámetros como:

.-Emisión de calor (THR)
.-Propagación lateral de la llama (FDS) → INDICE A2,B,C,D
.-Velocidad crecimiento del fuego (FIGRA)

.-Producción de humo (SMOGRA) → INDICE s1,s2,s3

.-Caída de partículas y gotas inflamadas → INDICE d0,d1,d2

Es muy importante indicar que el **montaje** de las muestras en este ensayo es un **punto crítico** , ya que un **mismo producto , con una aplicación distinta puede dar diferente clasificación,** de ahí la existencia de la norma UNE EN 13238 de definición de **sustratos**

**normalizados** (los cuales permiten cierta extensión de resultados), puesto que si para el ensayo se emplea un sustrato no normalizado el resultado del ensayo se limitará exclusivamente a ese mismo sustrato en su aplicación de uso final.

Por ejemplo, un material que vaya soportado en ensayo sobre un soporte de acero tendrá un resultado válido únicamente para uso del producto sobre soporte metálico con punto de fusión => 1000ºC, sin embargo si ese mismo material ha sido soportado en ensayo sobre soporte de tablero de partículas , su resultado será válido para uso sobre soporte definido como A1,A2 y madera.

- ✓ **ENSAYO SEGÚN FUENTE DE CALOR RADIANTE de acuerdo UNE EN ISO 9239-1:2002**

En este método se evalúa la propagación de la llama horizontal en la dirección contraria del viento, el flujo crítico radiante para el cual se apaga la llama y el desarrollo de humo (s1,s2).

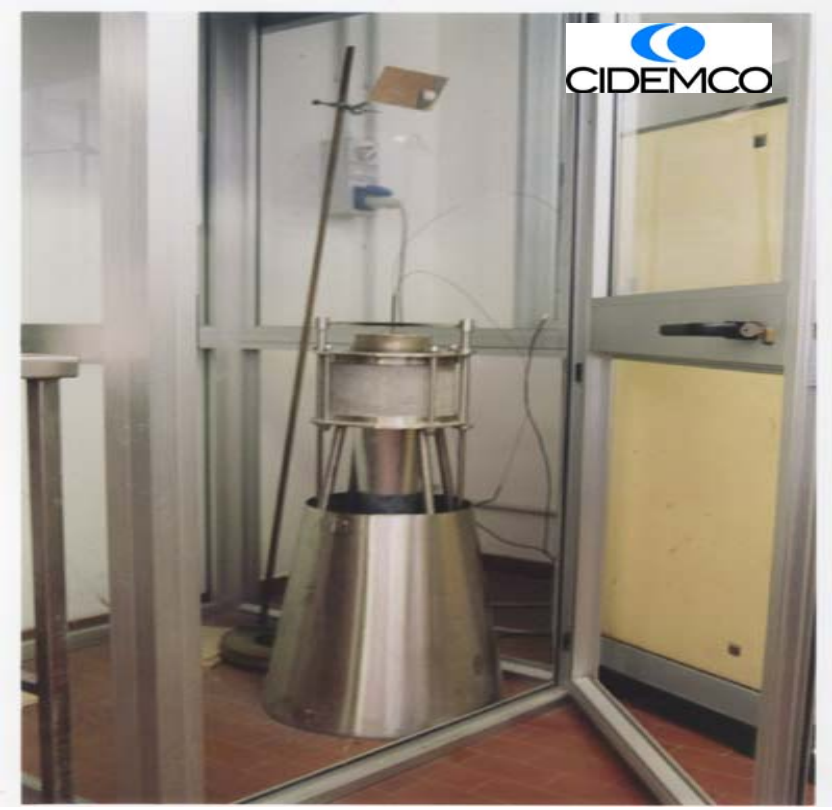
Este equipamiento se emplea para clasificar un material como A2fl, Bfl, Cfl, Dfl

**FOTOGRAFÍA 2: Aspecto panel radiante**

- ✓ **ENSAYO DE NO COMBUSTIBILIDAD de acuerdo a UNE EN ISO 1182:2002**

En este ensayo se evalúa la inflamación, elevación de la temperatura y pérdida de masa de una muestra situada en un horno a 750ºC.

Este equipamiento se emplea para clasificar un material como A1,A2 ó A1fl,A2fl




**FOTOGRAFIA 3: Aspecto equipo no combustibilidad según UNE EN ISO 1182:2002**

- ✓ **ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO de acuerdo UNE EN ISO 1716:2002.**

En este ensayo se evalúa el calor de combustión o energía térmica (MJ/kg) desprendida por una sustancia cuando la combustión es completa.

Este equipamiento se emplea para clasificar un material como A1,A2 ó A1fl,A2fl

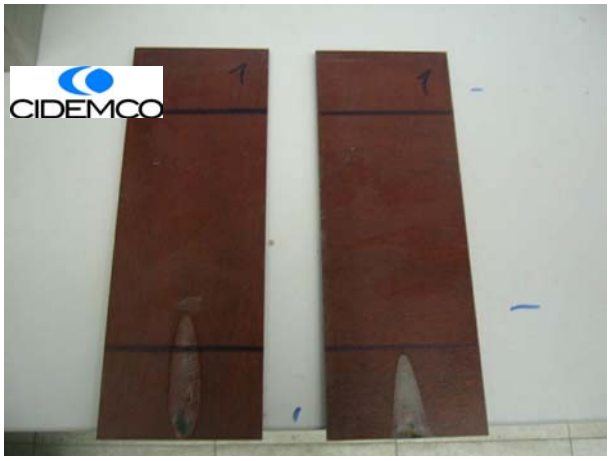
**FOTOGRAFÍA 4: Bomba calorimétrica, equipamiento de acuerdo a UNE EN ISO 1716:2002**

- ✓ **ENSAYO DE INFLAMABILIDAD de acuerdo UNE EN ISO 11925-2:2002**

En este ensayo se valora la inflamabilidad de un material mediante aplicación directa de llama pequeña, con radiación nula y utilizando muestras ensayadas en orientación vertical.

Los parámetros evaluados son la posible ignición del material, la distancia recorrida por la llama (Fs) y la posible ignición de papel de filtro debido al goteo de partículas inflamadas.

Este equipamiento se emplea para clasificar un material como B,C,D y E así como Bfl,Cfl,Dfl y Efl




**FOTOGRAFIA 5: Aspecto fuente de ignición y muestras sometidas a ensayo de acuerdo a UNE EN ISO 11925-2:2002**

El Código Técnico hace referencia a la tabla 4.1 para especificar el **grado de exigencia requerido a un material ,** el cual **será diferente según su emplazamiento y la situación del mismo como elemento de revestimiento de paredes/techos ó suelos**.

No obstante hay que tener en cuenta que estas exigencias serán aplicables a los materiales que ocupen más del 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, techos ó suelos del recinto considerado.

## Otros ensayos aplicables a materiales. Exigencias recogidas en CTE-SI.

- ✓ **ENSAYO PARA CUBIERTAS según su reacción ante un FUEGO EXTERIOR de acuerdo a UNE ENV 1187:2003**

En esta norma de ensayo vienen recogidos tres posibles métodos de caracterización disponiendo cada Estado miembro de la Unión Europea potestad para la determinación del ensayo aplicable en cada país. A nivel nacional el método empleado es el ensayo de

"pavesa en llamas", clasificándose los materiales según EN 13501-5 como materiales Broof ó Froof

En este ensayo la fuente de ignición aplicada es lana de madera situada en el centro de una muestra que puede situarse a dos posibles pendientes normalizadas de 15 y 45º ó una pendiente no normalizada.

Los parámetros evaluados son el avance de llama, la posible penetración del fuego y la extensión del daño.

**FOTOGRAFÍA 6: Aspecto muestra sometida a ensayo bajo UNE ENV 1187:2003 , método pavesa en llamas.**

El **CTE** hace referencia a la obligatoriedad del cumplimiento de la clasificación **Broof** para todo material que ocupe más del 10% del revestimiento ó acabado exterior de las cubiertas, así como los lucernarios, claraboyas y cualquier otro elemento de iluminación, ventilación ó extracción de humo.

- ✓ **ENSAYO PARA MOBILIARIO de acuerdo a UNE 23727:1990 y UNE EN 1021-1/-2:1994**

Dependiendo de las características del mobiliario, si es ó no tapizado, éste será sometido a diferentes ensayos, es decir:

.- Mobiliario sin tapizar será sometido a ensayo de radiación y clasificación bajo UNE 23727:1990

.-Mobiliario tapizado será sometido a ensayo de inflamabilidad mediante dos diferentes fuentes de ignición (cigarrillo en combustión y llama equivalente a cerilla)

**FOTOGRAFÍA 7: Aspecto muestra sometida a ensayo bajo norma UNE EN 1021-21994**

El **CTE** en este sentido hace referencia a que el mobiliario situado en edificios y establecimientos de **Pública Concurrencia** deberá **superar** el **ensayo de inflamabilidad** si son considerados como **butacas y asientos fijos tapizados** y la clase **M2** si son considerados como butacas y asientos fijos **no tapizados.**

- ✓ **ENSAYO DE INFLAMABILIDAD PARA TEXTILES SUSPENDIDOS de acuerdo a UNE EN 13773:2003**

El criterio a valorar es el de la propagación vertical de la llama a través del textil .

En el caso de materiales textiles suspendidos como telones , cortinas etc,,, , el **CTE** exige superar una **clase 1** conforme la anterior norma , lo cual supone una **clasificación máxima** bajo la norma UNE EN 13773:2003.

Otros elementos textiles que son considerados de cubierta integradas en edificios (carpas) deberán clasificarse como M2 según UNE 23727:1990.

# Exigencias actuales en materia de seguridad ante incendio de cara al cumplimiento del marcado CE.

La entrada en vigor de la **Directiva de productos de la Construcción 89/106 CEE** supuso un nuevo enfoque en materia de armonización técnica, ya que las directivas CE estipulan los "requisitos esenciales " que debe cumplir un producto para ser comercializado.

Uno de esos **requisitos esenciales es el de "Seguridad en caso de incendio**" , por lo cual casi todos los **métodos de ensayo citados anteriormente** no sólo han de emplearse como herramienta para el cumplimiento del CTE sino además como **herramienta para la obtención del marcado CE** de cualquier producto empleado en construcción.

Los organismos europeos de normalización se encargan de establecer las especificaciones técnicas correspondientes, basadas en requisitos esenciales de las directivas, estas especificaciones se llaman **"normas armonizadas",** las cuales se encuentran **en continua ampliación.**

Hay no obstante otro método de ensayo de valoración del compotamiento frente al fuego de los materiales , no expuesto previamente en esta exposición, el cual viene citado en el **borrador de ETAG correspondiente a productos retardantes al fuego de breve entrada en vigor.**

El ensayo en cuestión se trata de la "*Determinación de la durabilidad de las propiedades ignífugas de los productos retardantes al fuego*" bajo norma **ISO 5660-1**ó lo que es lo mismo, **método del cono calorimétrico .**

Bajo este método se trata de valorar la diferencia de calor desprendido por la muestra una vez ha sido sometida a diferentes ciclos de envejecimiento dependiendo de las condiciones ambientales de su uso final.

**Fotografía 8: Cono calorimétrico, equipamiento de alto valor científico, empleado principalmente en I+D+i.**

# EVALUACIÓN DE RIESGOS

Mariana Llinares Cervera
Ángel Arteaga Iriarte
Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (CSIC)

## 1. Introducción

El mayor conocimiento que se ha adquirido en las últimas décadas sobre el comportamiento del fuego y los materiales expuestos a su acción ha permitido, por un lado, el empleo de herramientas como los ordenadores para su modelización y, por otro, la evolución en muchos países de la reglamentación hacia un enfoque prestacional, como alternativa al tradicional y rígido enfoque prescriptivo.

La ingeniería de protección contra incendios, cada vez más empleada para justificar medidas de protección contra incendios, sobre todo en casos complejos, consiste en la aplicación de principios científicos para evitar que se produzcan daños materiales y personales mediante la cuantificación de los riesgos y la propuesta de soluciones óptimas de protección o prevención.

## 2. Códigos prescriptivos y prestacionales

La aplicación de medidas de tipo prescriptivo tiene una serie de ventajas como que son de fácil aplicación (no es necesario ser experto en seguridad contra incendios) y son aplicables a la mayoría de edificios habituales, más o menos estándar.

En cambio, la utilización de estas medidas también tiene una serie de desventajas. Los códigos son muchas veces una sucesión de reglas inconexas, incluso redundantes, sin un fundamento técnico, provenientes más bien de la tradición, y por añadidura, los requisitos legales son cambiantes en el tiempo, cambian a medida que surgen nuevas técnicas de protección contra incendios y nuevos materiales.

En el caso de la protección contra incendios, la reglamentación está tradicionalmente basada en sobre-reacciones, en muchos casos de carácter político, a catástrofes urbanas difíciles de matizar debido a que la normativa no se apoya en una base científica sólida, como más o menos sucede con otras normas como las de instalaciones o de cálculo de estructuras. Acumular medidas de protección sin evaluar su efecto de minoración del riesgo no es suficiente para proteger un edificio, ni el más económico.

Los códigos prescriptivos están pensados para edificios de nueva planta, relativamente sencillos de cumplir en fase de proyecto, pero no siempre en obras de reforma o rehabilitación de edificios existentes. Es difícil establecer un nivel de seguridad equivalente al que exige la norma si no se sigue al pie de la letra las medidas que se dan. Cualquier solución adoptada debería ser calibrada de forma que se pudiese estimar que la seguridad es la que la sociedad acepta como suficiente.

Históricamente, con el diseño prescriptivo se han alcanzado niveles de seguridad que la sociedad aparentemente acepta, por lo que es razonable que sigan en uso, coexistiendo con el diseño prestacional. Ambos enfoques (prestacional y prescriptivo) son complementarios. Dependiendo de la complejidad del edificio, se puede resolver de la forma tradicional o necesitará métodos más avanzados.

Como alternativa a los códigos prescriptivos, se impone el enfoque basado en el concepto de las prestaciones u objetivos, en el que se establecen explícitamente los objetivos y el modo de alcanzarlos, sin obligar al uso de un procedimiento o solución determinados. El concepto de prestaciones significa razonar en términos de fines y no de medios.

Las prestaciones son el conjunto de características del edificio identificables objetivamente, ya sean cualitativas o cuantitativas, que contribuyen a determinar su aptitud para responder a diferentes funciones para las que ha sido diseñado.

Los códigos basados en prestaciones requieren un mayor conocimiento del fenómeno del fuego, tanto por parte de los redactores de las normas como por parte de los que vayan a aplicarla o los que deban controlar que se hace una correcta aplicación de la misma. Su aplicación puede derivar en que se den unas reglas o procedimientos sencillos para algunos casos, pero para otros haya que recurrir a análisis más generales que difieran de las soluciones estándar.

## 3. Gestión de riesgos

En la ingeniería de protección contra incendios deben adoptarse decisiones partiendo de la base de que la información de partida es incompleta. Un incendio en un edificio y las medidas para su extinción introducen muchas variables que la mayoría de las veces no pueden controlarse, como es el caso de:

- la probabilidad de que se inicie un incendio;
- el comportamiento y propagación del fuego y del humo;
- el tipo, la cantidad y la distribución de la carga de fuego;
- la situación de los huecos de ventilación, en cuanto a si están abiertos o no;
- el tiempo requerido para la evacuación de los ocupantes;
- la acción de las medidas de extinción, etc.

Añadido a todo esto, también hay muchas otras fuentes de incertidumbre en el empleo de los modelos de incendio.

La técnica establecida que permite una toma racional de decisiones para la adopción de una entre distintas estrategias alternativas es la denominada Gestión de Riesgos, comenzada a utilizar recientemente en muchos campos en los que se exige la toma de decisiones con conocimiento incierto. El inconveniente principal para su utilización es que la falta de datos hace que sea de difícil aplicación.

En la siguiente figura se muestra la estructura de lo que sería una gestión de riesgos completa. La parte izquierda del esquema es la más relacionada con la ingeniería o la más científica; mientras que la derecha puede considerarse la parte más política o económica.

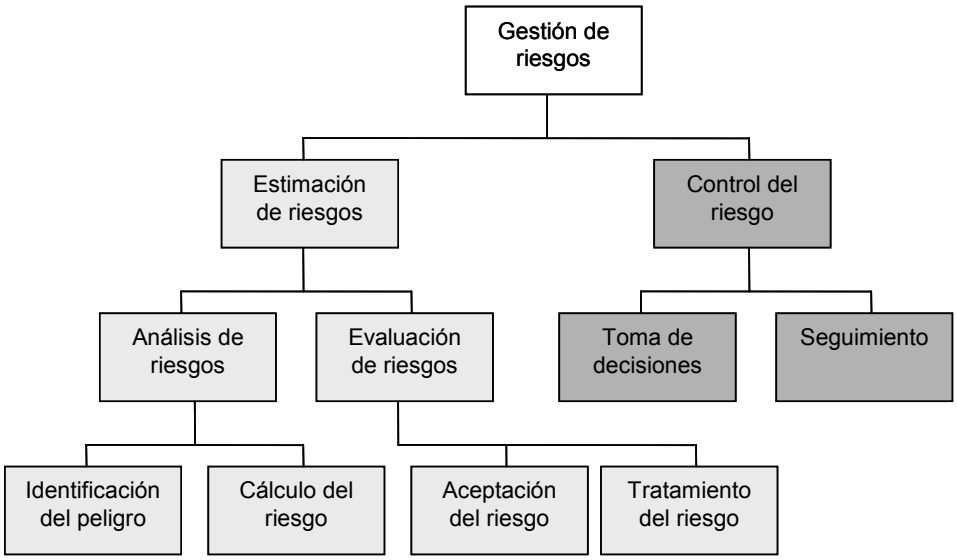



**Figura 1. Estructura de la gestión de riesgos**

El análisis de riesgos es especialmente útil en circunstancias en las que sea importante considerar los escenarios poco probables pero cuyas consecuencias pueden ser muy graves (p.e. situaciones especiales de gran acumulación de gente o de carga de fuego en lugares donde no se produce en condiciones normales); en situaciones en las que no es suficiente valorar las consecuencias por el tamaño del incendio (p.e. en el caso de edificios históricos, que pueden ser de gran valor, tanto el edificio como su contenido); o cuando la alta variabilidad de parámetros de entrada tiene un impacto significante en los resultados (p.e. el número y tipo de gente, cantidad de carga de fuego, etc.).

# 4. Escenarios de incendio

Previamente a la cuantificación del riesgo, es necesario analizar los distintos escenarios, con los sucesos que se van encadenando, y las múltiples causas por las que puede iniciarse o desarrollarse un incendio. Después, hay que proceder, para cada una de las estrategias alternativas, a la estimación de los riesgos asociados a esa alternativa.

En general, se elige como escenario de incendio de cálculo aquél que, por su lugar de iniciación, distribución de carga de fuego o condiciones del edificio, origina el incendio pésimo, el de consecuencias más graves. Con el análisis de riesgos se puede, además, evaluar el efecto de minoración de riesgo de cada medida de protección.

No existen criterios prefijados establecidos para la toma de decisiones, sino que cada proyectista debe estimar los posibles criterios bajo las hipótesis más desfavorables, normalmente, sin más guía que sus propios conocimientos.

Cada escenario comprende la definición cualitativa del desarrollo de un incendio en el tiempo, identificando los parámetros clave que lo diferencian de otros posibles incendios. Normalmente se define:

1. Las distintas fases del desarrollo de un incendio y su propagación, así como la de los gases calientes o el humo por el interior o el exterior de un edificio (velocidad de propagación, movimiento de gases de combustión, etc.). La localización debe determinarse no sólo en términos del recinto de origen, sino también de la situación dentro del recinto (en una esquina, en el centro, etc.). Además, el origen puede estar no sólo en un recinto, sino también cerca de las vías de evacuación, en el exterior o en espacios ocultos del edificio.
2. El tipo de carga de fuego y su distribución en el edificio, así como de los ocupantes.
3. La situación de las puertas y ventanas, si están abiertas o cerradas a lo largo del desarrollo del incendio.
4. En cuanto a la exposición al fuego de los elementos estructurales, el comportamiento de los materiales de construcción (inflamabilidad, contribución al fuego, desprendimiento de humo,…).
5. El efecto de los métodos de extinción, detección y alarma (tiempo de activación, su efecto sobre el control del fuego y del humo, interacción de unos dispositivos con otros,..).

# 5. Estimación del riesgo

La palabra “riesgo” se usa en el lenguaje corriente, y aun en el técnico en algunos campos, con distintos significados. Puede estar referido a la probabilidad o frecuencia con que aparece un suceso, o también a la importancia de las consecuencias desagradables que ocasiona. En el análisis de riesgos siempre se emplea el término conteniendo ambos aspectos: la probabilidad de que se dé un suceso y las consecuencias que pueda tener. Así, se expresa el riesgo como el producto de la probabilidad o frecuencia de que ocurra un determinado suceso y la magnitud de las consecuencias, en el caso de que ocurriera (esperanza matemática de las consecuencias posibles).

$$R=P\cdot C$$

La probabilidad puede definirse como el grado de certidumbre de que ocurra un suceso durante un determinado periodo de tiempo. En principio, deberían ser probabilidades objetivas evaluadas por las frecuencias de aparición registradas, bien en forma de estimaciones puntuales por intervalos de confianza, o bien caracterizadas estadísticamente (por ejemplo, su función de distribución y parámetros).

Lo ideal es que estén basadas en el mayor número de datos posible pero, por desgracia, casi nunca existen esas bases de datos y hay que recurrir a opiniones subjetivas de expertos (bien por comparación con otros países, bien con actividades similares), que sustituyan o complementen dichos valores. Estas estimaciones pueden ser muy afinadas cuando son adecuadamente contrastadas mediante consultas reiteradas y un número suficiente de expertos (“método Delfos”, por ejemplo).

Las consecuencias no son generalmente unidimensionales, sino que deben expresarse como un vector de daños en términos no homogéneos de pérdida de vidas, lesiones, pérdidas económicas, daños ambientales, molestias para los usuarios, etc., y se incluyen tanto las consecuencias inmediatas como las que surgen posteriormente, con el paso del tiempo.

Muchas veces se comparan los diferentes tipos de consecuencias para cada alternativa por separado y se fijan riesgos aceptables para cada uno de ellos. Ésta es una forma incompleta de realizar el análisis, pero que puede ser operativa.

Si es necesaria una comparación global de las alternativas, es preciso reducir todos los tipos de consecuencias a una unidad común, que suele ser en términos monetarios. Esto lleva al problema de tener que valorar económicamente conceptos de difícil valoración. La valoración de la vida humana o de un Bien de Interés Cultural tienen compleja solución.

## 6. Máximo riesgo aceptable

Una vez obtenidos los riesgos correspondientes a las distintas soluciones, antes de tomar una decisión, es necesario establecer si son válidas, es decir, si el riesgo que presenta cada solución es asumible por el usuario, el propietario o la sociedad en general.

En la siguiente figura se representa un matriz de riesgos en la que se distinguen claramente tres zonas: una en la que se considera que el riesgo es suficientemente bajo, otra que indica que el riesgo es demasiado alto e inaceptable, y otra zona intermedia denominada ALARP (As Low As Reasonably Possible) cuyos riesgos deben estudiarse de forma que se minimicen al máximo, siempre y cuando las medidas empleadas para ello sean razonables.

Una posible finalidad del análisis de riesgos es alcanzar el nivel de seguridad requerido optimizando costes, es decir, que para un coste dado se minimice el riesgo para el bien protegido. La protección contra incendios debe proyectarse de forma que se cubra la peor situación de incendio posible.

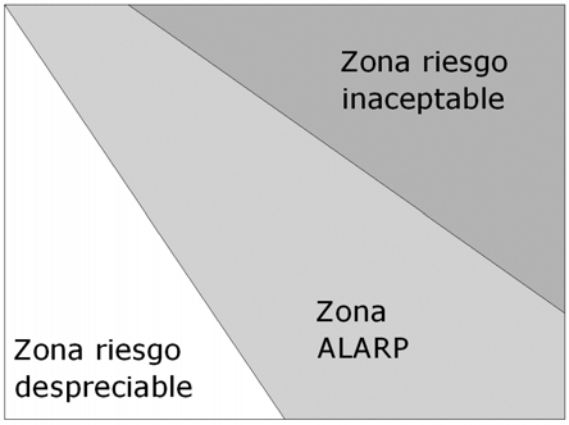



**Figura 2. Matriz de riesgos**

Conseguir una seguridad absoluta frente a la posibilidad de que se produzcan incendios en un edificio es imposible: siempre hay un grado de incertidumbre, y siempre queda un cierto nivel residual. Para poder determinar si el riesgo analizado es admisible o no, es necesario cuantificar el llamado “máximo riesgo aceptable”.

La fijación de este “máximo riesgo aceptable” es uno de los problemas fundamentales y, aunque no existen criterios únicos de cómo establecerlo, sí existen pautas que permiten, al menos, hacer estimaciones de lo que podría ser un nivel adecuado. No es fácil determinarlo racionalmente, ya que varía en cada caso influido por todas las circunstancias que lo rodean. Para fijarlo habría que estudiar el comportamiento individual y social ante los riesgos.

Una primera distinción sería la de riesgo voluntario o involuntario. Los riesgos voluntarios son aquéllos que experimenta una persona por voluntad propia,

controlando sus propios actos. Son ejemplos de este tipo realizar deportes de alto riesgo, fumar, viajar, etc. Aún dentro de éstos habría que diferenciar aquéllos en los que el individuo es capaz de controlar de algún modo el peligro, como conducir, de los que dependen de las reacciones de otras personas, como viajar en avión. Involuntarios son aquellos riesgos que nos sentimos obligados a aceptar por vivir en sociedad, como los accidentes laborales, el colapso de la estructura de un edificio, etc.

Normalmente aceptamos un riesgo mayor cuando es voluntario, sobre todo si podemos controlarlo, que si es involuntario. No siempre la aceptación es racional. Por ejemplo, hay individuos que pueden aceptar fumar pero no subir a un avión.

Los riesgos también se pueden distinguir como individuales o sociales**,** dependiendo de si la aceptación o el rechazo vienen dados desde el punto de vista del individuo o desde el de la sociedad. La sociedad puede tener un punto de vista distinto al del individuo, y suele aceptar riesgos que el individuo no acepta, y viceversa. Por ejemplo, la sociedad puede aceptar que se viaje en moto, mientras que muchos individuos lo rechazan como muy peligroso. Al mismo tiempo, la sociedad no acepta que se viaje en coche sin cinturón de seguridad, cosa que muchos individuos ven como no peligroso.

El nivel de riesgo aceptable por un individuo depende de parámetros como el grado de voluntariedad con la que se emprende una determinada actividad que está en el origen del riesgo, el beneficio (económico u otro) que supone esta actividad para la persona, o la capacidad de la persona de reducir el riesgo inherente a una actividad determinada a través de su propio comportamiento (capacidad de control).

El nivel de riesgo aceptable por la sociedad no siempre está basado en criterios racionales. Tienen especial importancia los criterios políticos o la repercusión en los medios. A veces se aceptan riesgos altos que se tienen asumidos, como los accidentes de tráfico, pero no se aceptan riesgos mucho menores como el hundimiento de un edificio. Otro ejemplo que ilustra este hecho es que tienen mucha menor repercusión diez muertes en diez accidentes de tráfico distintos que el mismo número de muertes en un solo accidente.

Como primera aproximación, pueden obtenerse valores numéricos de los valores aceptables de riesgo, individuales o sociales por la estimación de riesgos de distintas actividades, voluntarias e involuntarias que aparecen en múltiples publicaciones sobre riesgo.

Una vez establecido que determinadas soluciones tienen un nivel de seguridad aceptable (p.e. el número de víctimas mortales posibles por un incendio no supera un número aceptado por la sociedad), una base lógica para tomar decisiones entre diversas soluciones es la optimización de la relación entre los costes de los sistemas instalados de protección contra incendios y las posibles consecuencias.

Si fijamos la vida útil prevista de un edificio, puede calcularse el coste de las consecuencias previstas en función de lo que se invierta en instalaciones de protección contra incendios. El coste total es la suma de ambos valores. Lo solución lógica sería aquélla según la cual el coste total se minimice.

$$CT = CP+CF$$

CP - coste medidas de protección
CF - coste pérdidas materiales en incendios
CT - coste total

# 7. Métodos de análisis

Hay básicamente tres tipos o niveles de métodos para la estimación de riesgos, dependiendo de la precisión buscada y de los datos disponibles: de mayor a menor complejidad, métodos cuantitativos, semi-cuantitativos y cualitativos. En un análisis de riesgos pueden utilizarse estos tres tipos de forma secuencial.

En muchos casos, las dificultades por falta de datos o el carácter singular de los edificios (p.e. para edificios históricos) hacen que sea complejo emplear el análisis de riesgos en su forma completa (métodos cuantitativos), que sólo tendría sentido para edificios de cierta envergadura.

La aproximación más sencilla para analizar el riesgo es evaluarlo subjetivamente o establecer una clasificación subjetiva del mismo, tanto en términos de probabilidades como de consecuencias**,** basándose en la opinión de expertos. Las expresiones de la evaluación de estos métodos son del tipo: excelente, bueno, regular, malo,..; alto, medio, bajo; tan seguro como...

El principal problema de los métodos cualitativos es que no reflejan en una escala absoluta lo serio que puede llegar a ser el riesgo si se comparan diferentes fuentes de riesgo, en cambio sí son útiles en edificios de pequeñas dimensiones, que se construyen más frecuentemente o sobre los que ya se tiene experiencia.

Una forma de representar el riesgo cualitativamente es empleando una matriz de riesgo**,** que determina el nivel de riesgo en cada caso, teniendo en cuenta la probabilidad de que ocurra un suceso y sus posibles consecuencias. Un experto (o varios) debe analizar separadamente las probabilidades de inicio de un incendio y sus consecuencias, clasificándolas con uno de los términos empleados en la matriz. Combinando estas estimaciones como se muestra en la tabla, se obtiene la clasificación del riesgo resultante. Esta matriz permite caracterizar el edificio en términos de nivel de: (1) riesgo bajo o aceptable; (3) riesgo alto o inaceptable, en los cuales debe aplicarse medidas de seguridad apropiadas para disminuir ese riesgo; (2) riesgo medio, en que habría que decidir mediante un análisis más detallado si el riesgo es aceptable o han de adoptarse medidas de seguridad que supongan un bajo coste razonable (ALARP).

Los métodos cualitativos pueden utilizarse como primer paso en un método cuantitativo.

Los métodos semi-cuantitativos, también llamados métodos de índice, permiten una valoración cuantitativa (y relativa, no absoluta) del riesgo, y por tanto la comparación objetiva entre soluciones. La estimación de riesgos utilizando este tipo de métodos hace necesario el análisis de las características del edificio, así como de todos los factores que inciden en el riesgo, a los que se asignan valores numéricos (índices o coeficientes). Estos valores se ponderan y combinan aritméticamente para atribuir al edificio un índice o puntuación que permite la valoración relativa de las soluciones y su comparación con el nivel establecido como aceptable.
Estos métodos empezaron a utilizarse por compañías de seguros o de venta de sistemas especiales de protección contra incendios para establecimientos industriales principalmente, para comparar riesgos. No son métodos muy rigurosos, pero la sencillez de su utilización hace que sean útiles para edificios cuya importancia o tamaño no requieran un análisis cuantitativo.

El establecimiento del método, la elección y ponderación de las variables que influyen en el riesgo global de un edificio debe ser realizada por expertos con carácter general

para una determinada tipología y uso del edificio, pero una vez establecida, la aplicación a cada caso particular puede ser realizada directamente por las personas implicadas, no necesariamente expertos, siguiendo las indicaciones dadas por aquéllos. Es decir, pone en manos de los administradores del bien una herramienta que permite elegir la estrategia más adecuada teniendo en cuenta el bien protegido y los fondos disponibles.

El usuario asignará un valor numérico a cada parámetro (nivel de riesgo relativo) dentro de una escala de valores. Para que esto se haga de la forma más objetiva posible, el método debe establecer criterios de valoración que tengan en cuenta los sub parámetros que afecten a cada parámetro.

Los métodos cuantitativos son los métodos más complejos y los que, a su vez, proporcionan mayor información sobre el nivel de riesgo de incendio de un edificio. También pueden utilizarse para calibrar métodos semi-cuantitativos. Estos métodos se utilizan cada vez más como herramientas en la toma de decisiones en proyectos importantes, ya que son métodos racionales que permiten una ordenación de las posibles soluciones.

Previamente a la cuantificación del riesgo, es necesario hacer un análisis cualitativo, analizando los distintos escenarios, con sucesos que se van encadenando, y las múltiples causas por las que puede darse un determinado riesgo. A cada uno de los sucesos finales se le asocia una probabilidad de que ocurra. Los resultados numéricos se obtienen mediante la aplicación de hipótesis, datos y relaciones matemáticas explícitas.

En el caso de la protección contra incendios, para la elección de la estrategia adecuada mediante criterios objetivos, deben analizarse qué tipo de incendios pueden darse y en qué manera pueden evolucionar. A su vez, deben poder caracterizarse los aspectos técnicos de los sistemas proyectados, conocer su nivel de fiabilidad, sus capacidades y limitaciones, qué seguridad se está aportando con su diseño, etc, así como la fiabilidad de los modelos y métodos de cálculo y de las hipótesis aceptadas, implícitas o explícitas.

Hay básicamente dos métodos generales distintos de análisis cuantitativos de riesgos, empleados en varias ingenierías, y que podríamos adoptar para la evaluación del riesgo de incendio en edificios:

1- con el método del índice $\beta$ de fiabilidad se analizan uno a uno los posibles escenarios y estados límite. Está basado en una determinación probabilista de que el estado límite sea sobrepasado. Este método deriva de métodos empleados en la ingeniería estructural;

2- en el segundo método se consideran varios escenarios organizados en árboles lógicos (los árboles de sucesos y los de fallos son los más empleados). Son métodos desarrollados para sistemas tecnológicos complejos. En este tipo de análisis es importante identificar cómo las incertidumbres afectan al resultado final, pero no es lo más habitual que se acompañen de un análisis de las incertidumbres. Un análisis de este tipo puede llevar a que se elija una solución de mayor riesgo pero más fiable que otra con un alto grado de incertidumbre, aunque de menor riesgo.

# 8. Conclusiones

La modelización de la acción de incendio y el cálculo de las consecuencias en el cálculo de la estructura de un edificio constituye todavía un tema en desarrollo en el campo de la ingeniería de fuego actual.

El fuego es un fenómeno estocástico, sin embargo se acepta comúnmente su simulación determinista mediante la elección de determinados parámetros fijos por parte del proyectista. Las limitaciones existentes tanto por el propio desconocimiento de este fenómeno como por los modelos empleados a la hora de simular las propiedades térmicas de los materiales en función de las temperaturas alcanzadas llevan a que los resultados obtenidos en los análisis de comportamiento tengan un alto grado de incertidumbre e incluso puedan alejarse bastante de la realidad.

Son muchos los factores que influyen en el desarrollo y propagación de un incendio, gran parte de ellos variables susceptibles de caracterizarse estadísticamente. En el análisis del riesgo de incendio de una estructura, la valoración de la fiabilidad de cada una de las variables (o al menos de las más relevantes) que interviene en el cálculo es primordial para la obtención de resultados razonables.

Por ello se hace necesaria la creación de bases de datos prácticas y fiables procedentes bien de análisis de casos reales, o bien del resultado de ensayos experimentales para poder verificar o calibrar hipótesis teóricas, así como para incorporar en las valoraciones del riesgo variables estocásticas.

# DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL FUEGO

Vicente J. Moliner Besalduch
Asociación de Investigación de las Industrias de la Construcción (AIDICO)
Centro Técnico del Fuego (CTF)

## 1 Introducción

El segundo requisito esencial de la Directiva de Productos de Construcción (89/106/CEE)[1], Seguridad en caso de incendio, desarrollado por el Documento Interpretativo número 2 (ID2)[2], establece que las obras deberán proyectarse y construirse de forma que, en caso de incendio:

- La capacidad de sustentación de la obra se mantenga durante un periodo de tiempo determinado.
- La aparición y la propagación del fuego y del humo dentro de la obra estén limitadas.
- La propagación del fuego a obras vecinas esté limitada.
- Los ocupantes puedan abandonar la obra o ser rescatados por otros medios.
- Se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate.

Si bien estos puntos constituyen los objetivos básicos de la protección contra incendios, la resistencia al fuego, objeto del presente capítulo, se centraría, fundamentalmente, en los tres primeros. Así, y de acuerdo con el Documento Interpretativo número 2, a fin de impedir que un incendio alcance proporciones inaceptables y que el humo se propague sin restricción dentro de las obras de construcción, los elementos constructivos que delimitan un sector de incendio deben construirse de forma que resistan al fuego durante un periodo de tiempo determinado. No obstante, un requisito previo para que se mantenga íntegra esta compartimentación es que se garantice la estabilidad global de la estructura principal.

Estas exigencias de que la capacidad portante de la obra se mantenga durante un periodo de tiempo determinado y de que la propagación del incendio esté limitada pueden cumplirse garantizando la resistencia al fuego de los elementos portantes y/o de los elementos separadores. Por tanto, el objetivo de la determinación de la resistencia al fuego no es otro sino valorar el comportamiento de una muestra de elementos de construcción cuando está sometida a condiciones definidas de calentamiento y presión.

El método experimental que desarrollaremos en este capítulo, basado en las normas de ensayo UNE-EN 1363-1[3] y UNE-EN 1363-2[4], presenta un medio de cuantificar la capacidad de un elemento de soportar la exposición a altas temperaturas, estableciendo criterios por los cuales la capacidad portante, la contención del fuego (integridad) y la transmisión térmica (aislamiento térmico), entre otras, pueden ser evaluadas. Así, los ensayos de resistencia al fuego consisten, básicamente, en someter una muestra representativa a un determinado régimen de calentamiento, registrando su comportamiento sobre la base de los criterios apropiados. La resistencia al fuego es, por tanto, el tiempo durante el cual tienen cumplimiento dichos criterios que, si bien no tiene relación directa con la duración de incendios reales, es la medida de una adecuación de la construcción durante un incendio.

# 2 Condiciones de ensayo

## 2.1 Hornos de ensayo

El laboratorio dispondrá de hornos especialmente diseñados para someter las muestras de ensayo a las condiciones especificadas por éste. Se diseñarán para la utilización de combustibles líquidos o gaseosos, y deberán ser capaces de:

- Someter a calentamiento elementos de separación verticales u horizontales por una de sus caras, o
- Someter a calentamiento pilares por todos su lados, o
- Someter a calentamiento paredes en más de una cara, o
- Someter a calentamiento vigas en tres o cuatro caras de exposición, según sea apropiado.

Los hornos deberán ser capaces de proporcionar condiciones normalizas de exposición al fuego tanto en aspectos térmicos como de presión interna.

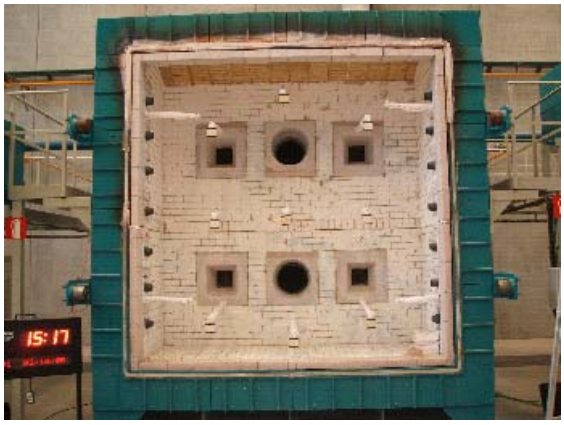


**Fig. 2.1 Horno vertical**

## 2.2 Temperatura del horno

Con carácter general, la temperatura media del horno, *T*, se vigilará y controlará de modo que siga la siguiente relación:

$$T = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) + 20 \qquad (2.1)$$

donde la variable *t* representa el tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo. Esta curva normalizada, tomada de la norma ISO 834-1, es una simplificación para simular la acción térmica desarrollada en un incendio que permite evaluar el comportamiento de los productos expuestos a un incendio de pleno desarrollo.

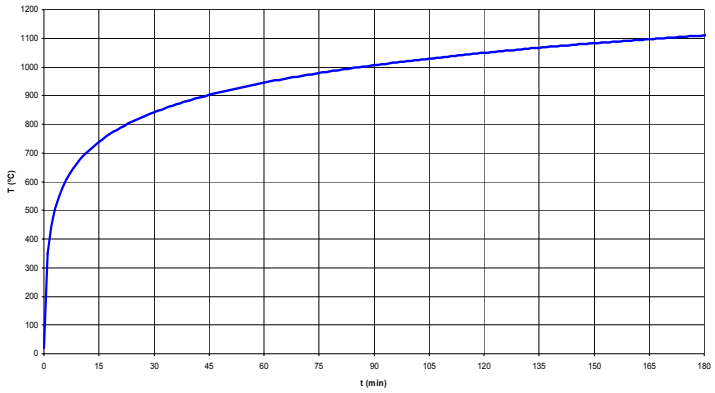



**Fig. 2.2 Representación gráfica de la curva de calentamiento normalizada**

Para la medida de la temperatura del horno se emplean los llamados termopares de placa, consistentes en un conjunto de una placa de acero plegado con un termopar tipo K fijado a él y conteniendo material aislante. Los termopares y la pieza de aislamiento serán repuestos después de 50 horas de utilización en el interior del horno.

**Fig. 2.3 Termopar de placa**

Los termopares del horno serán distribuidos de tal manera que proporcionen una indicación fiable de la temperatura media en las proximidades de la muestra de ensayo. Su posición y número se especificará en la norma de ensayo correspondiente al elemento constructivo a ensayar.

## 2.3 Presión del horno

La distribución de la presión a lo largo de la altura del horno viene condicionada por el movimiento natural de los gases. Con el propósito de controlar la presión del horno, puede considerarse que el gradiente de presión será de 8,5 Pa por metro de altura del horno.

La presión del horno será establecida en relación a la presión existente en el exterior del horno a la misma altura.

Para establecer las condiciones de presión en el interior del horno se tendrán en cuenta, con carácter general, las siguientes condiciones.

### 2.3.1. Plano de presión neutra

El horno funcionará de tal manera que el plano de presión neutra (un valor de presión igual a 0 Pa) se establezca a 500 mm por encima de la altura ocupada por el nivel de suelo teórico del elemento sometido a ensayo.

### 2.3.2. Presión en la parte superior del elemento sometido a ensayo

Independientemente de la condición anterior, se procurará que la presión en la parte superior del elemento sometido a ensayo no sea mayor de 20 Pa. No obstante, prevalecerá el requisito de establecimiento del plano de presión neutra a 500 mm por encima del nivel de suelo teórico de la muestra sobre el requisito de presión en la parte superior de la muestra.

### 2.3.3. Sensores de presión

El sensor de presión se situará en la zona donde no quede expuesto directamente a corrientes de convección originadas por las llamas o en los caminos de salida de los gases extraídos. Los tubos del sensor estarán, en la medida de lo posible, en posición horizontal tanto dentro del horno como a su salida a través de las paredes de éste. Cualquier sección vertical del tubo que acometa el instrumento de medida será mantenida a temperatura ambiente.

En el caso de hornos para elementos verticales se instalará, al menos, un sensor de presión para controlar la presión del horno en un plano horizontal del mismo. Se podrá utilizar, al menos, un segundo sensor para controlar la presión del horno en otro plano horizontal y obtener, así, información más precisa del gradiente vertical de presión dentro del horno. Este sensor, en caso de utilizarse, se situará, al menos, 1 metro más alto o más bajo que el primer sensor.

En el caso de hornos para elementos horizontales, en general, se dispondrá de un único sensor para controlar la presión del horno en un plano horizontal del mismo.

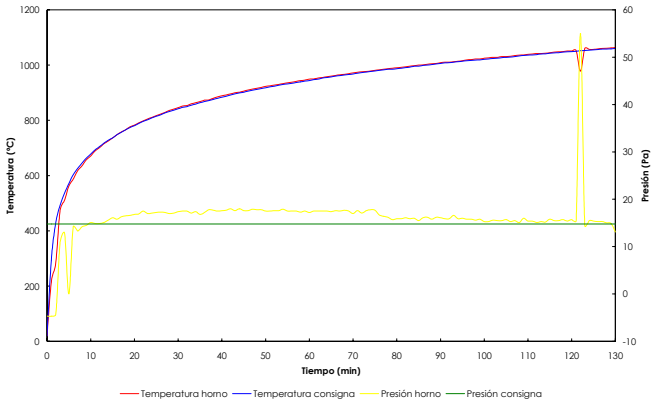



**Fig. 2.4 Evolución de las condiciones de temperatura y presión en el horno**

## 2.4 Condiciones de carga

Para aquellos productos constructivos que deba ser evaluada su capacidad portante, el solicitante del ensayo aportará el fundamento que establezca la carga a aplicar, incluidos los

cálculos justificativos, si ésta depende de las propiedades de los materiales de la muestra. Asimismo indicará la relación entre la carga a aplicar en el ensayo y la que se aplicará en la realidad (cuando ésta sea conocida). Es deseable que dicha carga a aplicar en el ensayo esté en relación con el límite máximo de carga del elemento en frío.

El laboratorio dispondrá de un sistema para llevar a cabo las condiciones de carga y restricción apropiadas a cada tipo de muestra, incluyendo el control y vigilancia del valor de carga aplicado. Dicha carga podrá ser aplicada de manera hidráulica, mecánica o mediante el uso de pesos muertos.

El equipo de carga deberá ser capaz de simular condiciones de carga uniforme, puntual, concéntrica, axial o excéntrica, según sea apropiado para la muestra sometida a ensayo, manteniendo un valor constante de carga (con una tolerancia de ±5%), sin cambios en su distribución y con capacidad de acompañar el movimiento asociado al nivel de flexión máximo y a la velocidad de flexión en la muestra de ensayo hasta el fallo de su capacidad portante o a lo largo de la duración de todo el ensayo, cualquiera que sea la más corta. La carga será aplicada, al menos, 15 minutos antes del comienzo del ensayo y a un ritmo tal que no se produzcan efectos dinámicos.

**Fig. 2.5 Sistema hidráulico de carga en horno horizontal**

## 2.5 Condiciones de restricción y contorno de la muestra

La muestra o el conjunto de ensayo, cuando sea apropiado, será instalada en un bastidor de ensayo especial, diseñado para reproducir las condiciones de restricción y contorno de la muestra exigibles para dicho ensayo o proyectadas para esa muestra. Se deberá rellenar cualquier hueco entre los bordes de la muestra y el bastidor con un material no compresible.

El tipo de bastidor de ensayo y el comportamiento exigido variará en función del elemento sometido a ensayo. En estos casos, los requisitos exigibles a cada elemento particular constarán en el correspondiente método de ensayo específico.

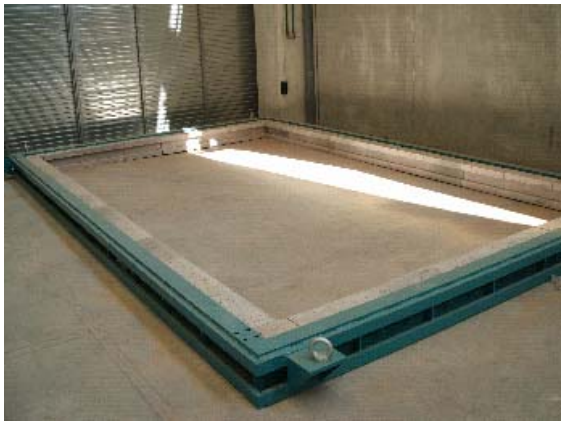


**Fig. 2.6 Bastidores de ensayo**

## 2.6 Condiciones ambientales

La temperatura ambiente será medida mediante el termopar de temperatura ambiente a una distancia de (2±1) metros alejada horizontalmente de la cara no expuesta del elemento sometido a ensayo, de tal manera que no se vea afectado por la radiación térmica proveniente de la muestra o del propio horno y protegido frente a la presencia de corrientes de aire.

Se empleará un termopar de tipo K de constitución similar a los especificados para el control del horno, tanto antes como durante el periodo de ensayo.

**Fig. 2.7 Termopar de temperatura ambiente**

La temperatura ambiente del laboratorio al inicio del ensayo será de (20±10) ºC. Durante el ensayo de elementos para los que se pretenda evaluar su aislamiento térmico, la temperatura ambiente, mientras se continúe cumpliendo dicho criterio de aislamiento térmico, no decrecerá más de 5 ºC ni se incrementará más de 20 ºC.

# 3 Muestras de ensayo

## 3.1 Dimensiones de la muestra

La muestra de ensayo presentará, normalmente, las dimensiones reales. Cuando, por cualquier circunstancia, esta muestra no pueda ser ensayada a tamaño real, sus medidas se establecerán de acuerdo con el correspondiente método específico de ensayo,

generalmente, un mínimo de 3×3 metros para muestras verticales y un mínimo de 4×3 metros para muestras horizontales.

**Fig. 3.1 Muestras ensayadas con dimensiones reales y con 3×3 m, respectivamente**

## 3.2 Número de muestras

Para muestras de ensayo que actúen como elementos de separación, se distinguen dos tipos de elementos de separación en función de sus requisitos de resistencia al fuego:

- Resistentes al fuego por una cara: se ensayará una única muestra de ensayo, siendo la cara expuesta al fuego la que haya de ser objeto de exigencia.
- Resistentes al fuego por ambas caras: se ensayarán dos muestras separadamente (una por cada cara), a menos que el elemento pueda considerarse totalmente simétrico y las exigencias en cuanto a exposición al fuego por ambas caras sean iguales.

Para muestras de ensayo que actúen como elementos no separadores, únicamente se requerirá una muestra.

## 3.3 Diseño y construcción de las muestras de ensayo

Los materiales utilizados en la construcción de la muestra serán representativos de la realidad, debiendo incluir, por tanto, los acabados superficiales y los accesorios que sean parte esencial del elemento y que pudieran influir en su comportamiento durante el ensayo.

No se podrán incluir diferentes variaciones dentro de una misma muestra (por ejemplo, diversos tipos de juntas), a no ser que formen parte del diseño de la misma.

El método de construcción y montaje de la muestra, cuando sea necesario, será representativo del uso del elemento en la práctica, incluyendo la misma forma de acceder a la muestra de ensayo que en la realidad. El solicitante del ensayo tendrá la responsabilidad de asegurarse de que el método y la calidad de la construcción de la muestra de ensayo son representativos del uso del producto en la práctica.

El solicitante del ensayo aportará al laboratorio, antes del ensayo y con antelación suficiente, una descripción de la muestra que permita al laboratorio secundar la conformidad de la muestra con dicha descripción. Para asegurar que la descripción de la muestra, y en especial su construcción, esté conforme a la muestra ensayada, el laboratorio podrá requerir el envío de una muestra adicional o, llegado el caso, supervisar el proceso de fabricación de la misma.

**Fig. 3.2 Montaje de muestra de ensayo**

## 3.4 Instalación de las muestras de ensayo

La muestra de ensayo se instalará de la manera más representativa de la realidad. Dependiendo del tipo de elemento que vaya a ensayarse, podrá ser necesario su montaje para ensayo con ayuda de una obra soporte. Se distinguen, básicamente, dos tipos de obra soporte:

- Obra soporte normalizada. Pueden ser, a su vez, de dos tipos:
  - Obras soporte rígidas. Se distingue entre:
    - De alta densidad: se trata de muros de bloque, obra de fábrica u hormigón homogéneo, con una densidad total (1200±400) kg/m$^3$ y un espesor de (200±50) mm.
    - De baja densidad: se trata de paredes de bloques de hormigón aligerado con una densidad total de (650±200) kg/m$^3$ y un espesor mayor o igual de 70 mm.
  - Obras soporte flexibles: se componen de un cerramiento ligero de placa de yeso con perfilería de acero.
- Obra soporte asociada. Cuando la muestra de ensayo se instale en la práctica en un tipo de obra soporte no contemplada dentro de las obras soporte normalizadas, el elemento se ensayará junto con esa obra.

**Fig. 3.3 Muestra de madera sobre obra soporte rígida de alta densidad**

# 4 Criterios de comportamiento y resultados del ensayo

Tal como se ha definido anteriormente, se define la resistencia al fuego de la muestra ensayada como el tiempo durante el cual tienen cumplimiento cada uno de los criterios de comportamiento que le apliquen, definidos a continuación: capacidad portante, integridad y aislamiento. Por tanto, en el transcurso del ensayo, mientras la muestra está sometida a las correspondientes condiciones de temperatura y presión, se deberá practicar un seguimiento de la misma con el fin de determinar el instante en que ocurra el fallo de los criterios definidos.

En caso de que el ensayo haya concluido antes del fallo de todos los criterios de comportamiento correspondientes, el resultado del ensayo se expresará como el tiempo de finalización del ensayo y se tratará conforme a éste.

Los criterios de comportamiento aislamiento e integridad se considerarán automáticamente sin cumplimiento cuando el criterio capacidad portante deje de ser satisfecho.

El criterio de comportamiento aislamiento se considerará automáticamente sin cumplimiento cuando el criterio integridad deje de ser satisfecho.

## 4.1 Capacidad portante

Se define como el tiempo de ensayo, en minutos completos, durante el cual la muestra continúa manteniendo su capacidad para soportar la carga de ensayo a la que ha sido sometida. La capacidad portante de la muestra de ensayo será determinada en base al valor de la deformación de la muestra como a su velocidad.

Así, para elementos horizontales en carga a flexión, se considera que ha ocurrido el fallo en la capacidad portante de la muestra de ensayo cuando se supere alguno de los límites definidos por las siguientes expresiones:

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot d} \tag{4.1}$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{L^2}{9000 \cdot d} \tag{4.2}$$

en las que

$D$ es el límite de la flexión, en mm;

$\partial D/\partial t$ es el límite de la velocidad de flexión, en mm/min;

$L$ es la distancia entre apoyos de la muestra, en mm;

$d$ es la distancia desde el límite extremo de la zona de trabajo a compresión en frío hasta el límite extremo de la zona de trabajo en tensión en frío de una sección estructural, en mm.

Debido a que es posible que ocurran deformaciones relativamente rápidas hasta lograr condiciones de estabilidad, el criterio referente a la velocidad de deformación no será de aplicación hasta que la deformación haya superado un valor de deformación de L/30.

Por otra parte, para elementos verticales en carga a compresión, se considera que ha ocurrido el fallo en la capacidad portante de la muestra de ensayo cuando se supere alguno de los dos criterios siguientes:

$$C = \frac{h}{100} \tag{4.3}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{3 \cdot h}{1000} \tag{4.4}$$

en las que

$C$ es el límite de la contracción, en mm;

$\partial C/\partial t$ es el límite de la velocidad de contracción, en mm/min;
$h$ es la altura inicial de la muestra, en mm.

### 4.1.1. Instrumentación para la medida de la deformación

La instrumentación destinada a la medida de la deformación de la muestra, en el caso de que así lo requiera el ensayo, deberá estar dispuesta para poder cuantificar el valor y la velocidad de esta deformación en el transcurso del ensayo y, cuando sea necesario, en la fase posterior al ensayo de fuego. Para ello se emplearán equipos dotados de técnicas de tipo mecánico, óptico o eléctrico, tomando todas las precauciones necesarias para prevenir cualquier anomalía en las lecturas del sensor debido a la presencia de calor.

En el ensayo de elementos horizontales con carga, la medida se realizará en el punto donde se espere registrar la flexión máxima.

En el caso de elementos verticales con carga, la deformación axial que represente un incremento en la altura de la muestra se expresará con signo positivo (+), mientras que la deformación que represente un decremento de la altura de la muestra, será expresado con signo negativo (−).

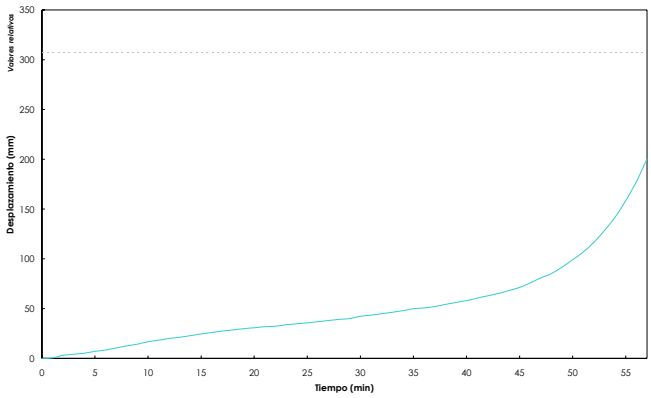



**Fig. 4.1 Evolución de la deformación de la muestra**

## 4.2 Integridad

Se define como el tiempo de ensayo, en minutos completos, durante el cual la muestra continúa manteniendo su función separadora, sin constatarse la presencia de ninguno de los siguientes fenómenos:

- La ignición del tampón de algodón.
- La penetración de alguna de las galgas.
- La aparición de llamas sostenidas.

### 4.2.1. Tampón de algodón

Este instrumento consiste en un marco metálico con empuñadura en cuyo interior se albergará un tampón de fibras de algodón al 100% nuevas, sin tratamiento de ningún tipo, sin presencia de tintes y de aspecto suave, con unas medidas nominales de 100×100×20 mm y un peso de 3,5 gramos.

Se emplea apoyando las patas del marco dentro del cual está montado el tampón contra la superficie de la muestra, durante un período máximo de 30 segundos, o hasta que se produzca la ignición del tampón.

Se realizarán aplicaciones breves de carácter selectivo del tampón de algodón en las áreas donde pueden existir fallos potenciales y/o en el movimiento del tampón sobre y alrededor de dichas áreas. La carbonización del tampón puede indicar un fallo inminente, pero se deberá emplear un nuevo tampón de algodón instalado de la manera prescrita para confirmar el fallo de integridad.

Se registrará el instante de tiempo de ensayo en el que se produzca la ignición del tampón de algodón, junto con la posición en la muestra de ensayo donde ésta ocurre.

**Fig. 4.2 Tampón de algodón**

### 4.2.2. Galgas

Se dispone de dos tipos de galgas cilíndricas de acero, de diámetros 6 y 25 mm, respectivamente, provistas de empuñaduras aislantes de longitud adecuada.

Así, el tamaño de las aperturas que pudieran producirse en la superficie de la muestra se controla mediante el uso de las galgas, a intervalos de tiempo que serán determinados en función del ritmo de deterioro de la muestra. Se emplearán los dos tipos de galga, de forma alterna y sin utilizar una fuerza de aplicación indebida (que contribuyera al deterioro de la muestra), para determinar:

- De qué manera la galga de 6 mm puede pasar a través de la muestra de ensayo, de modo que ésta penetre en el interior del horno y pueda ser desplazada en un recorrido de, al menos, 150 mm a lo largo de la apertura; o
- De qué manera la galga de 25 mm puede pasar a través de la muestra de ensayo, de modo que ésta penetre en el interior del horno.

Se registrará el momento en el que se demuestre la posibilidad de una penetración de una galga en cualquier apertura producida en la muestra de ensayo del modo antes descrito, junto con la posición en que ésta ocurre.

**Fig. 4.3 Aplicación de la galga de 6 mm**

### 4.2.3. Llamas sostenidas

Se registrará la presencia y duración de cualquier llama sostenida en la cara no expuesta de la muestra, junto con su localización. Se define la llama sostenida como aquella de carácter continuo por un período de tiempo superior a 10 segundos.

**Fig. 4.4 Aparición de llamas sostenidas sobre la muestra**

## 4.3 Aislamiento

Se define como el tiempo de ensayo, en minutos completos, durante el cual la muestra continúa mantenido su función separadora, sin desarrollar temperaturas elevadas en su cara no expuesta de acuerdo con cualquiera de los siguientes criterios:

- El incremento de la temperatura media de la cara no expuesta de la muestra sobre la temperatura media inicial de dicha cara no expuesta no sea superior a 140 ºC
- El incremento de temperatura en cualquier punto de la cara no expuesta de la muestra (incluidos aquéllos en los que se utilice el termopar móvil) sobre su temperatura inicial no sea superior a 180 ºC

### 4.3.1. Instrumentación para la medida de la temperatura en la cara no expuesta

#### 4.3.1.1 Termopares de la cara no expuesta

La temperatura de la cara no expuesta de la muestra de ensayo se medirá mediante la utilización de termopares de tipo K con un disco añadido de 12 mm de diámetro y 0,2 mm de espesor. Las reglas para situar los termopares que determinen las temperaturas media y máxima de la cara no expuesta vienen dados en los métodos de ensayo específicos.

Los termopares deberán ser fijados sobre la superficie del elemento a ensayar, preferentemente, mediante el uso de un adhesivo resistente al calor, evitando su presencia entre el disco de cobre y la muestra o entre el disco de cobre y el taco aislante. En aquellos casos en los que el pegado no sea posible, se podrán utilizar dispositivos de fijación mecánica tales como clavos, tornillos, grapas o clips de presión, los cuales estarán solamente en contacto con el taco aislante, procurando que no estén justo encima del disco de cobre.

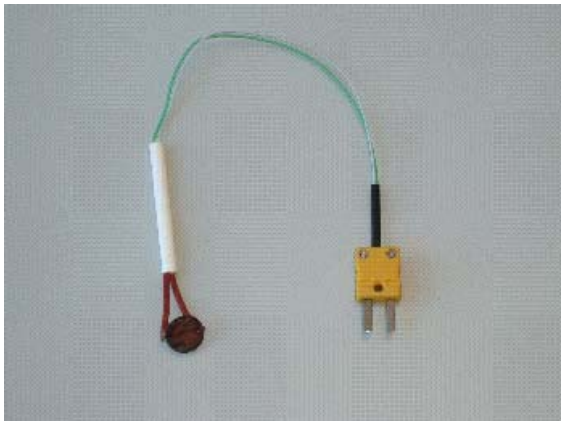


**Fig. 4.5 Termopar de disco**

#### 4.3.1.2 Termopar móvil

Se empleará un termopar móvil de tipo K para la medida de la temperatura de la cara no expuesta en las posiciones donde se sospeche que puedan presentarse temperaturas más elevadas durante el ensayo. El conjunto del termopar estará provisto de una empuñadura para que éste pueda ser utilizado sobre cualquier punto de la superficie no expuesta de la muestra de ensayo.

Cuando se posicione el termopar móvil en las proximidades de una discontinuidad (por ejemplo, entre paneles adyacentes en un tabique), el centro del disco no estará situado a menos de de 15 mm de dicha discontinuidad.

El termopar móvil solamente se utilizará para la evaluación del criterio de temperatura máxima.

### 4.3.2. Temperatura media de la cara no expuesta

El propósito de la medida de la temperatura media en la cara no expuesta es determinar un nivel general de aislamiento en la muestra sin tener en cuenta la incidencia de zonas localizadas de alta temperatura. La determinación del incremento de la temperatura media en la cara no expuesta está basada sobre las mediciones obtenidas de los termopares de superficie situados en o cerca del centro de la muestra y en o cerca del centro de cada cuarto de esta muestra.

Todos los termopares para la determinación de la temperatura media de la cara no expuesta evitarán zonas en las que previsiblemente se alcancen altas temperaturas (tales como puentes térmicos, juntas, uniones, fijaciones -clavos, tornillos,…-, elementos de contacto entre las dos caras, etc.) en un perímetro de, al menos, 50 mm, así como las zonas donde

los termopares puedan estar sometidos a exposición directa de los gases que pasen a través de la muestra de ensayo.

### 4.3.3. Temperatura máxima de la cara no expuesta

El propósito de la medida de la temperatura máxima en la cara no expuesta es determinar el nivel de aislamiento en aquellos puntos donde previsiblemente se alcancen las temperaturas más elevadas. Para esta finalidad, los termopares serán fijados (normalmente con un mínimo de 2 unidades) en las zonas aludidas. Cuando se posicione un termopar cerca de una discontinuidad (por ejemplo, entre paneles adyacentes en un tabique), el centro del disco no estará situado a menos de 15 mm de dicha discontinuidad.

Los puntos de alta temperatura de naturaleza menor tales como cabezas de tornillo o clavo, grapas, etc., serán ignorados.

En el caso de que un termopar de la cara no expuesta se calentara por la acción de los gases calientes que pasaran a través de la muestra (por ejemplo, a través de una fractura desarrollada durante el ensayo), el dato obtenido de ese termopar concreto no será tenido en consideración, a efectos de evaluación del criterio de aislamiento.

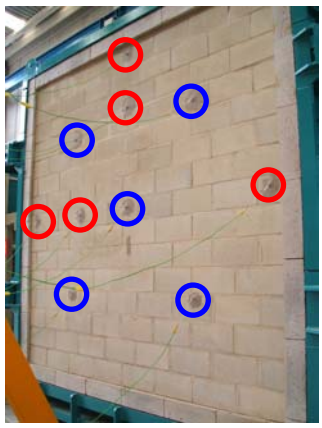


**Fig. 4.6 Posición de los termopares de media y máxima sobre la muestra de ensayo**

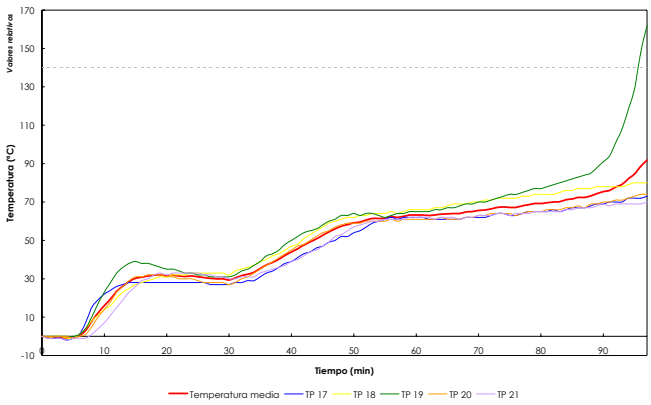



**Fig. 4.7 Evolución de temperaturas registradas por termopares de la muestra**

## 4.4 Finalización del ensayo

El ensayo podrá finalizarse debido a una o más de las siguientes razones:

- Seguridad del personal o de los equipos de ensayo
- Obtención de los criterios de comportamiento seleccionados
- A petición del solicitante

El ensayo podrá mantenerse tras la obtención de los criterios de comportamiento seleccionados de cara a obtener datos adicionales para su uso en el campo de aplicación directa y/o extrapolaciones por análisis.

**Fig. 4.8 Cara expuesta de la muestra tras ensayo**

## 4.5 Expresión de los resultados del ensayo

En la siguiente tabla se muestra, a modo de ejemplo, la expresión de los resultados, en el que el ensayo fue detenido en el minuto 128 de ensayo a petición del solicitante antes del fallo de la capacidad portante de la muestra.

**Tabla 4.1 Expresión de los resultados del ensayo**

| | |
|---|---|
| Capacidad portante: | 128 minutos |
| *Deformación:* | 128 minutos |
| *Velocidad de deformación:* | 128 minutos |
| Integridad: | 108 minutos |
| *Tampón de algodón:* | 118 minutos |
| *Galga ∅ 6 mm:* | 108 minutos |
| *Galga ∅ 25 mm:* | 112 minutos |
| *Llamas sostenidas:* | 124 minutos |
| Aislamiento: | 56 minutos |
| *Temperatura media:* | 68 minutos |
| *Temperatura máxima:* | 56 minutos |

# 5 Clasificación a partir de los resultados del ensayo de resistencia al fuego

En este apartado se pretende definir un procedimiento, de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-2[5], para la clasificación de la resistencia al fuego de los distintos grupos de elementos constructivos, en función de los resultados de ensayo de los elementos individuales, que permita establecer el modo de comparar entre sí el comportamiento de los diferentes elementos. Dicha clasificación establece el comportamiento con un grado apropiado de fiabilidad, teniendo en cuenta las posibles variaciones de los componentes y de la técnica de producción.

## 5.1 Características del comportamiento de resistencia al fuego

### 5.1.1. Criterios básicos

Los criterios básicos utilizados para caracterizar la resistencia al fuego de un producto son la capacidad portante, la integridad y el aislamiento, definidos tal como se ha descrito anteriormente, y representados por los símbolos R, E e I, respectivamente.

No obstante, existen casos particulares como puede ser el de las puertas y cierres de huecos, en los que, para establecer el criterio de aislamiento, debe usarse una de las dos opciones siguientes:

- Aislamiento, $I_1$. La elevación de la temperatura media en la cara no expuesta de la hoja de la puerta debe limitarse a 140 ºC por encima de la temperatura media inicial, con una elevación de la temperatura máxima en cualquier punto de la hoja limitada a 180 ºC. No deben tenerse en cuenta mediciones de la temperatura en puntos situados a menos de 25 mm del límite visible de la hoja. La elevación de la temperatura en el marco debe limitarse a 180 ºC medidos en cualquier punto situado, en la cara no expuesta, al menos a 100 mm del límite visible de la hoja, si el marco es más ancho de 100 mm y en el borde del marco o de la obra soporte, en caso contrario.
- Aislamiento, $I_2$. La elevación de la temperatura media en la cara no expuesta de la hoja de la puerta debe limitarse a 140 ºC por encima de la temperatura media inicial, con una elevación de la temperatura máxima en cualquier punto de la hoja limitada a 180 ºC. No deben tenerse en cuenta mediciones de la temperatura en puntos situados a menos de 100 mm del límite visible de la hoja. La elevación de la temperatura en el marco debe limitarse a 360 ºC medidos en cualquier punto situado en la cara no expuesta y al menos a 100 mm del límite visible de la hoja, si el marco es más ancho de 100 mm y en el borde del marco o de la obra soporte, en caso contrario.

### 5.1.2. Otros criterios de comportamiento

La clasificación de los elementos constructivos puede ampliarse, en función de las condiciones de ensayo, a otros criterios, tales como los que se relacionan a continuación:

- Radiación, W
- Acción mecánica, M
- Cierre automático, C
- Estanquidad ante el humo, S
- Resistencia al fuego de hollín, G
- Aptitud de protección ante al fuego, K

### 5.1.3. Declaración del comportamiento de resistencia al fuego

Para la clasificación de los elementos constructivos deberán emplearse, por una parte, las letras de denominación indicadas en el apartado anterior. Por otra parte, los períodos de clasificación frente a cualquiera de las características deben declararse en minutos, usando uno de los siguientes períodos, si bien no todos los períodos son aplicables a todos los elementos constructivos:

10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360 min

Como parte del sistema de clasificación del comportamiento deben utilizarse combinaciones de las letras de denominación. Éstas se deben complementar con el tiempo durante el cual se cumplen los requisitos de comportamiento, expresado en minutos, conforme a la clase inmediata inferior. Así, pueden definirse los siguientes ejemplos de clases:

REI 15, RE 20, EI 45, E 60

Cuando se combinan características, el tiempo declarado debe ser el de la característica que posea el tiempo más corto. Así, por ejemplo, un elemento constructivo con una capacidad portante de 155 minutos, una integridad evaluada mediante disco de algodón de 80 minutos, una integridad evaluada mediante el empleo de galgas de 95 minutos y un aislamiento de 42 minutos, deberá clasificarse del siguiente modo:

R 120 / RE 60 / REI 30

### 5.1.4. Presentación de la clasificación

La combinación de clases y tiempos para R, E, I y W debe deducirse de los datos del ensayo. Para los diferentes elementos solo deben usarse aquellas combinaciones de clases y tiempos que se definen para cada familia de elementos constructivos. Las letras que designan los parámetros adicionales de comportamiento deben agregarse según sea oportuno, en la medida en que satisfagan las condiciones establecidas. Las clasificaciones deben adjudicarse después de verificar que se cumplen los requisitos adicionales específicos para determinados elementos constructivos. Así, la clasificación se debe presentar de acuerdo con la siguiente plantilla:

R E I W t t - M C S IncSlow sn ef r

# 5 Bibliografía


[1] 89/106/CEE. Directiva del Consejo de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción. Diciembre 1988.

[2] ID2 (89/106/CEE). Documento Interpretativo número 2. Seguridad en caso de incendio.

[3] UNE-EN 1363-1. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales. Octubre 2000.

[4] UNE-EN 1363-2. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales. Octubre 2000.

[5] UNE-EN 13501-2. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales. Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de su comportamiento ante el fuego. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación. Mayo 2004.

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO WINDSOR FRENTE A LAS ALTAS TEMPERATURAS PRODUCIDAS EN EL INCENDIO DEL 12 FEBRERO DE 2.005

José María Izquierdo y Bernaldo de Quirós
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe del Departamento de Estudios Especiales..
Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.

## RESUMEN

Durante la noche del día 12 Febrero de 2.005 se produjo un incendio en la planta 21ª del edificio Windsor, que se fue propagando a lo largo de cerca de dieciséis horas hasta afectar a todas las plantas de la torre por encima de la 4ª.

Ante los daños producidos por el incendio tanto en el propio edificio como en edificios y zonas urbanas aledañas, el Excmo. Ayuntamiento de Madrid decidió proceder a la demolición del edificio siniestrado. La ubicación del edificio y la trascendencia de la extensión y ubicación de la zona afectada por las medidas de protección para las personas y bienes colindantes que fue preciso adoptar, obligaban a efectuar esta demolición en un tiempo record, especialmente teniendo en cuenta que los condicionantes de seguridad impedían que dicha demolición fuera efectuada con presencia de personas en el interior del edificio, y era obligado efectuar todas las operaciones desde el exterior del edificio.

Para poder proceder a una obra de esta magnitud era necesario diseñar un procedimiento de auscultación de daños suficientemente preciso y rápido, con el fin de detectar las zonas de mayor riesgo y orientar en las medidas de seguridad adicionales a adoptar en puntos concretos. Por otra parte, la estructura era un campo de experimentación excepcional para analizar el efecto real del fuego en edificios en altura de hormigón armado, y era preciso aprovechar una ocasión tan extraordinaria, pese a los condicionantes que introducían las estrictas medidas de seguridad y el muy acelerado ritmo de demolición.

La ponencia presenta las actividades que efectuó el Instituto Técnico de Materiales y Construcciones para delimitar y caracterizar los daños, y en particular el trabajo de investigación y experimentación que permitió acotar la afectación al hormigón de los elementos estructurales del edificio en cada zona, y las enseñanzas que, para el desarrollo de futuros métodos de auscultación rápida de edificios incendiados y desarrollo de normativas de compartimentación se obtuvieron de las inspecciones, estudios y análisis efectuados.

# 1 El incendio del edificio Windsor

El edificio Windsor se encontraba dentro del complejo inmobiliario AZCA, que promovió la multinacional británica Rio Tinto en el paseo de la Castellana, de Madrid. Era propiedad de Inmobiliaria Asón S. A. y fue construido entre los años 1.974 y 1.979 por la actual empresa Ferrovial Agromán S. A siguiendo el proyecto de los Drs. Arquitectos D. Genaro Alas Rodríguez, D. Pedro Casariego Hernández – Vaquero, D. Luis y D. Rafael Alemany Indarte, D, Ignacio Ferrero y Ruiz de la Prada y D. Manuel del Río Martínez. El cálculo de la estructura fue desarrollado por la empresa OTEP Internacional S. A.

Durante la noche del día 12 Febrero de 2.005 se produjo un incendio en la planta 21ª del edificio que se fue propagando a lo largo de dieciséis horas hasta afectar a todas las plantas por encima de la 4ª.

**Fig. 1 La torre Windsor antes y después del siniestro**

El edificio constaba de 37 plantas: 5 niveles de sótano, Planta Baja, 27 plantas de oficinas, dos plantas técnicas –sobre las plantas 3ª y 16ª respectivamente–, planta de torreón y cubierta. La planta del edificio era trapecial en los niveles inferiores y rectangular – de 40 x 26 m x m – en la torre.

La primera señal de incendio se recibió en la sala de Control del edificio proveniente de la planta 21ª entre las 23:05 h y las 23:16 h (según diferentes fuentes.) del día 12 de Febrero. El aviso a Protección Civil se dio a las 23:20 h, y cinco minutos después llegaban al edificio las primeras dotaciones de bomberos, que, a las 23:35 h informaron de que la Planta 21ª estaba totalmente invadida por el fuego.

A las 00:20 h del día 23, el fuego había alcanzado la planta superior del edificio, y media hora después se comenzaron a desprender grandes fragmentos de la fachada de las plantas superiores, colapsando la esquina noroeste del edificio por encima de la plata 18ª a las 01:15 h. A partir de ese momento, el fuego se concentró en las fachadas Este y Sur, dismi-

nuyendo progresivamente en intensidad, pero con sucesivos desprendimientos de material en ignición por el exterior y el interior del edificio, donde algunos llegan a alcanzar la planta Baja.

A las 04:00 h, el fuego se reactivó, y aparece con gran intensidad en las plantas 14ª y 15ª., prosiguiendo en sentido descendente hasta detenerse en la planta 5ª hacia las siete de la mañana. Finalmente el fuego se dio por controlado a las 15:00 h y como extinguido a la una de la madrugada del día 14 de Febrero.

## 2 La estructura del edificio

La estructura típica de la torre estaba configurada en torno a un núcleo formado por pantallas de hormigón armado que alojaba los ascensores y escaleras. Este núcleo estaba centrado en la dimensión más corta de la planta, y ligeramente excéntrico en la dimensión mayor, de forma que en el interior de la planta se disponían, fuera del núcleo, tres pórticos de pilares apantallados en la zona Sur y dos en la zona Norte en las plantas 4ª a 16ª.

En las plantas técnicas, los vanos de los pórticos se macizan conformando vigas de gran canto – igual a la altura de planta, 3,75 m – ligeramente acarteladas en sus extremos en la Planta Técnica 1. Las vigas de gran canto situadas en los bordes cortos de la planta recogen la carga de los pilares metálicos de esas fachadas, transmitiéndola a los pilares de hormigón en los que apoyan, mientras que la carga de los pilares metálicos de las fachadas largas es recogida por sendas vigas de hormigón de 60 x 100 cm que se apoyan en los extremos de los voladizos de las vigas de gran canto.

A partir de la planta 17 hasta la 27 la configuración estructural varía respecto de la descrita para las plantas de oficinas 4 a 16:

- desaparece la pantalla longitudinal Este del núcleo, y las pantallas transversales N/S del núcleo de ascensores que llegaban a dicha pantalla Este se transforman en pórticos de hormigón convencionales.

- desaparecen también los pilares de hormigón de las fachadas Norte y Sur, que son sustituidos por pilares metálicos.

Salvo en los suelos y techos de las plantas técnicas, las bandas de pilares interiores en dirección E – W incorporaban vigas mixtas de perfil descolgado, referidas a los pilares mediante placas metálicas ancladas con barras soldadas en las esquinas.

En la figura nº 2 se representa esquemáticamente la distribución estructural del edificio.

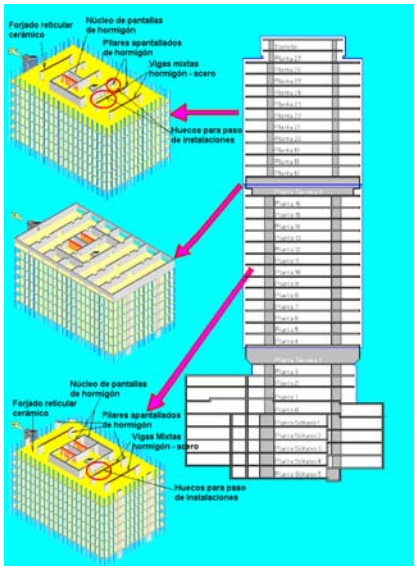



**Fig. 2 Esquema estructural básico de la torre Windsor**

Los pilares de hormigón tenían 50 cm de ancho en la dirección del eje mayor de la planta. La longitud de los pilares interiores era de 220 cm en las plantas 4ª a 16ª, disminuyendo a partir de la 17ª desde 120 hasta 50 cm, conservando la cara interna. La longitud de los pilares de fachada de hormigón, en las plantas en que existían, era de 180 cm. A lo largo de las fachadas corrían, además, sendas alineaciones de pilares metálicos que apoyaban en las plantas técnicas y, por último, adosada al lado Norte existía una escalera de incendios, apoyada en vigas balcón de 2,50 m de canto que volaban en las plantas técnicas.

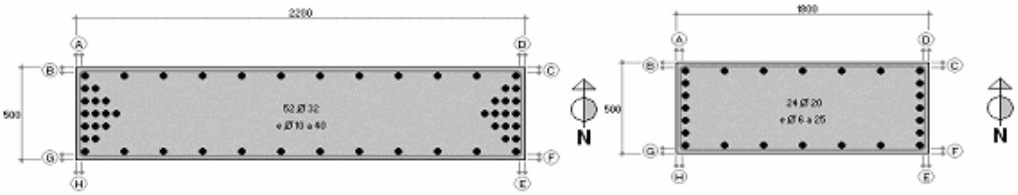



**Fig. 3 Pilares tipo del edificio**

El forjado de las plantas de oficinas era una losa nervada bidireccional de casetones cerámicos, con 23 cm de canto total, incluyendo 3 cm de espesor de la losa superior. En las plantas técnicas, la sección era similar, pero con 25 cm de canto total (20 + 5 cm). En el núcleo se disponían losas macizas de espesor igual al canto total del forjado reticular de planta. Asimismo, los techos de las dos plantas técnicas eran losas macizas de hormigón sobre las que existían sendas losas flotantes.

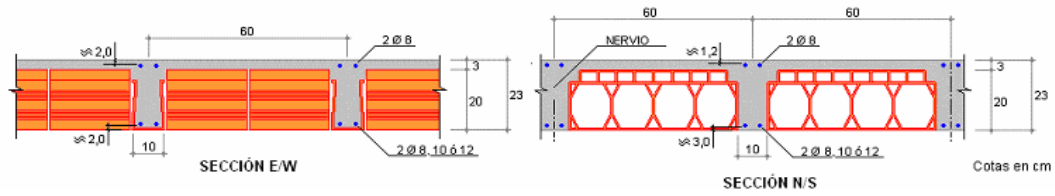



**Fig. 4 Forjado tipo del edificio en las plantas de oficinas**

La resistencia característica del hormigón era de 250 kgf/cm² (24,5 MPa) en los pilares y pantallas, 300 kgf/cm² (29,4 MPa) en las vigas de gran canto y 175 kgf/cm² (17,2 MPa) en los forjados. El acero de las armaduras era de 500 kgf/mm² (49 MPa) de límite elástico.

En el momento de producirse el incendio se estaba procediendo a la realización de obras de rehabilitación del edificio, entre las que se encontraba la adecuación de la estructura a la vigente normativa de protección contra incendios, pues en la época en que se construyó el edificio no existía normativa al respecto en España. En particular, se estaba procediendo al ignifugado de los elementos metálicos de la estructura, faltando por proteger los elementos de la planta 9 y los de las plantas superiores a la 17ª. Además se habían dispuesto una nueva escalera de emergencia adosada a la fachada Oeste del edificio y un nuevo muro cortina por el exterior del anteriormente existente.

## 3 Apreciación de los daños producidos en la estructura

En las plantas 18 a 27 habían colapsado los pilares metálicos de fachada, arrastrando en su caída a casi todos los forjados perimetrales e incluso a los pilares de hormigón y el resto del forjado de la cara Norte del edificio. Los forjados de fachada no colapsados en el borde Oeste coincidían con la posición de una escalera de incendio de nueva disposición, que se mantuvo, junto con los vanos de forjado adyacentes, en toda la altura del edificio. Estas plantas resultaban inaccesibles con seguridad suficiente, debido al mal estado de la estructura. La planta 17 resultaba parcialmente inaccesible, debido a la gran cantidad de escombro acumulado.

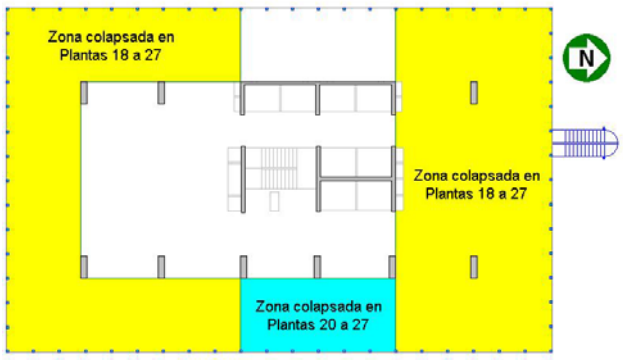



**Fig. 5 Zonas colapsadas sobre el nivel de la Planta Técnica 2**

En los escombros que se acumulaban sobre las plantas inferiores se apreciaba la estructura de sustentación del nuevo muro cortina, referida a los pilares metálicos de fachada de las plantas colapsadas, que no habían sido aún ignifugados en el momento de producirse el incendio.

**Fig. 6 Pilares de fachada no ignifugados y montantes de la estructura del nuevo muro cortina**

Los pilares metálicos de fachada de la planta 9 que no habían sido aún ignifugados, se encontraban pandeados de forma generalizada en la mitad Sur del edificio.

**Fig. 7 Pilares metálicos de fachada pandeados en planta 9ª**

Los pilares de hormigón presentaban daños aparentes muy diversos, desde un aspecto engañosamente sano hasta un importante desprendimiento del hormigón en los lados cortos de la sección, dejando dos capas de armadura al descubierto. En alguna ocasión se apreciaba la existencia de redes de fisuras, bien marcando las armaduras, bien inclinadas con sentido ascendente hacia fachada.

**Fig. 8 daños en pilares de hormigón**

Con respecto a los perfiles metálicos de las vigas mixtas, las chapas de anclaje a los pilares de los perfiles metálicos estaban dañadas de forma muy generalizada, apareciendo con deformaciones importantes en su zona inferior.

**Fig. 9 Arrancamiento de placas de anclaje de vigas mixtas.**

Posteriormente comprobamos que en la zona en que no habían colapsado los forjados solo una placa de las 24 que pudimos inspeccionar tenía las soldaduras rotas, mientras que el 37,5 % no tenían daños aparentes. Sin embargo, en las plantas 14 (techo de 13), 15 y 16, el 56 % de las placas habían roto las soldaduras de las placas a las barras de anclaje a los pilares, y el resto, salvo una, presentaban la chapa doblada. Por debajo de esas plantas, el 12,5 % de las placas habían roto las soldaduras, y el 47,5 % estaban dobladas.

Además observamos que el revestimiento de protección contra el fuego de los perfiles metálicos de las vigas mixtas se había comportado de forma muy irregular, habiéndose desprendido del patín inferior o del alma de la viga, total o parcialmente en varias ocasiones.

Ante los daños producidos por el incendio tanto en el propio edificio como en edificios y zonas urbanas aledañas, el Excmo. Ayuntamiento de Madrid decidió proceder a la demolición del edificio siniestrado. La ubicación del edificio, en el corazón financiero de Madrid y la trascendencia urbanística y social de la extensión y ubicación de la zona afectada por las medidas de protección para las personas y bienes colindantes que fue preciso adoptar, obligaban a efectuar esta demolición en un tiempo record, especialmente teniendo en cuenta que los

condicionantes de seguridad impedían que dicha demolición fuera efectuada con presencia de personas en el interior del edificio, y era obligado efectuar todas las operaciones desde el exterior del edificio.

Para poder proceder a una obra de esta magnitud era necesario diseñar un procedimiento de auscultación de daños suficientemente preciso y rápido, con el fin de detectar las zonas de mayor riesgo y orientar en las medidas de seguridad adicionales a adoptar en puntos concretos. Por otra parte, la estructura era un campo de experimentación excepcional para analizar el efecto real del fuego en edificios en altura de hormigón armado, y era preciso aprovechar una ocasión tan extraordinaria, pese a los condicionantes que introducían las estrictas medidas de seguridad y el muy acelerado ritmo de demolición.

# 4 Investigación del comportamiento de los materiales

## 4.1 Metodología empleada

### 4.1.1 Planteamiento teórico

El procedimiento empleado para determinar rápidamente y con seguridad suficiente la amplitud de los daños en el hormigón se basa en que en los pilares existe un núcleo de hormigón no afectado por el fuego, una capa externa de espesor relativamente reducido en la cual el hormigón podía considerarse totalmente destruido y una zona intermedia de hormigón dañado. Con respecto a cómo varía la velocidad de propagación de los ultrasonidos en las diferentes zonas, puede admitirse que la variación con respecto a la velocidad inicial en el hormigón antes del incendio ($V_{ref}$) es pequeña en las zonas en que no se han alcanzado los 200/250 ºC, cayendo bruscamente al alcanzarse esa temperatura hasta alcanzar valores muy bajos (del orden de 700/800 m/s) en las zonas en que se han alcanzado temperaturas del orden de los 700 ºC.

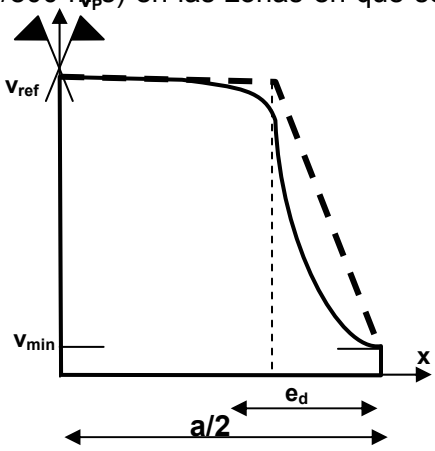



**Fig. 10 Distribución de velocidades en el espesor del pilar.**

En una sección rectangular atacada uniformemente por ambas caras, la determinación del espesor en que se han alcanzado temperaturas superiores a 200/250 ºC y por consiguiente ha podido quedar afectada la adherencia hormigón–acero sería inmediata a partir únicamen-

te el valor del tiempo de recorrido total de la pulsación si se conociera con precisión la forma de ley de distribución de velocidades, pues

$$T = 2 \cdot \left( \frac{e_d^2}{\int_0^{e_d} V(x) \cdot dx} + \frac{a/2 - e_d}{V_{ref}} \right) = 2 \cdot \left( \frac{e_d}{V_{med}} + \frac{a/2 - e_d}{V_{ref}} \right) \quad (1)$$

La ley de distribución de velocidades de pulsación en las diferentes zonas es desconocida para cada caso particular, pero pueden hacerse algunas aproximaciones que permitan obtener datos suficientes para la toma de decisiones del lado de la seguridad.

La primera aproximación es admitir que la distribución de velocidades es lineal, con lo cual:

$$e_d = \frac{1}{2} \frac{V_{ref} + V_{\inf}}{V_{ref} - V_{\inf}} \left( T \cdot V_{ref} - a \right) \quad (2)$$

Esta aproximación queda muy del lado de la seguridad, pero es útil para discriminar aquellos elementos que no han quedado afectados de forma significativa en su capacidad mecánica. Para mejorar la aproximación, es necesario establecer alguna hipótesis sobre la distribución de temperaturas en el interior de las piezas.

Para ello, comenzamos por efectuar un análisis teórico de las temperaturas presumiblemente alcanzadas durante el incendio. El problema fundamental estaba en que se tenía una absoluta carencia de datos tanto sobre la carga de fuego y su distribución en las diferentes zonas como de la ventilación que producía la rotura de los vidrios de los muros pantalla de fachada, y no había tiempo de realizar determinaciones que permitieran una evaluación de esos parámetros. Esta circunstancia obligó a realizar un estudio paramétrico que permitiera acotar la influencia de esos aspectos en la distribución de las temperaturas alcanzadas en el interior de los pilares, y a su vez de esta distribución en la forma de la curva de distribución de velocidades de pulsación en el interior del elemento. Finalmente decidimos considerar como casos extremos cargas de fuego de 1825 MJ/m² (Archivos) y de 510 MJ/m² (Oficinas), en ambos casos extendida a toda la superficie de planta, y de un colapso del muro cortina que afectara al 30 % y al 65 % de la superficie de la fachada.

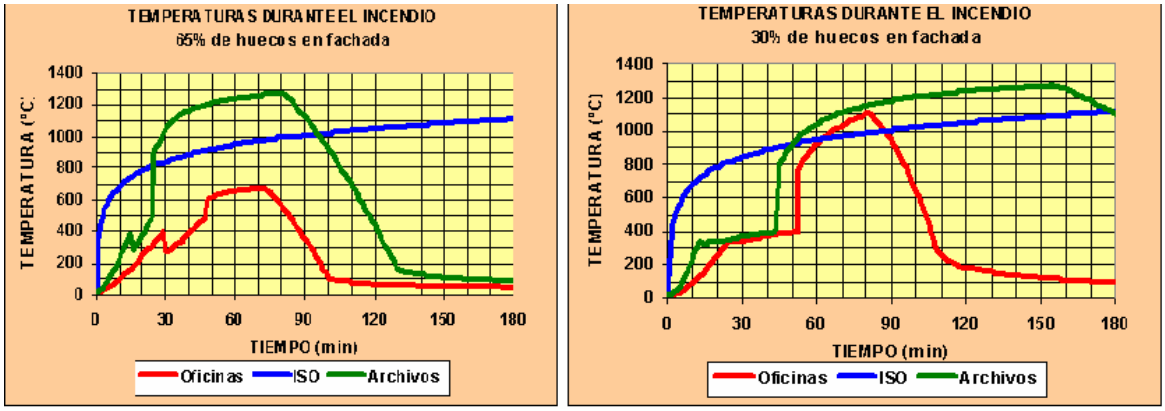



**Fig. 11 Temperaturas producidas por los fuegos paramétricos considerados comparadas con ISO 834**

A continuación, la idea era determinar teóricamente las isotermas en el interior de los pilares e intentar evaluar la forma de la función V = V(x) de la velocidad de pulsación con la profundidad en cada una de las hipótesis, y con ello obtener un valor aproximado del espesor de la capa en que se hubieran alcanzado los 500 ºC de temperatura a partir únicamente del valor del tiempo de recorrido a través de toda la sección, T.

### 4.1.2 Determinaciones y ensayos realizados

El trabajo comenzó por una toma de datos en obra, que consistieron en un reconocimiento general de los daños existentes, una medida de los recubrimientos de armaduras en 212 puntos de 46 tramos de pilar repartidos 11 plantas y una campaña de determinación de la velocidad de pulsación en 372 puntos de 139 elementos diferentes a lo largo de todas las plantas.

**Fig. 12 Determinaciones en obra: medida de recubrimientos y reconocimiento ultrasónico**

A continuación procedimos a la extracción de 21 probetas testigo del hormigón en elementos verticales de 7 plantas no dañadas por el incendio y otras seis en dos de las plantas dañadas. Una vez comenzados los trabajos de demolición, y al no poderse efectuar la extracción de muestras en el edificio con seguridad adecuada, procedimos a completar los datos obtenidos mediante la extracción de 22 nuevas muestras sobre elementos ya desmontados.

**Fig. 13 Extracción de probetas–testigo en el interior del edificio y en elementos ya desmontados**

Sobre las muestras obtenidas en elementos De estos testigos se separaron seis ejemplares para ser tratados térmicamente en horno. Cada uno de estos ejemplares se talló en dos muestras, de las cuales una de ellos, que serviría como comparación, se secó manteniéndola en horno a 50 ºC durante 16 horas, mientras que las restantes se trataron manteniendo durante seis horas dos de ellas a 400 ºC, otras dos a 500 ºC y las dos restantes a 700 ºC.

Los restantes testigos fueron tallados en tres segmentos, de la forma que se indica en la figura nº 14. La primera de las lajas corresponde a la zona externa, más afectada por el fuego. En principio, estaba previsto que esta zona tuviera una longitud de 20 mm, aproximadamente, si bien en algunos casos el corte estuvo condicionado por la presencia de armaduras o el mal estado del testigo. La muestra interna se procuró centrar, aproximadamente, con el plano medio del elemento ensayado, y su longitud sería función de los resultados del análisis, correspondiendo a la zona presuntamente sana según el método empleado. La muestra restante, numerada como 1, tiene una longitud condicionada por las anteriores, y corresponde a la zona intermedia, que, según los casos, debe estar más o menos dañada.

**Fig. 14 Ensayos de hormigón: medidas de ultrasonidos, tratamiento térmico y ensayo a compresión**

Tras la preparación descrita, procedimos a la medida de la velocidad de propagación de ultrasonidos en cada una de las muestras preparadas, y al refrentado y ensayo a compresión de todas aquellas muestras cuya longitud y estado lo permitían.

## 4.2 Resultados obtenidos

El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos en la medida de los recubrimientos de la armadura en pilares. Puede verse que el valor medio es suficiente para una REI de 120 minutos según EN 1992-1-2

**CUADRO Nº 1**

**RECUBRIMIENTOS DE LA ARMADURA DE LA CAPA EXTERIOR EN PILARES**

| CONCEPTO | RECUBRIMIENTO (mm) |
|---|---|
| Valor máximo | 95 |
| Valor mínimo | 18 |
| Valor medio | 52,5 |
| Desviación típica | 14,9 |
| Límite superior al 90% | 72 |
| Límite inferior al 90% | 33 |

La siguiente figura muestra el resultado de los ensayos efectuados tras el tratamiento térmico de las probetas. El descenso medio de la resistencia del hormigón se ajusta bien a lo previsto en el Eurocódigo EN-1992-1-2 para hormigones de áridos silíceos y el descenso en la velocidad de propagación se ajustaba también bien con los resultados de Malhotra para una temperatura de 700 ºC, pero la velocidad de pulsación medida resultó ser hasta un 35 % superior a lo esperado en las probetas tratadas a 400 ºC.

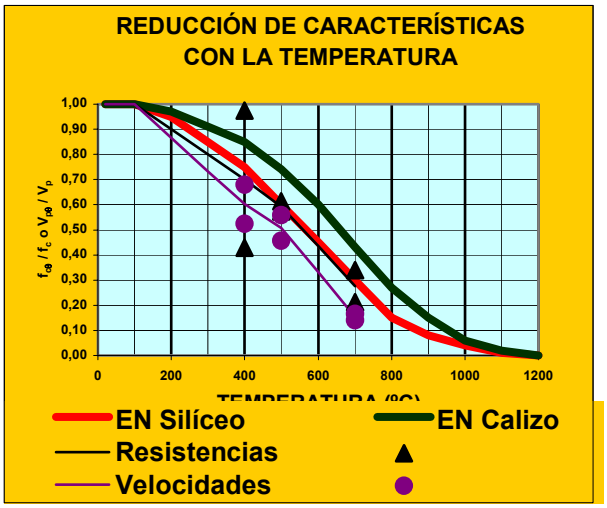



**Fig. 15 Resultados de ensayo de las probetas sometidas a tratamiento térmico**

A partir de estos resultados y de la determinación de las isotermas en la sección tipo de los pilares de la forma explicada anteriormente, observamos que el resultado de la estimación del espesor de hormigón dañado variaba relativamente poco entre las distintas hipótesis (± 10%),

llegando a la conclusión de que el análisis podía efectuarse con suficientes garantías de seguridad admitiendo que la variación de la velocidad de propagación de los ultrasonidos se distribuía en tres zonas:

- Una primera zona exterior, de un espesor aproximado del 2,5% de la profundidad total en la que el cálculo indicaba que se podían haber alcanzado temperaturas superiores a 100 ºC en la cual la velocidad de pulsación se supone constante e igual al 7% de la velocidad de referencia

- Una segunda zona, de un espesor aproximado del 35% del espesor total afectado en que la velocidad de pulsación varía con la temperatura alcanzada, y en la que admitimos una variación dada por el diagrama bilineal representado en la figura 15.

- Una zona central, en que la velocidad de pulsación de referencia no se ha visto alterada sensiblemente.

La velocidad de pulsación en el núcleo presuntamente no afectado se determinó a partir de las medidas efectuadas en las plantas no afectadas, tras corregirlas ligeramente a partir de los valores obtenidos en el núcleo de las probetas – testigo extraídas de esas mismas plantas y tratadas térmicamente a 50ºC durante 16 horas para simular el efecto de desecación producido por el incendio.

Determinados así los espesores teóricos de hormigón dañado, se tallaron las muestras extraídas de las plantas afectadas para eliminar esta capa dañada y se ensayaron a compresión los fragmentos presuntamente sanos. Los resultados de ensayo, comparados con los resultados obtenidos en plantas no afectadas por el incendio se muestran en el cuadro nº 2.

**CUADRO Nº 2**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN LA ZONA DEL NÚCLEO DEL PILAR**

| CONCEPTO | PLANTAS NO AFECTADAS (MPa) | PLANTAS AFECTADAS (MPa) |
|---|---|---|
| Valor máximo | 49,5 | 46,6 |
| Valor mínimo | 25,8 | 19,6 |
| Valor medio | 35,1 | 32,6 |
| Desv. típica (Coef. Var.) | 6,76 (19%) | 5,87 (18%) |
| Límite superior al 95% | 46,2 | 42,3 |
| Límite inferior al 95% | 23,9 | 22,9 |

Los resultados que se reflejan en el cuadro anterior implican que estadísticamente no puede considerarse, con el 95 % de nivel de confianza, que exista diferencia significativa ni en la media ni en la desviación típica entre la población formada por las muestras sacadas de las plantas afectadas, incluso tras su desmontaje, y la constituida por los testigos extraídos de

elementos no afectados por el incendio, lo que supone que el método de estimación se comportó de forma satisfactoria.

En la figura 16 representamos los valores obtenidos en la estimación realizada de la profundidad de la capa de hormigón en la que la resistencia a compresión ha podido verse afectada de forma irreversible.

## 5 Conclusiones

Los ensayos y estudios realizados por INTEMAC han permitido:

- Utilizar los medios más adecuados para proceder a la demolición, justificando que la capacidad residual de la estructura permitía emplear los equipos utilizados, y previniendo de las zonas de alto riesgo – aunque en este caso dicho término pueda parecer un contrasentido, pues toda la operación podría considerarse como de alto riesgo – para poder actuar sobre ellas con las máximas precauciones.

- Diseñar las medidas de seguridad adicionales para actuar con suficientes garantías en las zonas más conflictivas y minimizar así el riesgo de accidentes.

- Diseñar y comprobar un método de estimación mediante ensayos no destructivos de la profundidad alcanzada por la capa de hormigón dañada por el fuego en su capacidad resistente.

Entre las enseñanzas que hemos obtenido del estudio realizado queremos destacar las siguientes:

El comportamiento de la estructura de hormigón del edificio Windsor al enfrentarse a un incendio severo ha sido extraordinariamente positivo, y claramente más favorable del que hubiera sido esperable por aplicación estricta de la normativa vigente para estructuras de hormigón. En cuanto a los elementos metálicos ha quedado manifiesta, una vez más, la necesidad de un correcto ignifugado para garantizar su comportamiento en situación de incendio.

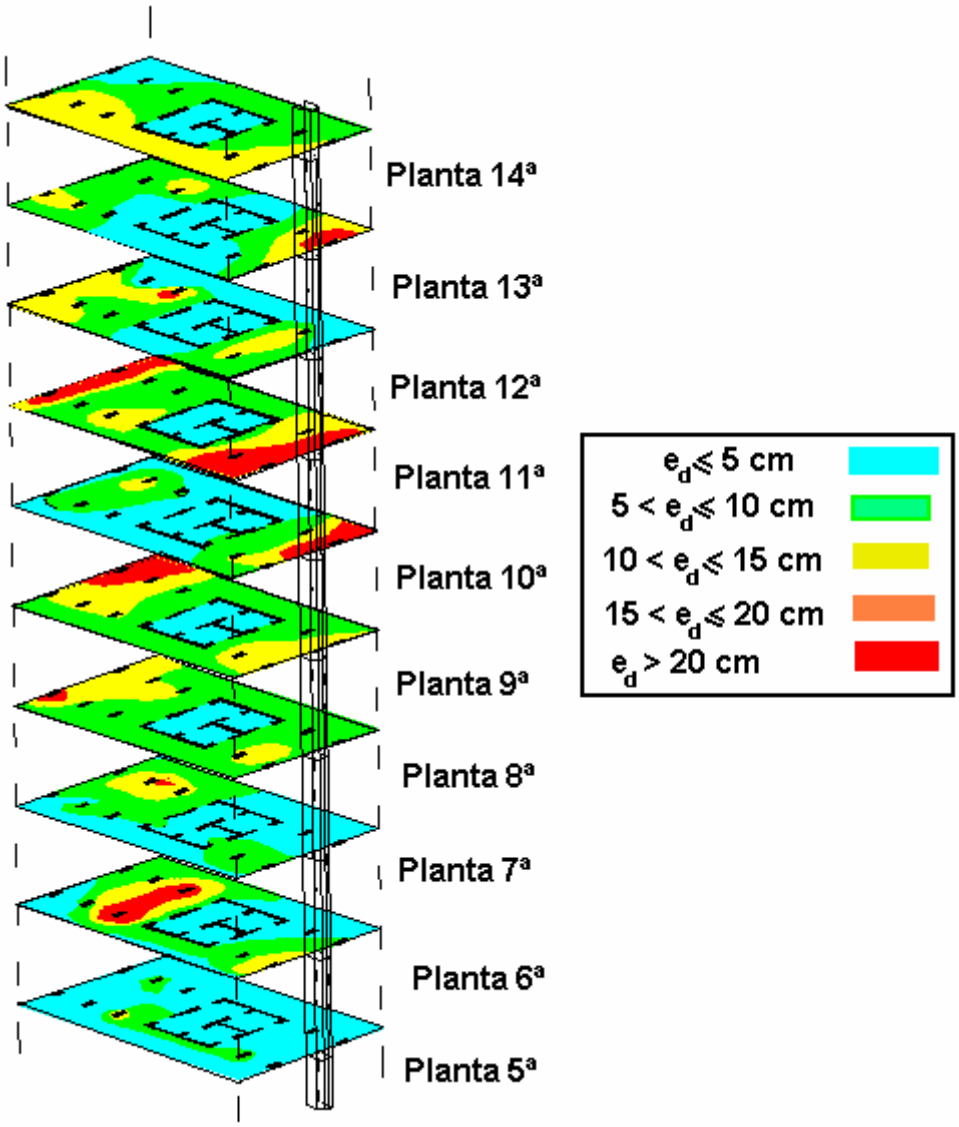



**Fig. 16 estimación de los espesores de hormigón dañado en cabeza de pilar en las distintas plantas**

Aunque no es posible, evidentemente, asegurarlo con rotundidad, consideramos muy verosímil, dado el correcto comportamiento de estos elementos en las plantas en que ya se encontraban ignifugados, que si el incendio se hubiera producido una vez que se hubiera terminado de colocar la protección de la estructura contra el fuego en las plantas superiores, no se hubiera ocasionado el colapso de estas plantas, y las consecuencias del siniestro hubieran sido claramente menos destructivas.

Existe una neta diferencia entre el diseño de una estructura para el cumplimiento de las exigencias de seguridad contra incendios y la peritación de la capacidad de esa estructura una vez extinguido el incendio.

La normativa actual está diseñada para evaluar el comportamiento de los elementos estructurales durante el incendio, teniendo en cuenta, entre otros detalles, la seguridad de los

equipos de extinción. Tanto las referencias a las curvas normalizadas de tiempo – temperatura como los ensayos de validación normalizados para elementos prefabricados o sistemas de construcción y/o protección se realizan con temperaturas crecientes, hasta la máxima temperatura del gas prevista. Sus resultados no tienen en cuenta, por ello, los fenómenos que se presentan durante la fase de enfriamiento de la estructura.

Es absolutamente fundamental asegurar el correcto ignifugado de las piezas metálicas de las estructuras mixtas y su mantenimiento, con el mismo cuidado que si se tratara de estructuras totalmente metálicas, pues la muy diferente velocidad de enfriamiento entre los elementos metálicos y de hormigón se traduce en deformaciones diferenciales muy importantes entre ambos, que pueden producir, durante la fase de enfriamiento, la rotura de los anclajes de las piezas de apoyo – como hemos verificado en nuestro caso – o la presencia de solicitaciones de gran importancia en los conectadores de las vigas mixtas.

En las estructuras de hormigón, el calentamiento hacia el interior de la pieza prosigue durante la fase de extinción, hasta mucho después del instante de la máxima temperatura del gas, aunque comience a disminuir la temperatura de las capas exteriores. Aunque durante la fase de enfriamiento parte del hormigón va a recuperar una fracción importante de su capacidad, dependerá de cada caso particular si la situación final va a ser o no más desfavorable que la existente en el momento de máxima temperatura del gas, y este aspecto está actualmente poco analizado.

Es absolutamente imprescindible cuidar los sistemas que limitan la propagación del fuego entre sectores de incendio. La existencia de varias plantas consecutivas incendiadas limita drásticamente el enfriamiento del ambiente por aporte de aire exterior, pues el aire aportado entra a alta temperatura y viene enrarecido, por lo que el efecto del factor de ventilación disminuye dramáticamente, como hemos comprobado en nuestro caso. El resultado es un incremento tanto de la temperatura máxima como del tiempo de duración del incendio.

**AGRADECIMIENTOS**

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) desea agradecer a INDAGSA, oficina técnica asesora de las obras de demolición y a la empresa adjudicataria de dichas obras, CONSTRUCCIONES ORTIZ S.A. la confianza depositada, que ha permitido realizar las investigaciones descritas en esta publicación. Conste en particular nuestro agradecimiento al Director General de INDAGSA, D. José Luis Cano Muñoz, por el apoyo constante a nuestro trabajo y a los técnicos de CONSTRUCCIONES ORTIZ S.A D. José Antonio García de Miguel, D. José Ignacio Fandiño, Dª. Silvia López Cavero y D. Miguel Ángel García Montserrat, que velaron por la seguridad de todo el personal interviniente en estos trabajos.

Asimismo, deseamos agradecer a los Servicios Técnicos del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid, en especial a D. Emilio García de Burgos, Arquitecto Director Facultativo de las Obras de demolición, las facilidades proporcionadas en todo momento para la ejecución de las tareas realizadas en el edificio siniestrado.

## REFERENCIAS


1. Anderberg, Y. y Thelandersson, S. Stress and deformation characteristics of Concrete at high temperatures. Lund Institute of Technology, Division of Structural Mechanics and Concrete Construction. Boletín 54´. Lund 1974.
2. Anderberg, Y. y otros autores Behaviour of Steel at high temperatures. RILEM. Comité 44-PHT. Febrero 1983.
3. Anderberg, Y. y Forsén, N. E. *Fire resistance of concrete structures*. The Nordic Concrete Federation. Publ. Nº 1. Oslo 1982.
4. Calavera, J. Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. INTEMAC, Madrid 1996.
5. Kordina, K. y otros autores. Design of Concrete Structures for Fire Resistance. *Boletín de información del CEB* 145. París, Enero 1982.
6. Kordina, K. y otros autores. Fire Design of Concrete Structures". *Boletín de información del CEB* 208. París, Julio 1991.
7. Malhotra, H. L. *Design of fire resistance structures*. Chapman & Hall, Nueva York 1.982
8. Pettersson, Magnusson, Thor, *Fire Engineering Design of Steel Structures*, Swedish Institute of Steel Construction, Stockholm 1976.
9. Tovey, A. K. *Asessment and repair of fire-damaged structures – An update*. En ACI sp 92 Evaluation and repair on fire damaged to concrete, 1.986.
10. Wainman D.E., Kirby B.R Compendium of UK Standard Fire Test Data. Unprotected Steel 1.British Steel Corporation 1988.
11. Marc L. Janssens, *An Introduction to Mathematical Fire Modeling, 2nd edn.*; Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, USA,
12. A. Ptchelintsev, Y. Hasemi et M. Nikolaenko, *Numerical Analysis of Structures Exposed to Localized Fire, First Int*. ASIAFLAM Conf. at Kowloon, Interscience Communications Ltd, London, 539-544, 1995
13. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, 2nd Edition, 1995.
14. M. Curtat, P. Fromy; Prévision par le calcul des solicitations thermiques dans un local en feu, NAT, *Cahiers du CSTC, livraison 327, cahier 2565*, mars 1992
15. J. M. Franssen, Contributions à la modélisation des incendies dans les bâtiments et de leurs effets sur les structures, Thèse d'agr. de l'ens. sup., F.S.A., Univ. of Liege, 1997.

Seminario S4

# Industrialización y prefabricación de elementos estructurales de hormigón

# EMPLEO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE EN PREFABRICACIÓN

Hugo Lasala Alonso
Responsable I+D+i , Grupo Prainsa

## 1 Breve presentación del Grupo Prainsa

El Grupo Prainsa cuenta con más de 35 años de historia y ha experimentado desde sus comienzos un crecimiento fuerte y continuo, siendo Zuera (Zaragoza) el lugar elegido para crear el primer centro productivo en 1973, donde además se encuentran las oficinas centrales.

En la actualidad la plantilla es de más de 2500 personas y la facturación anual de más de 300 millones de euros. Prainsa está en disposición de ofrecer a sus clientes un servicio completo para la solución de sus proyectos a través de sus diferentes áreas de negocio:

- Edificación industrial, centros productivos, centros comerciales, naves de logística
- Edificios singulares con acabados y formas especiales, vivienda industrializada, bodegas, oficinas, etc.
- Grandes obras de infraestructura, puentes, viaductos, pasarelas, pasos superiores...para peatones, tráfico de carretera y ferrocarril, Prainsa-Alvisa se puede considerar como el principal productor de vigas de Europa y cuenta con numerosas patentes de soluciones técnicas.
- Traviesas de hormigón pretensadas para Renfe y Adif.

El grupo se ha convertido en uno de los principales grupos prefabricadores del mundo, contando con 10 fábricas en España, 3 en Francia (Eurobeton y Morin Systems Architectonique), 2 en Chile (Prefabricados Andinos Preansa) y participación en Astori (Argentina), actualmente se encuentra en proceso de instalación de nuevas plantas internacionales, la más avanzada en Arabia Saudita. A parte cuenta con empresas auxiliares para el montaje (Plomada S.L), auto grúas de gran capacidad (Tecno Truck S.L), transporte (Zufarienses S.L), moldes metálicos y centrales hormigoneras (Moldimetal), la constructora Conavinsa y una empresa para cubiertas (Teulades S.L).

Sus 10 fábricas nacionales produjeron durante el año 2005 más de 350.000 $m^3$ de hormigón prefabricado. Todas cuentan con el certificado de calidad IQNet-AENOR ISO 9001, además las fábricas que producen forjado alveolar poseen el certificado de producto CIETAN y las plantas de tratamiento de áridos propias que abastecen a dos fábricas ya cuentan con el marcado CE de áridos.

Prainsa apuesta por el avance tecnológico, por ello posee un Área de I+D+i que gestiona toda la actividad I+D+i del grupo, orientada a desarrollar tecnología propia, así como a adoptar las tecnologías más modernas de producción, control y materiales existentes en el sector.

# 2 Implantación del hormigón autocompactante en Prainsa

El proceso de implantación de este exigente y novedoso hormigón en los diferentes centros productivos del grupo, se puede marcar por tres hitos fundamentales:

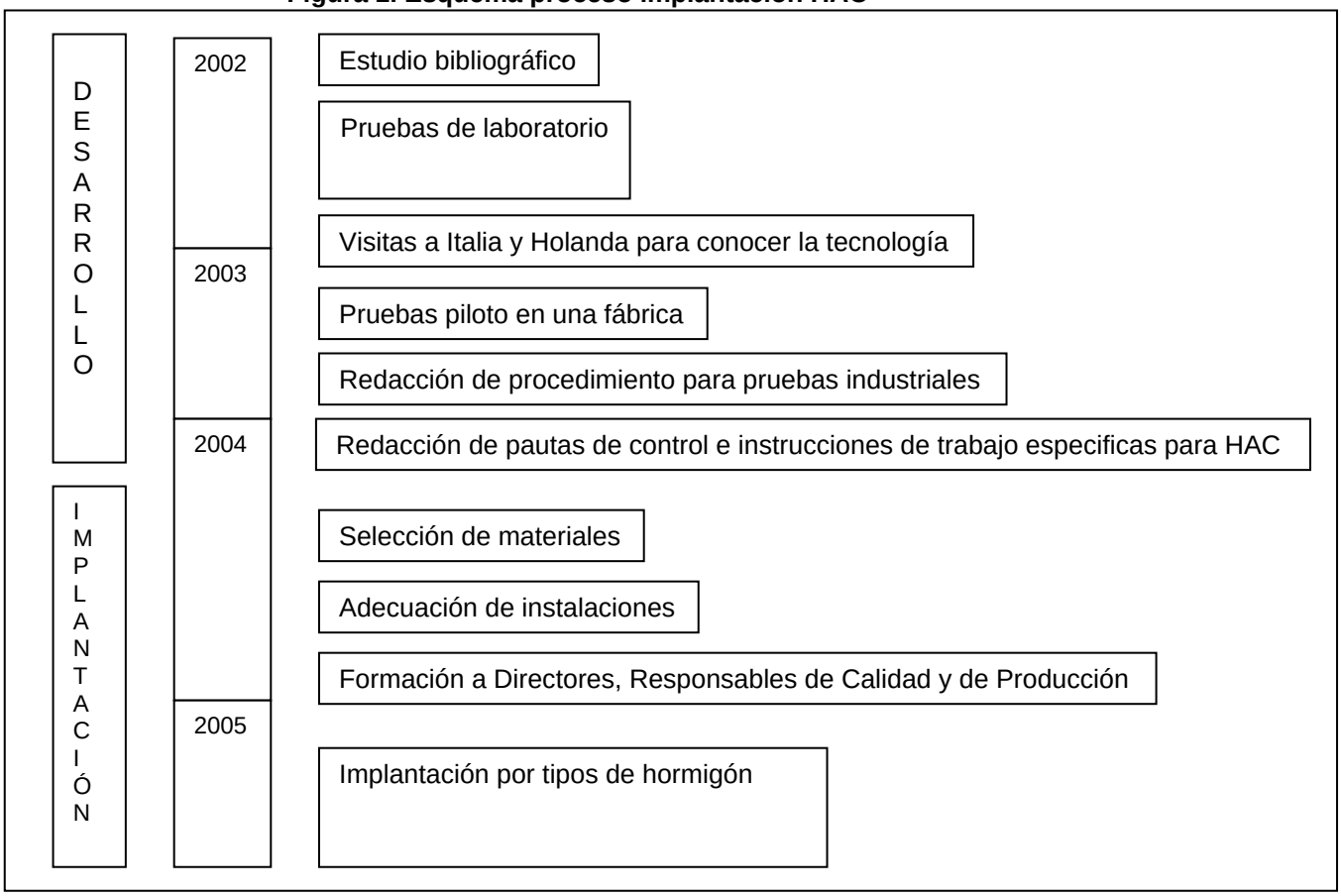
- Marzo 2002: Tras el incremento de publicaciones tecnológicas sobre HAC, se comienza a realizar las primeras pruebas de laboratorio para obtener mezclas con los distintos superfluidificantes disponibles en el mercado, arenas correctoras y filler.

- Febrero 2003: Se efectúan las primeras pruebas industriales en pilares armados, se observan las limitaciones de las instalaciones.

- Junio 2003: Se reanudan las pruebas industriales y se comienza la implantación del HAC en todas las fábricas del grupo.

Un esquema del proceso se muestra en el diagrama de la Figura 1, donde se pueden distinguir dos fases fundamentales, desarrollo e implantación. La fase de desarrollo es común para todo el grupo y la fase de implantación es específica para cada fábrica.

**Figura 1. Esquema proceso implantación HAC**




Todo el proceso incluida la implantación en fábricas fue coordinado por el Área de I+D central, de este modo se aseguró una correcta documentación de las pruebas, la aplicación de criterios comunes y difusión de la información y del conocimiento adquirido en cada prueba a todas las fábricas.

Actualmente están desarrollados en todas las fábricas hormigones autocompactantes de resistencias características 30, 40, 50 y 60 MPa con cementos grises tipo I 52.5 R, 52.5 N/SR, 42.5 R/SR, cementos blancos tipo I 52.5 R y 42.5 R. Todos estos hormigones son empleados en las secciones de armado, pretensado y hormigón no estructural correspondientes y son controlados mediante el Departamento de Calidad Central según el Sistema de Calidad del grupo.

# 3 Requerimientos del autocompactante según aplicación

En función del tipo de piezas a hormigonar, es necesario trabajar en un punto óptimo de fluidez y viscosidad para el hormigón, que permita realizar una buena puesta en obra y obtener un buen acabado, a parte se tiene en cuenta la densidad de armadura de la pieza y su altura.

A modo orientativo se indica en la Tabla 3.1 una serie de rangos de trabajo para los valores de escurrimiento y t50 mediante cono Abrams y el de tiempo medido mediante el embudo V Funnel, que son dos de los múltiples ensayos recomendados para caracterizar las propiedades del HAC. En concreto el ensayo de escurrimiento es el más operativo y sencillo de realizar a modo de control de producción, tanto por la poca cantidad de hormigón que requiere y su consiguiente rapidez de ejecución, como por la cantidad de información que ofrece si se realiza correctamente el ensayo, ya que se puede comprobar si hay indicios de segregación al observar la homogeneidad y la existencia o no de lechada, en el frente de la torta formada.

**Tabla 3.1. Requerimientos para hormigón fresco**

| HAC (MPa) | SECCIÓN TÍPICA | PIEZAS | Ecurrimiento (cm) | T50 (s) | V Funnel (s) |
|---|---|---|---|---|---|
| **30** | PANEL | Cerramientos, panel lavado, panel, sándwich, panel arquitectónico | 75-80 | 2-3 | 4-6 |
| **40** | ARMADO | Pilares | 65-70 | 4-6 | 5-7 |
| **50** | PRETENSADO | Jácenas, Vigas, Deltas | 70-72 | 5-7 | 6-8 |
| **60** | PRETENSADO | Jácenas, Vigas, Deltas | 70-72 | 5-7 | 6-8 |

Para asegurar que no se producen desviaciones en las fórmulas de hormigón se efectúa una vez a la semana un ensayo de ausencia de segregación y homogeneidad mediante el método no estandarizado de tubo en U desmontable por código de hormigón, empleado en sus estudios por la Universidad Politécnica de Cataluña.

Como control de calidad interno de los hormigones autocompactantes endurecidos por ser de tecnología emergente, se exigen resistencias características objetivo y resistencias mínimas aproximadamente un 5 % más elevadas que las exigidas, también internamente, al hormigón convencional actualmente empleado en muy pocas tipologías de pieza.

# 4 Fabricación y uso de HAC en prefabricados

Tras las primeras pruebas industriales y la consecutiva implantación del hormigón autocompactante en todas las fábricas del grupo Prainsa, se ha adquirido una serie de criterios sobre las instalaciones y controles necesarios para poder asegurar una producción, automática y regular del HAC, que permita trabajar diariamente sin poner en peligro la calidad del hormigón.

## 4.1 Equipamiento imprescindible para la fabricación

Es muy conveniente el empleo de un filler en lugar de una arena correctora, de este modo se asegura que la cantidad de finos introducida en la fórmula es constante y de calidad muy homogénea entre distintos lotes. Para ello habrá que contar con un silo sellado para el filler, de modo que se evite la presencia de humedad que apelmace el material y se asegure precisión a la hora de dosificarlo, ya que se pesa con la báscula de cemento. También se logra evitar que las partículas de filler contaminen los áridos perjudicando posteriormente su adherencia a la matriz cementicia en el hormigón endurecido.

Debido a la sensibilidad al agua que presentan las fórmulas de HAC, se debe tener un control preciso de la humedad de los áridos, prestando especial atención en las primeras amasadas del día, en los días lluviosos y en las amasadas con arena recién suministrada de la gravera o cantera. Es recomendable poseer al menos sondas de humedad de tecnología microondas en las tolvas de arena.

Para asegurar una dosificación precisa de todos los componentes se debe trabajar con básculas de agua, áridos y cemento que aseguren un error menor al 1 % y los contadores de aditivo un error menor al 0.5 %. Tanto para el aditivo como para el cemento es necesario disponer sistemas redundantes de pesaje, ya que son los materiales que más afectan a las propiedades del hormigón fresco y endurecido respectivamente.

Un vatímetro medidor del consumo energético del motor de la mezcladora, si bien no es capaz de medir directamente las propiedades reológicas del hormigón, puede relacionarse a modo de referencia con la fluidez del hormigón, o lo que es lo mismo con su valor en el ensayo de escurrimiento. Por ello es una herramienta útil para el operario de la planta de manera que pueda efectuar pequeños ajustes de agua variando ligeramente la cifra de vatímetro.

Aunque parece bastante lógico, es conveniente asegurar que la solera de la nave en la que se encuentran los moldes a hormigonar con autocompactante tenga una pendiente menor al 3 por 1000. Los moldes a su vez deben tener las juntas bien selladas para evitar fugas de lechada lo que ocasiona nidos de grava en la superficie de las piezas.

## 4.2 Modificaciones necesarias en el proceso de fabricación

El tiempo de amasado una vez dosificados todos los materiales en la mezcladora aumenta ligeramente respecto al del hormigón convencional, dependiendo de la mezcladora puede oscilar entre 60 y 90 segundos más por mezcla, el objetivo es que el aditivo superfluidificante se disperse bien en toda la masa y actúe al 100 % de sus posibilidades. El momento adecuado para dar por terminado el mezclado es cuando la cifra de vatímetro, que desciende tras la adición del agua y del aditivo, alcanza un valor constante.

La técnica de vertido del hormigón deberá ser también ligeramente modificada, siendo importante poder regular la velocidad, la altura y el punto de vertido del hormigón de modo que no se favorezcan fenómenos de segregación por choque violento del mismo contra los moldes o por recorrido de flujo libre excesivo.

La colocación de complementos para manipulación o ensamblaje embebidos en el hormigón también deberá retrasarse ya que pueden sumergirse fácilmente en el hormigón debido a la alta fluidez del mismo.

Impartir formación a todos los operarios que trabajan con el hormigón es fundamental, de modo que se haga comprender bien el fundamento del mismo y se remarquen las diferencias frente al hormigón convencional, incidiendo en el concepto de fluidez y viscosidad.

## 4.3 Recomendaciones generales

A continuación se explica una serie de recomendaciones que si bien no son estrictamente necesarias y en algunos casos tampoco fáciles de realizar para la producción regular de HAC, se entiende que de cumplirse se facilitaría en enorme medida la fabricación del hormigón autocompactante en planta de prefabricado.

Desde siempre la temperatura ambiente elevada ha perjudicado la trabajabilidad del hormigón, este calentamiento afecta a las materias primas, al agua de amasado, máquinas y moldes, el conjunto de estos factores incrementa la temperatura de la mezcla del hormigón y acelera o incluso modifica las reacciones químicas que tienen lugar entre el cemento y el agua. Si en el hormigón convencional vibrado el efecto sobre la trabajabilidad puede llegar a ser problemático, el efecto sobre un hormigón cuya prestación diferenciadora es la capacidad de autocompactarse está aún más patente. Por todo ello cualquier acción encaminada a controlar y regular la temperatura del hormigón será beneficiosa para el proceso de fabricación. Las medidas necesarias pueden ser: apantallamiento de silos y tolvas, empleo de agua fría y evitar hormigonar sobre moldes soleados.

Para regular la humedad de la arena sería beneficioso poseer stock de arena protegido en la planta, de este modo se podría emplear siempre arena con una humedad comprendida entre 5 y 6%, bastante adecuada para el hormigón autocompactante.

Para disminuir tiempo de amasado y obtener la máxima homogeneidad posible en el hormigón, es recomendable el empleo de mezcladoras de alta energía de mezcla, como pueden ser las de contracorriente, si no se dispone de este tipo de mezcladoras se corre el riesgo de que debido a la fluidez y viscosidad del hormigón la energía de mezclado no se transmita bien y el aditivo no se disperse correctamente fluidificando al máximo de su capacidad. Un síntoma de esta falta de mezclado es la aparición de grumos de cemento, filler y arena sin humedecer.

Para controlar la etapa de vertido del hormigón sobre el molde como ya se ha dicho, es útil disminuir la apertura de repartidores y canjilones, aún mejor es si se puede regular mecánicamente la luz de abertura.

La influencia de las materias primas en las condiciones de autocompactabilidad es considerable: la composición química del clinker, finura del cemento, finura y granulometría del filler, distribución granulométrica de arena y grava, cantidad de residuo seco del aditivo superfluidificante. Todos estos parámetros y su interacción entre sí, influyen en la fluidez, viscosidad y por tanto movilidad, capacidad de paso y resistencia a la segregación del hormigón. Por ello sería importante que los proveedores de las materias primas avisaran al fabricante de hormigón si se produce algún cambio en las características de sus materiales, un aviso a tiempo permitirá prestar especial atención a las primeras amasadas a fabricar con la

materia prima modificada recibida y ajustar la fórmula ligeramente para compensar ese efecto. Uno de los métodos es que el prefabricador mediante especificaciones de compra exija ciertas condiciones de suministro, constancia entre diferentes lotes y que defina un rango de variabilidad admisible para ciertos parámetros que previamente ha estudiado cuánto le influyen en el hormigón autocompactante, en caso de cambiar exigir ser informado.

## 4.4 Consideraciones previas a la producción

Antes de comenzar a producir hormigón autocompactante y en el caso de que se vaya a diseñar una planta nueva, conviene tener en cuenta las exigencias de éste hormigón y qué factores afectan a su calidad en estado fresco. Primero hay que tener presente que ±10 litros de agua por $m^3$ pueden variar en 4 cm el valor del ensayo de escurrimiento, lo cual implica que esos 10 litros de agua pueden ser la diferencia entre el hormigón óptimo para la aplicación o no, influyendo por tanto en el acabado superficial y causando en caso de exceso ligera exudación superficial.

El empleo de un vatímetro, como ya se ha explicado es una herramienta útil y necesaria pero es importante saber que una cifra de vatímetro no va a ser constante a lo largo de las semanas, ni siquiera a lo largo del día, ya que su valor estará influido por las variaciones de la red eléctrica. Por tanto un valor puede ser el valor consigna durante unas horas de amasado consecutivo, pero habrá que controlar visualmente el hormigón con relativa frecuencia para asegurar que la consigna sigue siendo válida.

El orden de carga de los materiales en la mezcladora también influye siendo la secuencia más recomendable: áridos, filler, cemento, agua gruesa, aditivo y agua de afino si es necesaria.

Es también conveniente el empleo de máquinas mezcladoras-dosificadoras automáticas y autorreguladas para alcanzar cifras consigna de vatímetro. Prainsa emplea tecnología SCADA propia para controlar y supervisar todo el proceso, de modo que no se permita superar una relación agua/cemento fijada y salten alarmas al superarse las tolerancias marcadas para tiempos de carga y descarga o los valores consigna en el peso de cada material. Este sistema es programado de manera específica para cada máquina en función del tipo de instalaciones y dispositivos con las que cuenta y es a su vez supervisado por el encargado de Calidad de cada fábrica y por el Área de Electrónica y Automática.

La variación en los finos de la arena es bastante habitual, un pequeño cambio como ya se ha mencionado también afecta al hormigón fresco, por ello puede ser necesario corregir disminuyendo arena y aumentando grava unos ± 50 $Kg/m^3$, otra opción puede ser variar el filler en unos ± 10 $Kg/m^3$. Si estas modificaciones son notables en el hormigón, será por tanto importante asegurar que se tienen medios apropiados para dosificarlos con precisión.

Es también importante ejecutar el hormigonado lo antes posible desde el momento en que se ha terminado el amasado del mismo, puede ocurrir que en 30 minutos el hormigón ya no tenga las propiedades de autocompactabilidad, por ello se debe evitar mantener el hormigón en la mezcladora o esperando a ser vertido en canjilones o repartidores, el problema se agrava lógicamente en verano o con temperaturas superiores a 27 ºC, prestar atención a los cambios de turno.

En cuanto a la presión del hormigón sobre los moldes es mejor considerar la presión hidrostática, por ello habrá que reforzar moldes.

# 5 Ventajas al emplear HAC

A pesar de los requisitos para fabricar éste exigente hormigón y el coste de la fórmula de hormigón por $m^3$ sea en torno a 9 € superior, las ventajas siguientes compensan con creces el esfuerzo y el sobrecoste económico:

- El ambiente de trabajo mejora enormemente al eliminar radicalmente el fuerte ruido que produce el proceso de vibrado, por tanto se disminuyen accidentes laborales y se previenen riesgos de pérdida de audición y los derivados de trabajar continuamente con equipos en vibración como dedos blancos o lesiones articulares.

- El tiempo de puesta en obra disminuye y la productividad aumenta. La mano de obra necesaria para el proceso de hormigonado es menor, pudiéndose emplear los recursos en otras tareas como preparación de moldes y armadura.

- El acabado superficial de las piezas y su compacidad mejoran, por ello su durabilidad se ve incrementada y los costes de no calidad y de repasos previa expedición a obra disminuyen.

- La gran trabajabilidad del hormigón permite el moldeo de moldes complejos y piezas con armaduras densas.

- Los gastos de mantenimiento de moldes, vibradores, compresores, equipos de amasado y de reparto de hormigón disminuyen o desaparecen.

# 6 Futuro del HAC en Prainsa

El departamento de I+D de Prainsa está trabajando en:

- Hormigón autocompactante de alta y ultra alta resistencia, ligero estructural y bombeado.

- Desarrollo de nuevos sistemas de control de humedad y control del proceso de amasado integrados mediante la tecnología SCADA propia empleada en todas las centrales hormigoneras.

- Estudiar la compatibilidad entre diferentes materias primas como el trinomio cemento-filler-aditivo.

- Establecer sistemas de controles de recepción rápidos y eficaces para detectar variaciones en las materias primas que puedan afectar al HAC.

# 7 Conclusiones

El hormigón autocompactante ha sido en los últimos años el mayor avance en la tecnología del hormigón, por tanto para aprovechar al máximo sus ventajas se debe considerar como un material tecnológico y de altas prestaciones. Prainsa considera necesaria la tecnificación del sector y la producción responsable del hormigón, ya que el futuro pasa por el empleo de hormigones cada vez de mayores prestaciones y por tanto la tecnología de fabricación debe mejorar a la par que la tecnología de materiales.

# ACABADOS EN ELEMENTOS PREFABRICADOS

David Fernández-Ordóñez Hernández
Dr. Ingeniero de Caminos
Director Técnico de PREFABRICADOS CASTELO, S.A.

La construcción es, en términos generales, un sector muy conservador en lo que respecta a la introducción y aplicación de nuevos métodos y procesos constructivos. Esto es una característica de la construcción desde hace al menos 20 siglos. Desde el uso de la sillería, la mampostería y del hormigón por parte de los romanos poco han cambiado los procesos constructivos hasta el Siglo XIX. Con la industrialización, fundamentalmente con las estructuras de acero y medio siglo más tarde con el hormigón, se inició un cambio radical en las técnicas constructivas.

En la actualidad la construcción está poco a poco añadiéndose a los sectores industriales en lo que respecta a la utilización de nuevas técnicas, materiales y procesos. Sin embargo hay voces dentro del mundo de la construcción que son críticas con el grado de implantación de las mejoras en este sector. Un reconocido proyectista ha calificado recientemente al sector constructor como: muy poco innovador, anti-innovador, enfocado a cobrar la mas posible lo antes posible, pagar lo menos posible, lo mas tarde posible y una clara tendencia hacia la destecnificación. Sin embargo hay otras que voces han defendido su implicación en la innovación.

La prefabricación se encuentra a medio camino entre el sector de la construcción y la industria. La prefabricación usa instalaciones industriales fijas para fabricar elementos que luego serán utilizados en la construcción de estructuras de edificios y puentes. En estas instalaciones industriales se fabrican elementos, en ocasiones de grandes dimensiones, para luego ser ensamblados en la propia obra.

Este hecho tiene grandes implicaciones en todo el proceso constructivo. Se produce el afine de materiales por transporte y montaje, la optimización de las instalaciones, la rotación de medios productivos, la clara mejora de la seguridad en el trabajo, en factoría y obra, el cuidado del medio ambiente mediante el reciclado de materiales y control de residuos.

Dentro de los procesos de fabricación hay ya en plena actividad, dentro del mundo de la prefabricación, muchos tipos de automatizaciones. En este apartado es donde se han introducido con mayor fuerza la aplicación de los procesos industriales comunes en otras partes de la industria.

De hecho las instalaciones para la fabricación de elementos prefabricados se diseñan con distintos conceptos, unos manteniendo el puesto de fabricación fijo, llevando al lugar la mano de obra que debe realizar cada tarea, como se ha realizado de forma tradicional, y otros de forma que es el propio elemento el que se desplaza por la instalación hacia cada puesto donde se realizan las tareas de forma especializada por personal o maquinaria. Este tipo de instalaciones de gran complejidad y de fuerte inversión para su establecimiento permiten mejoras sustanciales de rendimiento de fabricación de elementos estructurales.

**Fig. 1. Edificio con paneles prefabricados de hormigón acabado en gris**

Dentro de la construcción los acabados de las superficies de las estructuras son fundamentales en la apariencia externa final de la obra. En la construcción prefabricada se usan moldes metálicos con vibración externa que permite acabados de hormigón estructural de la mayor calidad, sin juntas de hormigonado. En este momento se están aplicando en la construcción prefabricada hormigones autocompactables. Estos hormigones, mediante un estudio pormenorizado de la granulometría de los áridos y mediante el empleo de fluidificantes de última generación, permiten obtener hormigones que no hace falta vibrar. Se podría decir que se “autovibran”. Como son hormigones muy compactos eliminan las burbujas de aire de la superficie y permiten unos acabados de altísima calidad, siempre que los encofrados que se utilicen sean también de alta calidad.

> *“con esta técnica no añadimos nada, no revestimos con chapados clásicos las preciosas estructuras ...”* Memoria del Proyecto del Puente del Centenario en Sevilla, 1987. JAFO y otros

Con la construcción prefabricada en talleres fijos se aplican habitualmente texturas y acabados especiales. Al trabajar habitualmente con encofrados metálicos se puede obtener una gran precisión en las formas. Se pueden utilizar texturas finales con distintas profundidades de la superficie encofrante (normalmente entrantes y no salientes). Las texturas mas complicadas se suelen realizar con moldes especiales fabricados con materiales plásticos que permiten las superficies más complejas. Estas superficies pueden ser tratadas con pinturas de varios colores para buscar los efectos deseados.

**Fig. 2. Edificio con paneles prefabricados de hormigón acabado en blanco**

Además se pueden utilizar colorantes en la propia masa del hormigón para crear estas superficies con distintas tonalidades. Simultáneamente se puede tratar la superficie de hormigón para eliminar la capa superficial de lechada y hacer salir los áridos. Mediante la correcta selección de esto áridos, tanto en color como en tamaño, se pueden modelar las superficies de acuerdo con la voluntad del proyectista. De esta forma el lenguaje se enriquece de forma considerable.

> *"Se trata de una tradición de prefabricación en la que estamos inmersos como ingenieros ... entendida como un proceso técnico y estético, y no como un problema de despiece y acumulación de masas, cuya piel luego se decora y se enmascara a la moda histórica de cada momento. Por el contrario esta manera de entender las estructuras prefabricadas permite proyectarlas y construirlas como algo que aguante a lo largo del tiempo, como los templos griegos, la acción implacable de la vibradora universal que termina sin remedio con las modas y estilos cambiantes, dejando al descubierto lo verdadero. En nuestro caso lo verdadero es lo único que aparece desde el origen del proyecto"*
> Memoria del Proyecto del Puente del Centenario en Sevilla, 1987. JAFO y otros

Se ha atribuido a la construcción con elementos prefabricados la falta de flexibilidad en las formas con las que poder proyectar. Esta falta de flexibilidad viene de los antiguos conceptos de prefabricación cerrada o abierta con pocos elementos. También se han subrayado problemas en los encuentros entre las zonas prefabricadas y realizadas con otras técnicas constructivas. Se podría decir que más que encuentros se han producido topetazos o colisiones entre distintas técnicas constructivas. En ciertos casos algunos proyectistas se ha beneficiado de las ventajas que ofrece este tipo de construcción pero se han olvidado de terminar la obra con un correcto vínculo entre todas las partes de la obra.

**Fig. 3. Edificio con paneles prefabricados de hormigón acabado textura y color madera**

En la actualidad hay cuantiosos ejemplos de proyectistas que han utilizado el lenguaje de la prefabricación flexible para crear puentes prefabricados con grandes variaciones constructivas, formales y de acabados que han conseguido obras técnicamente avanzadas, integradas en el ambiente urbano y hermosas.

Esto manifiesta que en la realidad “el material es inocente”, simplemente responde al uso que los proyectistas hacemos de el.

**Fig. 4. Edificio con paneles prefabricados de hormigón acabado en color verde, textura y color madera y en ladrillo**

# SISTEMA CONSTRUCTIVO INDAGSA DE PANELES PORTANTES

**JOSÉ LUIS CANO MUÑOZ**
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director Técnico de Indagsa

## 1 Introducción

Esta sociedad mercantil fue fundada en el año 1.991.

Dispone de: - Oficina técnica – Madrid.
- Fábrica de prefabricados - El Casar (Guadalajara).
- En proyecto: Fábrica en Sevilla.

Realiza: - Diseño, fabricación, suministro y montaje de elementos prefabricados de hormigón.

Dispone de: - Patente del sistema de paneles portantes Indagsa.
- Certificación AENOR en gestión de la calidad.
- Documento de Idoneidad Técnica nº 452 emitido por el Instituto Eduardo Torroja
- Proyectos I+D+i

# 2 Tipología de sistemas constructivos prefabricados

## 2.1 Clasificación como producto industrial

- **Sistemas cerrados**: utilizan exclusivamente los elementos propios del sistema.
- **Sistemas abiertos**: admiten la utilización de elementos diferentes a los del sistema.

## 2.2 Clasificación según solución estructural

- **Sistema longitudinal**: Dispone los paneles portantes, fundamentalmente, en las fachadas principales. (**Figura 1**)

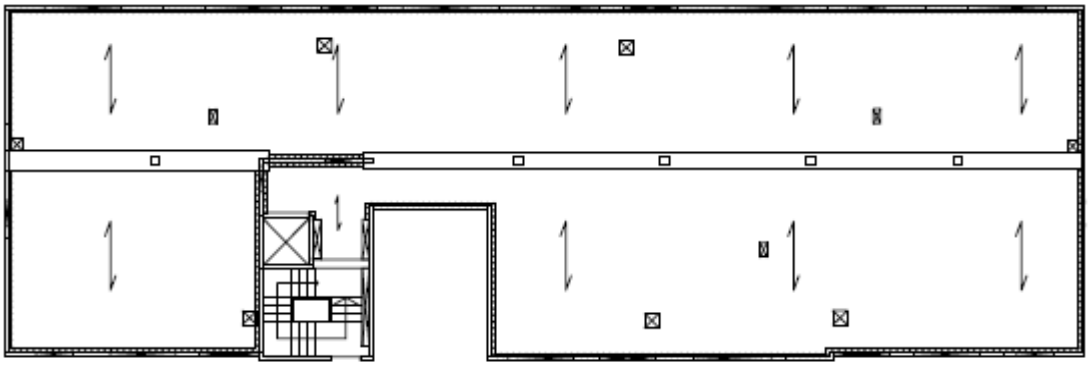


**Figura 1.**

- **Sistema transversal**: Dispone los paneles portantes, fundamentalmente, en los muros de separación de las viviendas. (**Figura 2**)

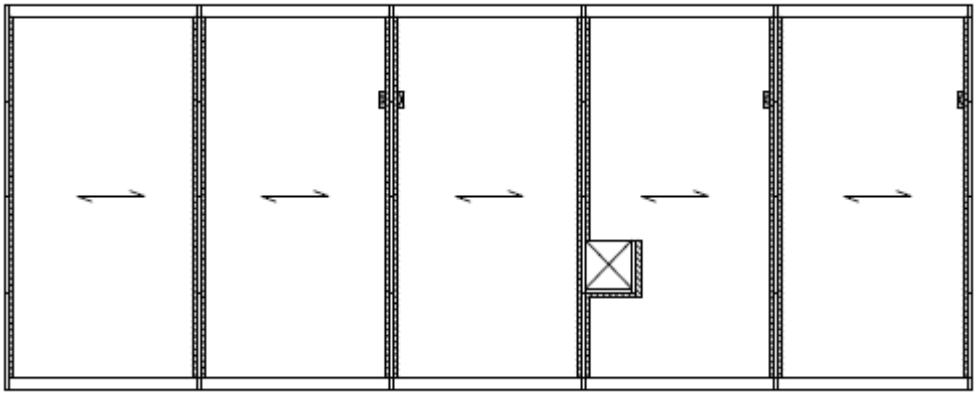


**Figura 2.**

- **Sistema mixto**: Nace de una combinación de los dos sistemas anteriores. (**Figura 3**)

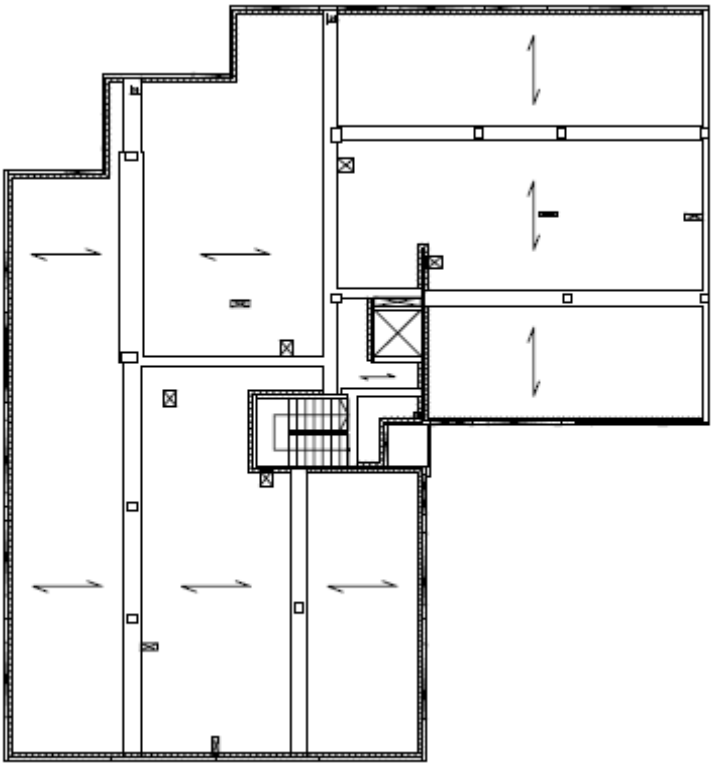


**Figura 3.**

## 2.3 Clasificación por el tipo de fachada

- **Completa (panel sándwich)**: Incorpora aislamiento, trasdosado e instalaciones.
- **Prevista para trasdosar**: Necesita la incorporación, en obra, del aislamiento y el trasdosado que conforma la cámara.

**En función de estas clasificaciones, el sistema de paneles portantes Indagsa se encuentra dentro de los sistemas abiertos, mixtos y previstos para trasdosar.**

# 3 Diseño

Aunque lo ideal es participar desde la fase de diseño con el arquitecto, el sistema permite adaptar soluciones existentes tradicionales a solucionar industrializadas.

Del análisis del proyecto de arquitectura, se organiza la disposición de paneles en planta, determinando la función que cumple los mismos: carga, cerramiento, arrostramiento, etc.

Como normalmente existen plantas con usos diversos dentro de un mismo edificio (garajes, comerciales, viviendas, etc.) se comprueba la compatibilidad vertical de los diferentes elementos estructurales.

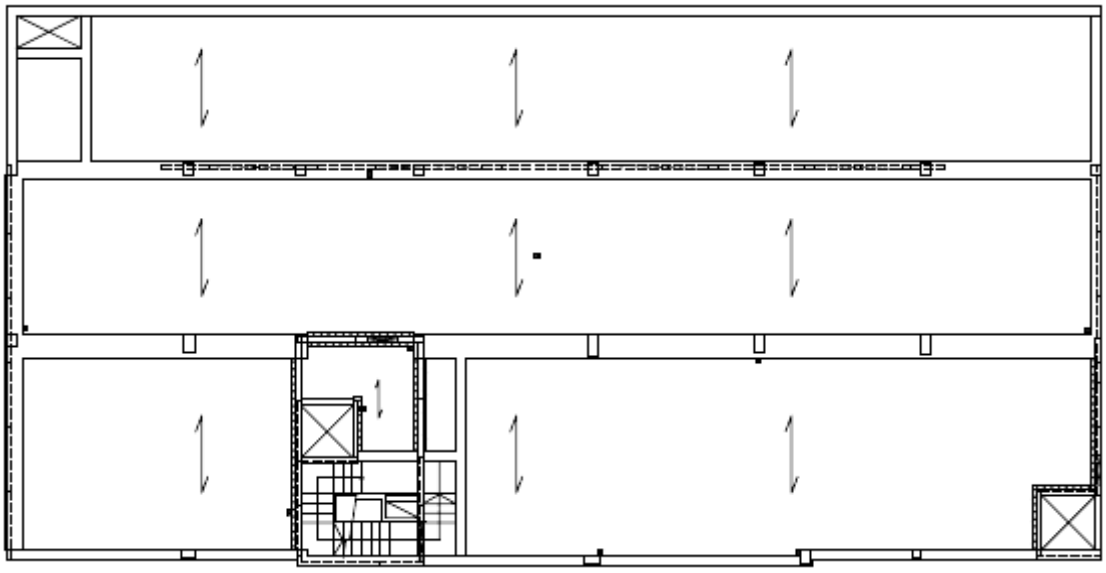
Habitualmente las plantas de sótanos y baja, se resuelven con pórticos tradicionales ejecutados “in situ” naciendo sobre esta estructura el conjunto de paneles portantes.

Diferenciaremos, por tanto, dentro del conjunto estructural (**figura 4**):

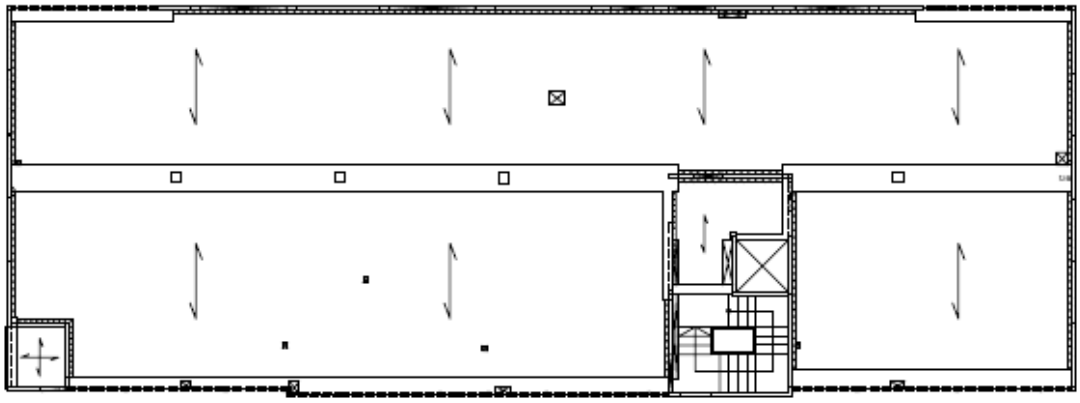
- Estructura de transición (conjunto de pórticos ejecutados “in situ”)
- Estructura prefabricada (conjunto de paneles prefabricados que sustentan el resto del edificio)

Mediante aproximaciones sucesivas, se logra encajar el modelo que cumpla todos los requisitos, arquitectónicos, estructurales y de instalaciones requeridos.

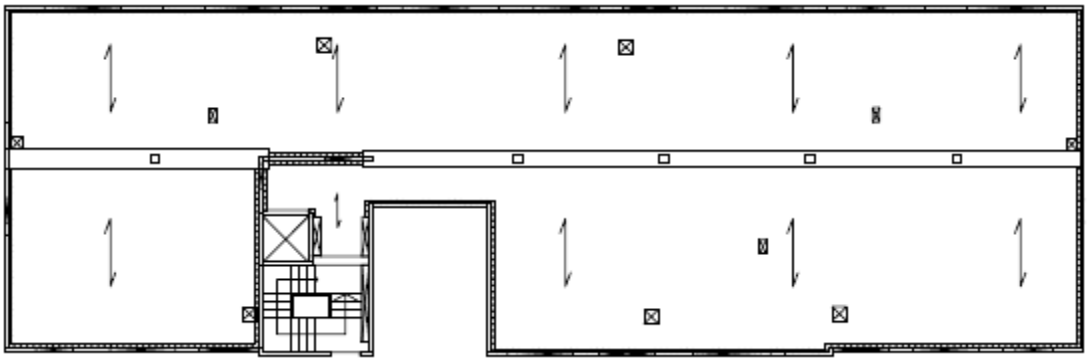
**Planta Sótano (Transición)**



**Planta Baja (Transición - Prefabricado**



**Planta Tipo (Prefabricada)**



**Sección de Edificio**

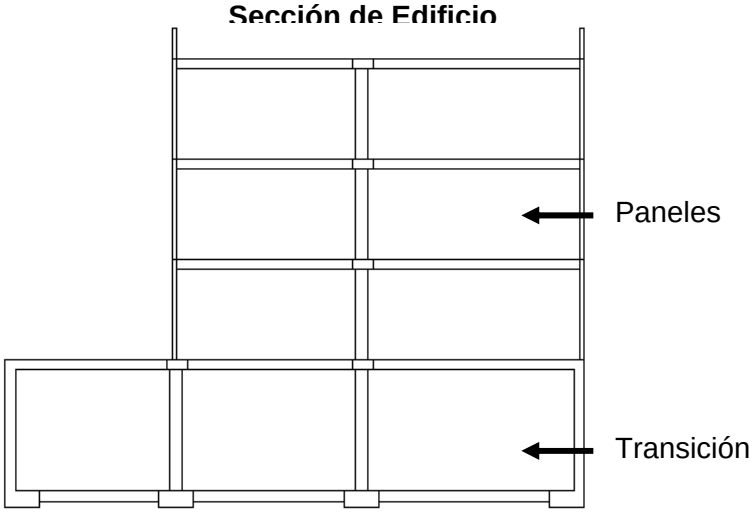



**Figura 4**

Durante la fase de diseño, se realizan dimensionamientos previos, que nos permiten conocer de forma aproximada los espesores de paneles y secciones de la estructura de transición, de tal manera que se pueda realizar posteriormente el proceso de cálculo, sin que afecte a la arquitectura del proyecto.

Terminada esta fase de diseño, podemos decir que disponemos del Proyecto de Arquitectura, que habrá que plasmar como solución industrializada.

# 4 Estructura

Como hemos visto anteriormente una estructura del sistema Indagsa, se compone normalmente de los siguientes elementos:

- Estructura prefabricada (paneles y forjados de las plantas tipo)
- Estructura de transición (conjunto de pórticos que sustentan la estructura prefabricada)

## 4.1 Estructura prefabricada

Los paneles se agrupan en planta formando muros de carga sobre los que apoyan los forjados.

Verticalmente se agrupan formando ménsulas que son las que confieren la estabilidad transversal al conjunto.

Estas ménsulas tienen una gran rigidez en su plano, siendo despreciable en sentido normal al mismo. (**Figura 5**)

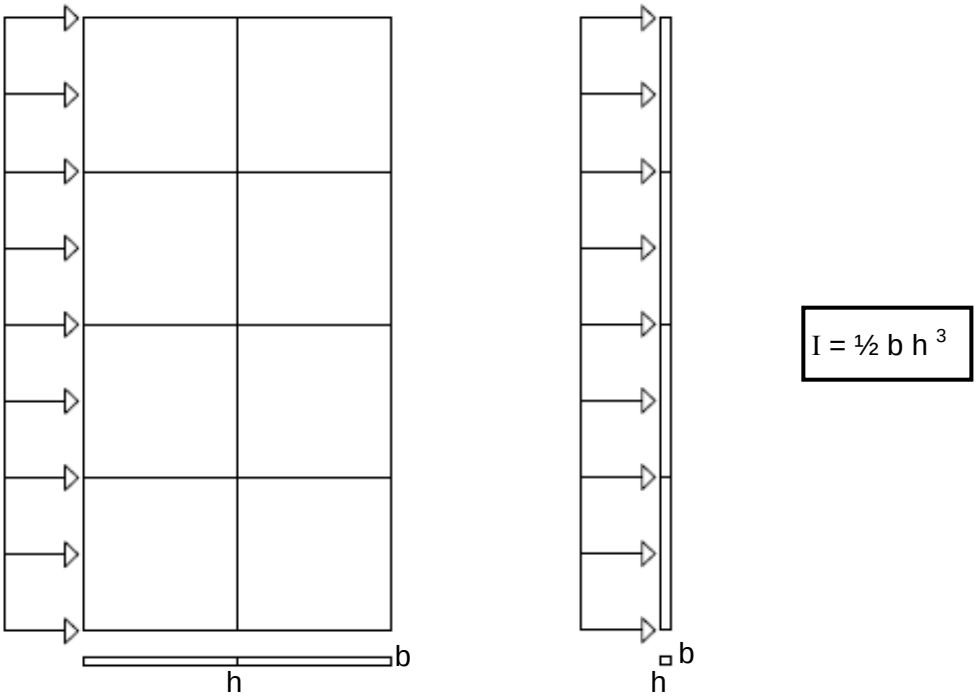



**Figura 5**

Claramente advertimos la necesidad de disponer ménsulas en los dos sentidos y de comprobar la estabilidad del conjunto.

La transmisión de cargas horizontales entre las diferentes ménsulas, se realiza por medio de los forjados, que actúan como un diafragma rígido, en su plano, utilizando el mismo mecanismo que en estructuras tradicionales.

Si la disposición en planta de las ménsulas, es simétrica, coinciden el centro de empujes y el centro de torsión y las ménsulas solo tienen que absorber la carga debida a la flexión, que se repartirá proporcionalmente a la inercia de cada ménsula.

Diafragma que habrá que dimensionar y armar adecuadamente para que cumpla esta función.

En caso contrario, aparece un fenómeno de torsión en el edificio y a las cargas anteriores habrá que sumar las debidas a la torsión y el reparto en este caso depende de la inercia de cada ménsula y de su distancia al centro de torsión. (**Figura 6**)

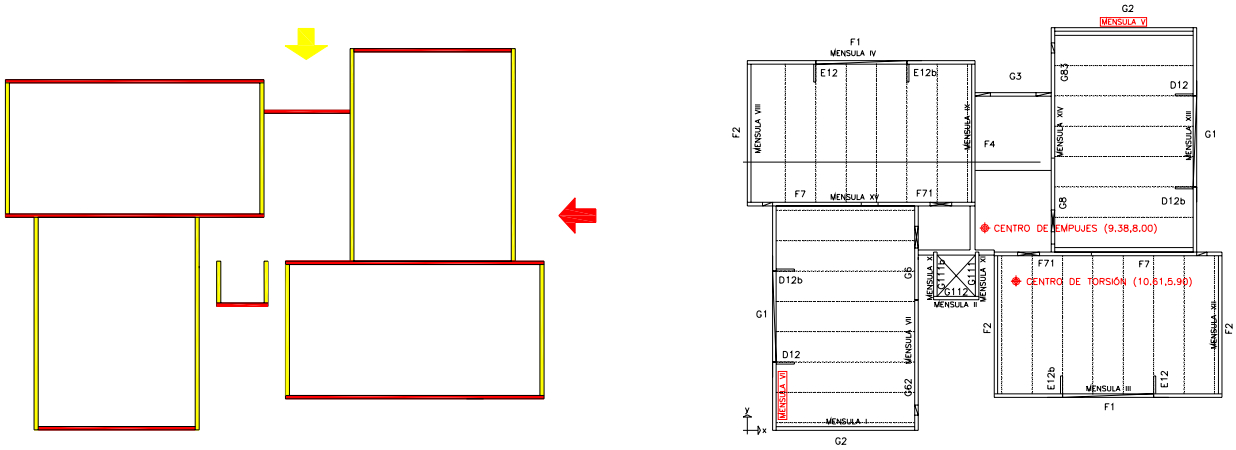



**Figura 6.**

El criterio de estabilidad, es que ninguna ménsula supere una deformada en cabeza mayor que H/2000. (**Figura 7**)

Para tener en cuenta que la ménsula está formada por elementos independientes, se penaliza su rigidez, minorando el módulo de elasticidad del hormigón.

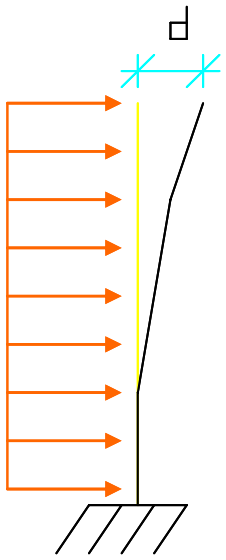



**Figura 7.**

El hecho de que la deformada supere el límite establecido anteriormente, no quiere decir que el edificio no sea estable, sino simplemente que no son válidos los métodos simplificados de cálculo.

## 4.2 Dimensionamiento de paneles

Existen dos modelos de cálculo para el dimensionamiento de los paneles:

**El de continuidad elástica entre forjados y paneles**: Hay que demostrarla teóricamente o mediante ensayos.

**El de la articulación**: Considera las uniones entre paneles y forjados como articuladas, es el método adoptado para el cálculo por Indagsa.

Dentro de un panel distinguimos dos zonas (**Figura 8**):

Los entrepaños que son las mochetas verticales de panel, limitados entre dos huecos de ventana, y equivalen a los pilares del edificio.

Los dinteles y antepechos son las zonas que limitan superior e inferiormente los huecos de ventana y equivalen a las vigas del edificio.

Para el dimensionamiento de los paneles se consideran las cargas de servicio y las accidentales (sismo, incendio, explosión, manipulaciones y transporte)

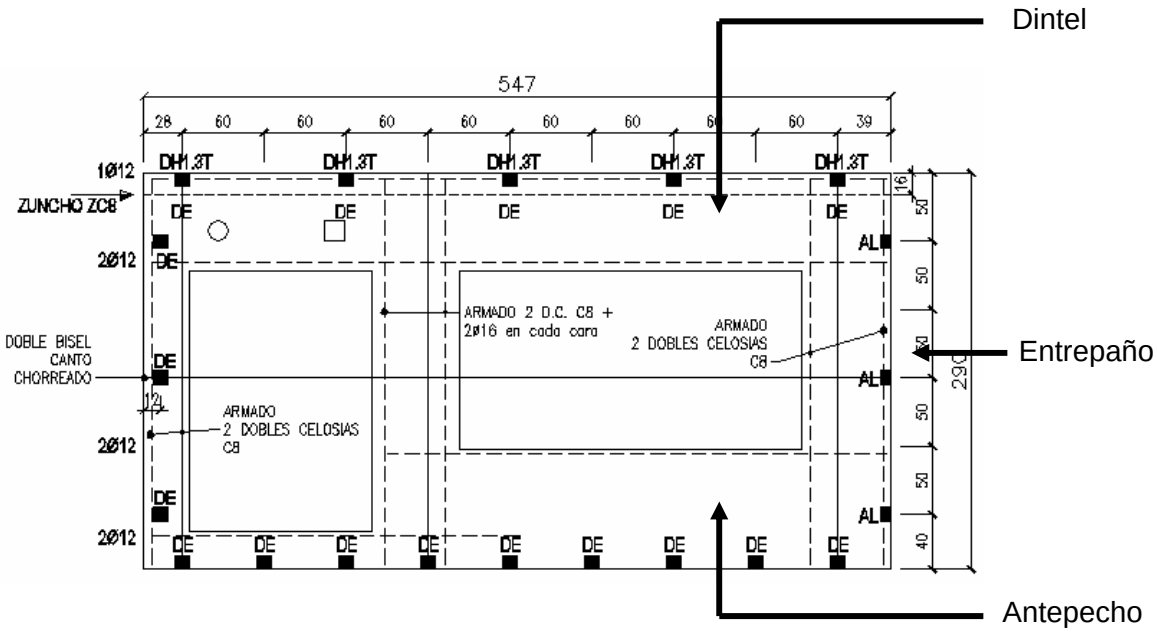



**Figura 8.**

Las mochetas se dimensionan como pilares, teniendo en cuenta por tanto las acciones verticales con sus correspondientes excentricidades y una longitud de pandeo máxima, igual a la altura de la planta pero que se puede reducir en función de los arriostramientos transversales que tenga la mocheta. (**Figura 9**)

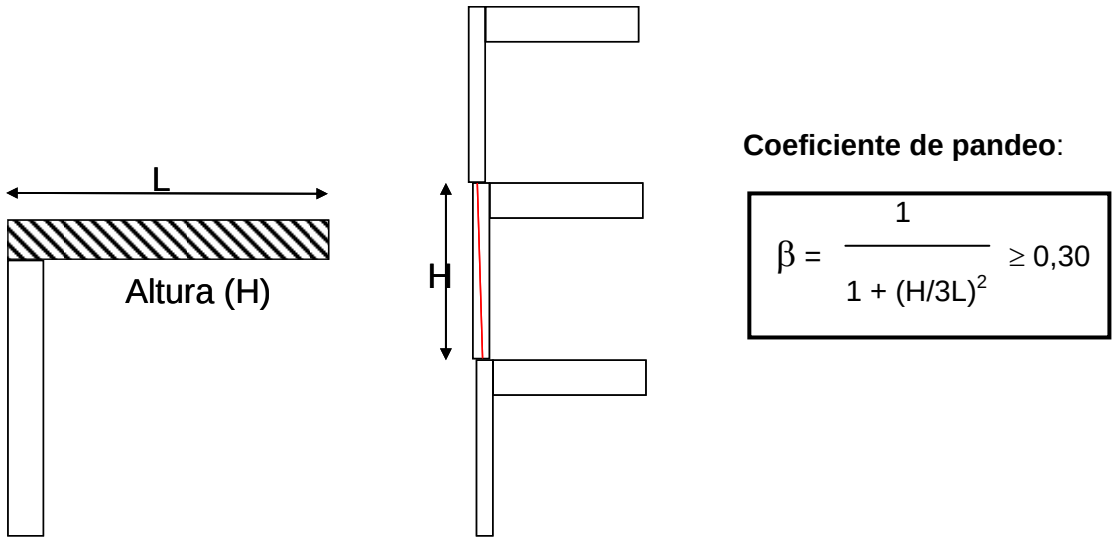



**Figura 9.**

Las acciones consideradas en fase de servicio son las siguientes:

- Peso propio del panel.
- Axil de planta + excentricidad del axil de planta.
- Axil de las plantas superiores (incluido viento) + excentricidad de axil de plantas superiores.
- Momento transversal de viento.
- Excentricidades accidentales:
    - Debida a defectos de homogeneidad.
    - Debida a errores de posicionamiento en obra.
    - De origen térmico.

Los dinteles se dimensionan como vigas, teniendo en cuenta que también los cortantes que puedan originar las cargas horizontales que absorbe la ménsula como elemento estabilizador del edificio.

## 4.3 Dimensionamiento de las juntas

Las juntas entre paneles deben de soportar todos los esfuerzos que se producen en ellas, como elementos que componen las ménsulas verticales. (**Figura 10**)

Las verticales absorberán los esfuerzos rasantes originados por las cargas horizontales, transversales al edificio (viento, sismo, etc.)

Las horizontales absorberán los esfuerzos horizontales de cortadura y los verticales de tracción o compresión debidos a las cargas horizontales y verticales.

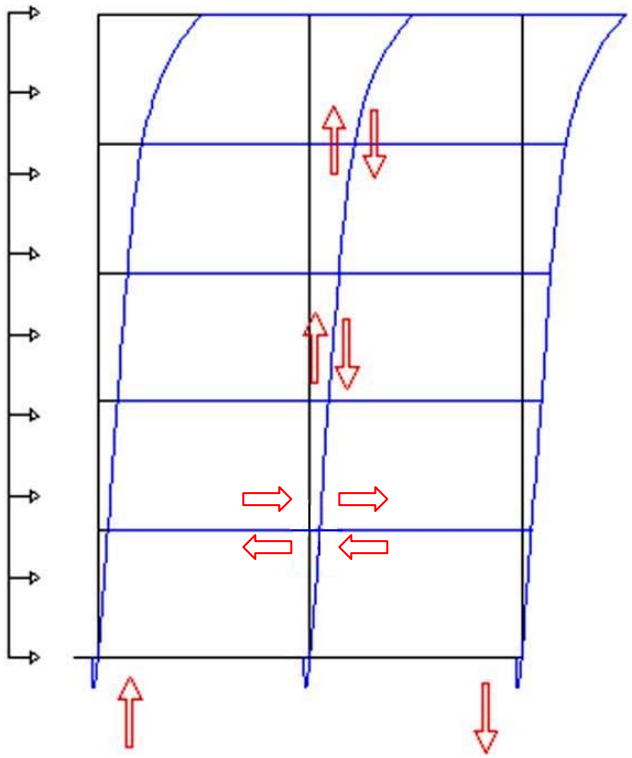


**Figura 10.**

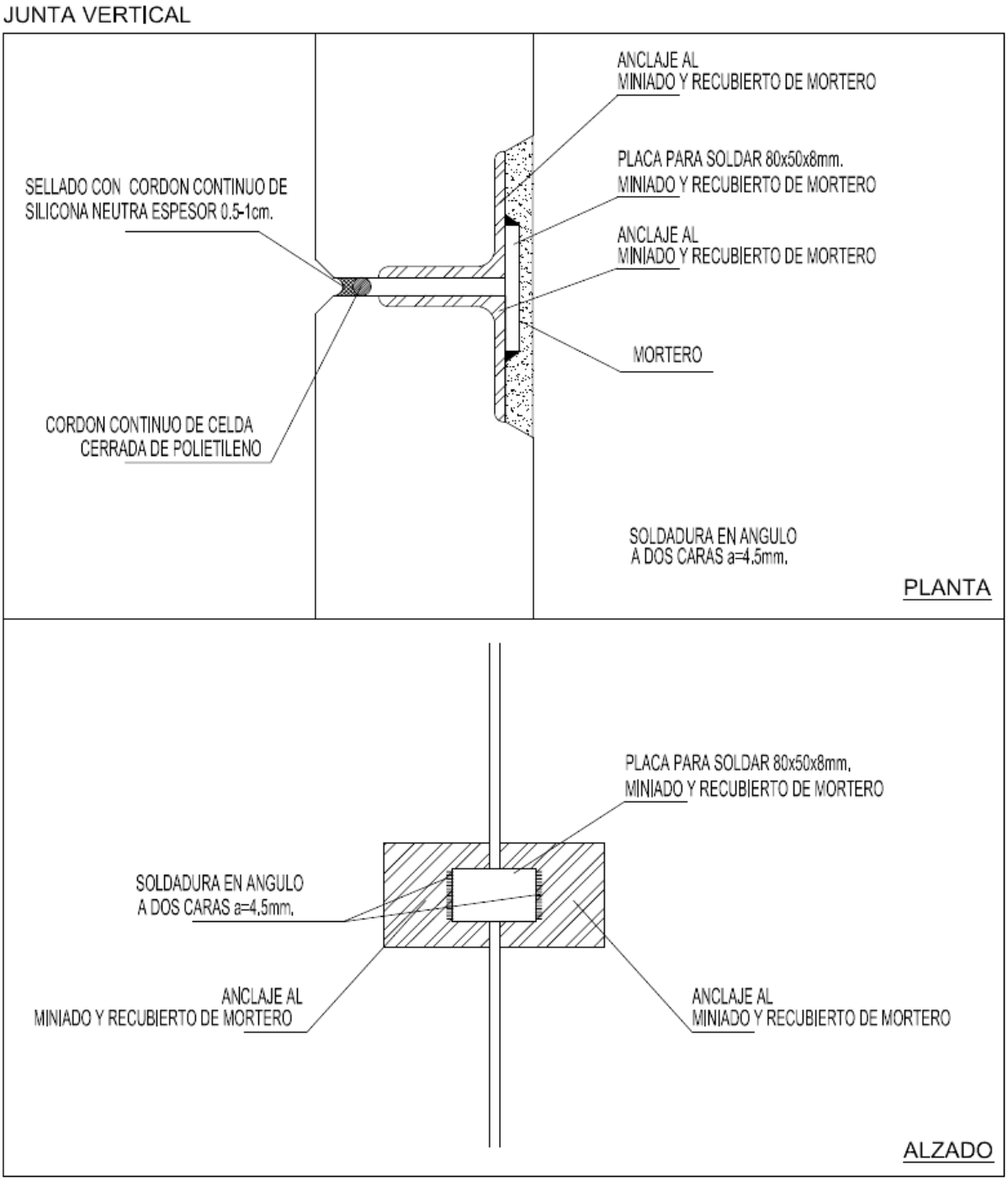



**Figura 11.**

Para absorber los esfuerzos rasantes y de cortadura, el Sistema Indagsa utiliza placas de anclaje hormigonadas en el panel y soldadura. (**Figura 11**)

Para absorber los esfuerzos verticales utilizamos morteros de retracción controlada en las juntas entre paneles.

## 4.4 Colapso progresivo

Llamamos colapso progresivo, al fenómeno de ruina total o parcial de un edificio, por el fallo accidental de un panel (explosión).

Analizamos el fallo local de un panel, en la zona de riesgo de explosión, normalmente las cocinas.

El proceso de cálculo consiste en eliminar el panel y comprobar el sistema de transmisión, mediante anclajes y zunchos, a los paneles adyacentes al eliminado, de forma tal que con los coeficientes exigidos en estos casos, el resto del edificio permanezca estable. (**Figura 12**)

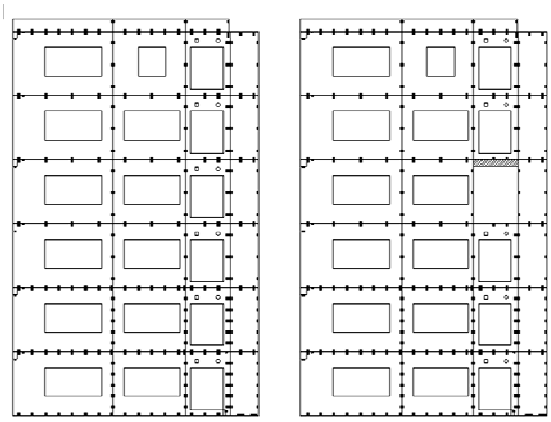


**Figura 12.**

## 4.5 Estructura de transición

Llamamos estructura de transición, a la ejecutada “in situ” normalmente de hormigón armado, sobre la que arrancan los paneles portantes.

Esta estructura resuelve el problema de los diferentes usos de las plantas del edificio.

Se realiza un cálculo en fase de montaje y otro en la situación definitiva del edificio.

En fase de montaje, los pórticos se calculan soportando un número determinado de plantas en función de la velocidad de montaje, y número de plantas total del edificio.

En situación definitiva se calcula recibiendo todas las reacciones (horizontales y verticales) de la estructura prefabricada.

Como el cálculo en situación definitiva, de los pórticos soportando las cargas de todas las plantas, sería muy desfavorable, fundamentalmente para las vigas, adoptamos hipótesis que mejoren las condiciones de cálculo.

Se considera el conjunto de la viga del pórtico y el primer panel como único elemento de gran canto y utilizando método de bielas-tirante, arcos de descarga, o viga pared, conseguimos optimizar el dintel de arranque.

En los casos en los que no está claro como viajan las cargas (pilares debajo de huecos) se analiza el conjunto de la fachada y pórtico de arranque mediante elementos finitos. (**Figura 13**)

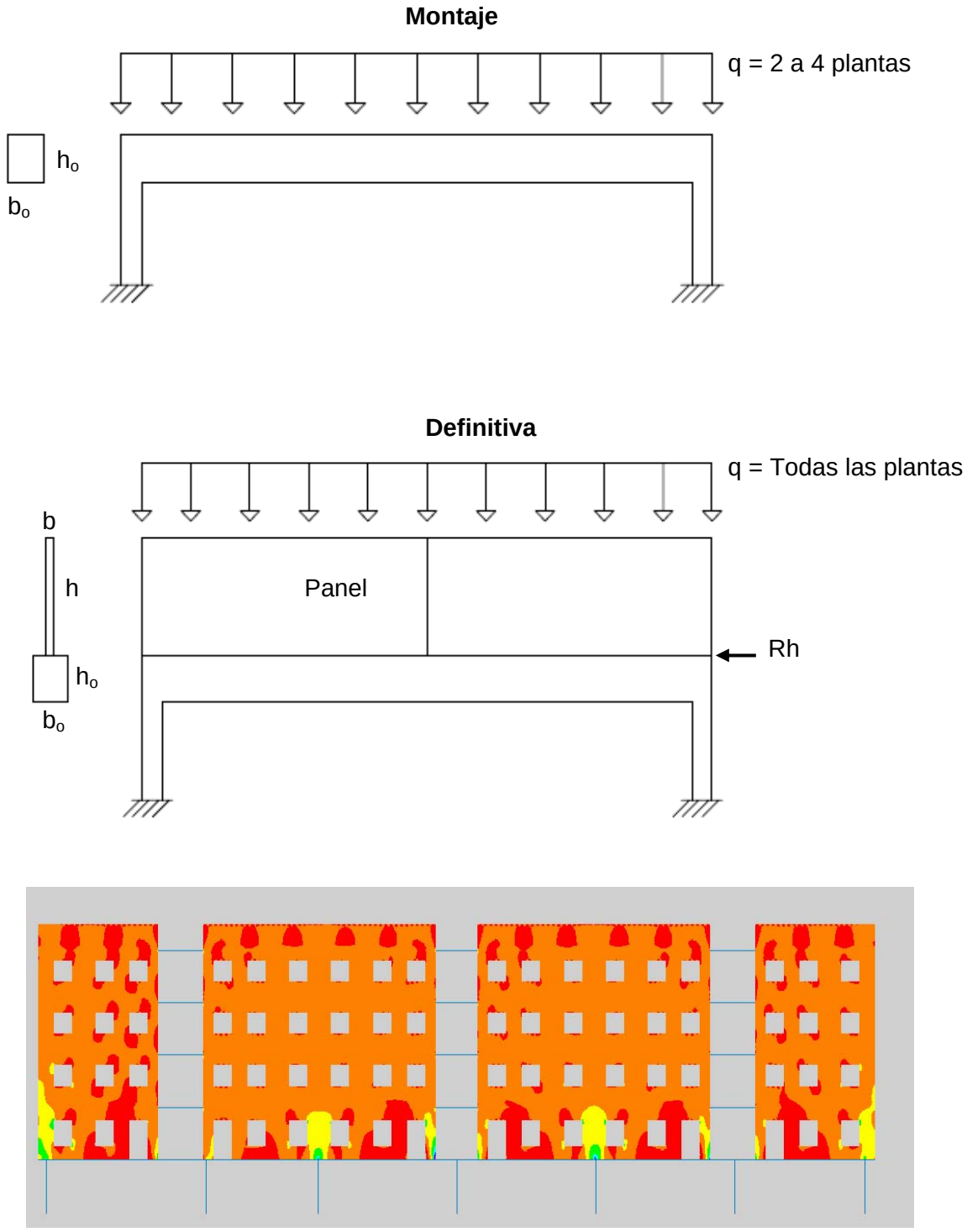



**Figura 13.**

# 5 I+D+i

Desde su fundación Indagsa ha desarrollado continuamente proyectos de investigación, desarrollo e innovación en colaboración con entidades de reconocido prestigio, (I.E.T.C.yC. (C.S.I.C.), Laboratorio de Estructuras E.T.S.I.C.C.Y.P. de U.P.M. y Grupo de Mecánica de Materiales U.C.L.M.), de los que a continuación mencionamos los más relevantes:

- Desarrollo de nuevas composiciones de hormigones, juntas y modelos prefabricados.
- Desarrollo de nuevo sistema de apoyo sobre paneles portantes mediante corte-fricción.
- Modelo de cálculo de resistencia a fuego de paneles portantes y validación mediante ensayos experimentales.
- Modelo de determinación de durabilidad de estructuras de hormigón prefabricado frente al proceso de carbonatación.
- Caracterización analítica y experimental del comportamiento de paneles esbeltos sometidos a esfuerzos de paneles y flexocompresión.

# 6 Normativa de aplicación

## 6.1 Normativa de obligado cumplimiento

- C.T.E.
- NCSE - 02
- EHE
- EFHE

## 6.2 Otras normas y documentos

- EUROCÓDIGOS 1, 2, 3 y 8 (ACCIONES, HORMIGÓN Y ACERO)
- EUROCÓDIGO 2: Parte 1-3 (HORMIGÓN PREFABRICADO)
- NORMA DIN 1.045
- CEB Tomo IV - Recomendaciones Internacionales para las estructuras formadas por paneles
- Monografía 276 del Instituto Eduardo Torroja: Directrices comunes UEAtc para la apreciación técnica de los procedimientos de construcción a base de paneles pesados prefabricados

# 7 Bibliografía de referencia

- Lewicki, Bodhan; "Edificios de Viviendas Prefabricadas con Elementos de Grandes Dimensiones"
- R. Von Halasz y G. Tantow; "La Construcción con Grandes Elementos Prefabricados"
- J. Calavera; "Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios"; INTEMAC
- Stanislaw Pereswiet-Soltan; "Estructural Tradicional y Prefabricada en Hormigón"
- Tihamér Konz; "Manual de la Construcción Prefabricada"
- Laszló Mokk; "Construcciones con Materiales Prefabricados de Hormigón Armado"
- A.S.G. Bruggeling, G. F. Huyghe; "Prefabrication with Concrete"

*La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción*

# CONSIDERACIONES ESPECIALES EN EL CALCULO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS

Angel **Ortiz Bonet.**
Ingeniero de Caminos. Tierra Armada S.A.

## 1.- Introducción. comparación prefabricado - "in situ"

Probablemente una de las razones por las que no proliferan mas las estructuras prefabricadas, a pesar de sus evidentes ventajas, sobretodo en plazos y certidumbre de su coste, está en la inadaptación de algunos proyectistas y en general de muchos de los profesionales involucrados en los procesos de construcción, a algunas peculiaridades de las soluciones prefabricadas más frecuentes.

Si por ejemplo se pretende cambiar a última hora una estructura, por otra parte sencilla, de uno o 2 niveles; a prefabricada podemos encontrarnos con los siguientes problemas:

- Se escogemos una solución de viga pretensada apoyada sobre pilar y antes había nudo rígido viga- pilar, con estos en bandera, tendremos que toda la estructura se hace mas deformable ante cargas horizontales. La longitud de pandeo de los pilares cambia; el viento cobra mayor importancia, quizás sea preciso rigidizar y por supuesto también se modifican las cimentaciones.

- Si el forjado se unía rígidamente a la jácena (se empotraba con ella) y ahora no, por ejemplo losas alveolares o más aún vigas TT; tendremos que es posible que la viga haya perdido parte de su cabeza de compresión y también que haya que comprobarla a torsión. Además desaparecen los pórticos virtuales de forjado que permiten considerar los pilares empotrados y la longitud de pandeo de pilares en esa dirección también se modifica.

Si para acelerar plazos hemos buscado evitar apeos y/o si hemos empleado piezas pretensadas, que se completan o las que se les da continuidad de obras, tendremos los problemas de redistribución de esfuerzos, a nivel de sección y/o pieza inherentes a las estructuras que llamamos evolutivas.

Finalmente puede ser que empleemos piezas, como losas alveolares, que necesiten sistemas específicos de comprobación. Aunque es cierto que las nuevas normas, EHE Eurocódigos, tienen una vocación de universalidad que las ha llevado a combatir esta idea; y de hecho se pueden encontrar en ellas, casi todos los criterios para estas piezas, también lo es que están en la norma solo para esas piezas y que los técnicos están menos habituados a usarlos.

No obstante conviene advertir ahora que ***el método de bielas y tirantes no sirve para explicar todos los posibles mecanismos resistentes,*** en especial los que se basan exclusivamente en esfuerzos rasantes como conos de arrancamiento; algunas uniones prefabricadas como barras ancladas en vainas rellenas de grout o pernos Hilti entran en estas categorías.

También serán específicos de estas obras temas como las posibles inestabilidades en construcción, pandeo lateral de vigas.. etc

Lo que sí es seguro es que el proyectista tendrá que abordar con mas frecuencia que en otros casos, determinados problemas, como esfuerzo rasante, cálculo de cálices, ménsulas o apoyos a media madera, con particularidades como la posición de la carga en estos últimos; que no son tan frecuentes en otros tipos de estructuras.

En la mente de todos los técnicos que no se consideren especialistas en prefabricación quizás esté la idea de que lo difícil es calcular las uniones, pero en mi opinión ese es el menor problema; la dificultad a la que me refería al inicio, y lo que me parece importante, son los problemas de concepción general de la estructura y a ellos se va a dedicar esta conferencia.

## 2.- Clasificación de las estructuras prefabricadas.

A los efectos de esta exposición y para aclarar ideas es útil considerar 3 tipos estructurales, aunque luego las estructuras reales puedan participar o amoldarse a distintos tipos con solo cambiar unos detalles. Estos tipos son:

- Estructuras de nudos articulados, pilares en bandera.
- Estructuras de nudos rígidos sin núcleos ni rigidizaciones.
- Estructuras con núcleos o pantallas intraslacionales

Las primeras son aquellas en las que la vigas trabajando como isostáticas apoyan en pilares (en su coronación o con ménsulas) sin mas unión que un neopreno o un perno pasante capaz de absorber cortantes, pero nunca de transmitir momentos entre pilar y viga. Es por tanto principio básico de su funcionamiento el trabajo de los pilares en bandera, aunque estos estén unidos, de modo que se logrará el mismo corrimiento horizontal de todos los pilares de la planta, si la unión es por pernos o por vigas en forjados indeformables; o al menos similar (si la unión es con neoprenos y la cubierta fuera deformable). Una de las primeras particularidades de este tipo respecto a las estructuras de nudos rígidos tradicionales es que los flectores en pilares aparecen por excentricidades de cargas y no por los giros de las vigas adyacentes.

En la figura adjunta se puede ver un pórtico de este tipo y el esquema adecuado para estudiarlo en cualquier matricial de barras. La articulaciones en los puntos de eje de los apoyos materializan los flectores en pilares antes citados. Queda claro que un matricial que articule las barras en eje de pilares no sirve para analizar estas estructuras.

Centrémonos ahora en la longitud de pandeo de los pilares en esta estructura, en principio traslacional. El intento de obtenerla (por ejemplo del nomograma de la EHE) en base a la altura de piso y a las inercias de las vigas aparece como imposible pues obtenemos en el nomograma traslacional (relación rigidez pilar R a vigas=R/0 en ambos extremos del tramo) infinito, lo que es lógico pues es claro que el esquema se asemeja al de un pilar de altura la total del edificio sometido a cargas repartidas en su altura, cuya longitud de pandeo es del orden de la altura total. Luego volveremos a esto, pero merece la pena destacar que nos encontramos con que al menos algunos pilares son muy "poco pilares" (trabajo axil) y muy "vigas" de flector predominante y cuyos niveles de fisuración van a ser comparativamente

más altos, por tanto sus escuadrias van a ser mucho mayores que las tradicionales en obras "in situ".

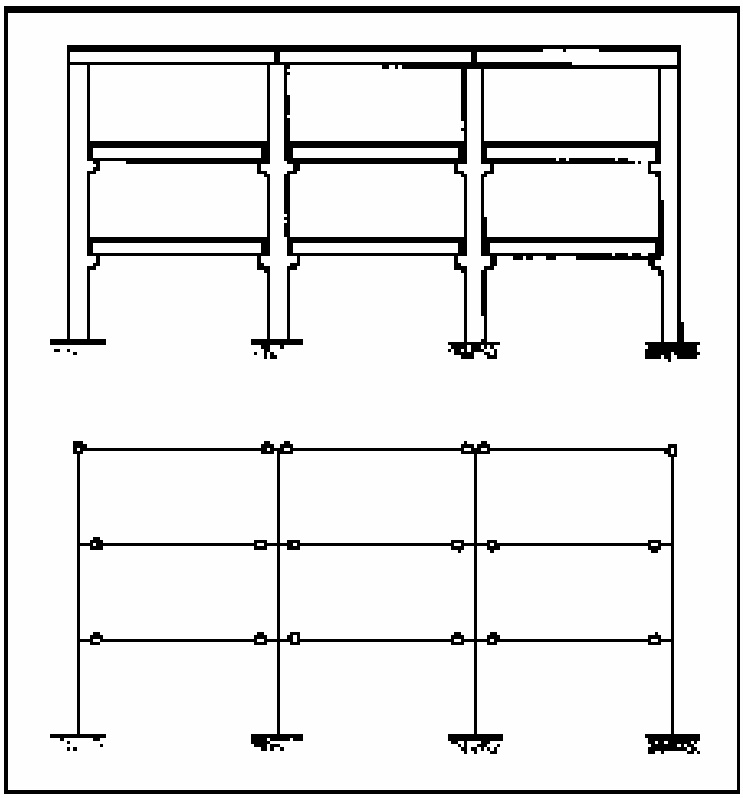


**Fig. 1: Pórtico prefabricado de nudos articulados y su esquema para cálculo matricial**

Esta solución no solo es viable, incluso en zonas sísmicas(siempre que existan topes o elementos pasantes porque en ellas no se puede confiar en el rozamiento); sino que es la mejor solución en casos de jácenas muy largas y pretensadas y pocos niveles. No obstante su mayor deformabilidad (eso indica en realidad la gran longitud de pandeo) puede hacer aconsejables medidas para rigidizar, cuando aumentan alturas o cargas horizontales.

La primera media sería hacer el nudo viga -pilar rígido. Existen en la actualidad muchas soluciones para crear una unión rígida, capaz de transmitir momentos de ambos signos en la unión jácena pilar. Muchas de ellas pasan por interrumpir en mayor o menor longitud y ancho, según se necesite, el hormigón del pilar, manteniendo sus armaduras, para poder pasar en obra armaduras de unión con las de la viga, e incluso a veces con la riostra perpendicular o el elemento de forjado coincidente con eje de pilar, con las que deben solaparse. Esto es más fácil y necesario en las armaduras superiores de viga que en las inferiores[1], por lo que a veces, si se puede, se prescinde de unir estas armaduras y a veces se sustituye este solape por chapas soldadas o pernos pasantes

[1] En ciertos casos, con jácena mas ancha que el pilar y poca armadura a dar continuidad, lo más fácil para solapar estas armaduras es hacerlo por los costados de pilar, fuera de éste

En este caso la deformabilidad de la estructura es mucho menor, pues corresponde a la de un pórtico en vez de a un pilar en bandera, lo que se refleja en que ya se pueden emplear los nomogramas de la EHE para calcular la longitud de pandeo de los pilares, función de la altura de piso y no de la total del edificio; de modo que este sistema estructural puede considerarse adecuado para edificio de unos 6 a 8 niveles en zonas no sísmicas; o de 3 a 6 en zonas sísmicas; esto es, tenemos una estructura similar a las “in situ” donde la necesidad de pantallas viene determinada sólo por las fuerzas horizontales y no por la debilidad de las uniones y la falta de monolitismo estructural.

Esto es independiente de que sea preciso dividir los pilares en varios tramos para su fabricación, por la altura total del edificio; pues existen diversas soluciones para mantener su total continuidad.

Lo que sin embargo sí es preciso es que existan pórticos en dos direcciones y no sólo en la de la jácena; esto puede resolverse, bien poniendo vigas riostras entre los pilares, bien haciendo que, como en los forjados reticulares, funcionen los pórticos virtuales de forjado.

Para ello será preciso que la unión jácena - pilar pueda absorber torsores, lo que está garantizado, y que la unión jácena - forjado pueda asumir flectores, lo que está más o menos claro según el tipo de éstos y como se materializa la unión; por ejemplo será mas difícil en un forjado con vigas TT, simplemente apoyadas sobre jácenas a las que se unen sólo por una capa superior de compresión de 5 cms, que en un forjado de losas huecas unidas a una jácena parcialmente hormigonada en obra mediante armaduras superiores e inferiores.

Finalmente puede escogerse rigidizar disponiendo pantallas o núcleos, en principio intraslacionales a los que llevemos las cargas horizontales Esto puede hacerse estableciendo diagonales en los pórticos de vigas y pilares o bien estableciendo pantallas diseñadas a este fin. En cada cuerpo del edificio separado por juntas deberán existir, llegando a cimentación, al menos dos pantallas en una dirección y una en otra, cuyas direcciones no coincidan en un punto, o bien un núcleo con rigidez torsional (en cajón o U). La posición de estas pantallas, lo más separadas posibles, es básica para que los esfuerzos que soportan sean menores.

Será preciso tener en cuenta que, aunque los pilares y sus cimentaciones serán muy reducidos, pues su longitud de pandeo es la altura de piso, y los momentos debidos a excentricidades de cargas se convierten rápidamente en fuerzas contra las pantallas; la resistencia a esfuerzos horizontales se concentra en estas piezas que requerirán casi con seguridad cimentaciones muy importantes.

Por lo demás y cumpliendo las condiciones antedichas no serán precisas mas precauciones que las comprobaciones en situación de montaje, mientras no existan las pantallas, o los forjados capaces de hacer llegar las cargas a ellas por efecto diafragma, y por supuesto la necesidad de cuidar la unión entre forjados y pantallas; pero en obras prefabricadas no se realizan conexiones viga pilar, aunque en obras de riesgo sísmicos y/o con cierto tipo de forjados sea preciso establecer encadenados en obra que refuercen la conexión entre pantallas y forjados en las zonas de unión entre ambos. Esto además del problema de los torsores en vigas, que luego se citará.

Una solución posible con prefabricados es el crear una pantalla mediante pilares y paneles horizontales encajados entre ambos.

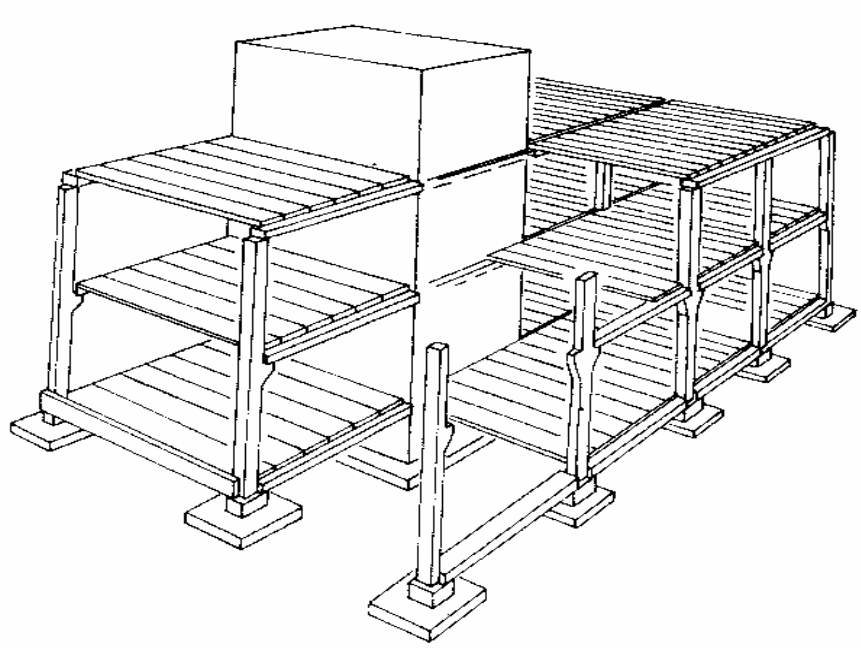


**Fig 2. Estructura prefabricada típica con núcleo rígido central.**

Las estructuras reales pueden participar de modo mas o menos discutible de varios tipos. Es frecuente en naves industriales que los niveles inferiores sean con nudo rígido, pero la cubierta, que si es de chapa además no es plano indeformable, no; en ese caso la longitud de pandeo del tramo de arriba será en principio mayor que 2 veces la altura del último piso porque el empotramiento en arranque es elástico.

Para escapar de longitudes de pandeo tan onerosas es frecuente que se alegue, en ni opinión con buenas razones pero sin razón, que la estructura es intraslacional, porque los cerramientos rigidizan. Algunos cerramientos puede que sí (paneles encajado entre pilares) y otros claramente no, como los de chapas prelacadas; pero hay que insistir que en cada cuerpo separados por juntas debe haber al menos 3 que lleguen a cimentación y todos los niveles; y no se puede estar al albur de que se eliminen cerramientos o se hagan en el tantas aberturas como para inutilizar su papel estructural, que no es atribuido en principio por la mayor parte de los usuarios a estas piezas. Por ejemplo en una nave de 1 nivel con todo su perímetro rigidizado y cubierta de chapa, que no es un plano indeformable; los pilares de fachada no estarían correctamente rigidizados en la dirección perpendicular a la jácena y los interiores en ninguna.

También se suele alegar el principio de la norma EHE o EN, de que si se calcula una estructura con su forma teórica y luego con la deformada del cálculo anterior y los esfuerzos difieren en menos de un 10%, la estructura es traslacional. Este principio, que es una simplificación, solo es de aplicación si partimos de la estructura con sus errores de montaje y construcción normativos y calculamos con rigideces fisuradas y todas las cargas

horizontales. Si se hace así pocos casos de los que preocupan se salvarán. La nueva prescripción del CTE limitando la deformabilidad del edificio pude suponer una complicación adicional porque por un lado es bueno que esto se limite pero por otro la limitación actual es excesiva para ciertos tipos estructurales y no se indica si con rigideces reales o fisuradas (que es la realidad)[2]

## 3.- Criterios para el cálculo de pilares.

Este es un problema, más complejo de lo que parece y para lo que no se pueden dar respuestas correctas únicas. El método más adecuado depende del tipo de estructura que tenemos, lo que deseemos afinar, el tiempo y los medios de cálculo de que disponemos y si deseamos hacer algunas maravillas, como cortar armaduras a lo largo del pilar. Lógicamente lo difícil son las estructuras articuladas en especial si se mezclan zonas traslacionales con intraslacionales, pilares con tramo inicial en sótano, o si hay cambios de sección (pilares con bayoneta).

Previamente al inicio del cálculo deben establecerse claramente las juntas del edificio de modo que se sepa de todos los pilares si van a estar afectados por el viento de fachadas y cuantas pantallas o núcleos rígidos existen en cada cuerpo.

Se deben obtener los esfuerzos de primer orden (en principio en matriciales espaciales o planos en 2 direcciones perpendiculares, en este caso se sumaran luego los momentos de ambos planos para la comprobación en flexión esviada) y luego es necesario hacer cálculos adicionales para el pandeo.

Se ha de decidir si los esfuerzos horizontales serán resistidos por los pilares en bandera o por pantallas y núcleos (estructura arriostrada), aunque la decisión no tiene qué ser la misma en cada cuerpo entre juntas y en ambas direcciones.

Supuesto que pantallas o núcleos son suficientemente rígidos [3]: se supondrá la estructura intraslacional en esa dirección, (donde hay al menos 1 pantalla); los pórticos que se planteen en esa dirección tendrán un apoyo a nivel de cada forjado, que impida el desplazamiento horizontal y las longitudes de pandeo serán la altura de piso.

Si no hay pantallas ni núcleos poco deformables se supondrá la estructura traslacional[4] y determinar la longitud de pandeo no es fácil porque no son de aplicación los ábacos de la EHE en función de rigideces de vigas y pilares. La altura de pandeo es del orden de la total del edificio matizada por las cargas de cada nivel y por la existencia de varios pilares unidos (ver luego).

[2] Como todo el mundo sabe, si se calcula la flecha de una viga de hormigón armado con rigidez bruta se está perdiendo el tiempo. En pilares convencionales es distinto porque están comprimidos pero en estas estructuras ya hemos dicho que los pilares son muy "vigas"

[3] Si hay dudas hay que ver si cumplen el criterio de deformabilidad del Eurocódigo en el cálculo que para ellos se haga con todas las fuerzas horizontales. Si el edificio es muy alto la mejor solución es modelizar esas pantallas dentro de los matriciales espaciales generales

[4] Si ni lo es por lo de los esfuerzos con deformada incrementados menos de un 10%, que dicen las normas no importa, el método general de cálculo lo dará, pero suponerlo y que luego no lo sea sería error fatal.

Según esto para que un cuerpo de de edificio *con forjados rígidos* sea intraslacional basta que haya 3 pantallas cuyas direcciones no confluyan en 1 punto. Ahora bien cualquier forjado con capas de compresión de hormigón en obra (o losas alveolares con sus costados hormigonados) sí es un forjado rígido *pero las cubiertas de chapa de naves industriales* con correas paralelas *no.* En este caso o se toman medidas para rigidizar ese plano o no basta, por ejemplo conque las fachadas sean rígidas para que todos los pilares de una nave sin juntas lo sean en las 2 direcciones (el pilar de fachada lo seria dentro de esta, pero no en la dirección perpendicular).

Siempre se debe tener presente, como norma de diseño correcto, que es mejor rigidizar en sitios adecuados (por ejemplo con cruces de S. Andrés metálicas o con cerramientos rígidos de hormigón, que forzar a pilares esbeltos a asumir alturas o esfuerzos inadecuados

## 3.1.- Esfuerzos de primer orden.

Los matriciales que se planteen deben tener los siguientes requisitos:

- Como el apoyo de las vigas no se hace en eje de pilar se generan flectores, que deben recoger modelizando un nudo articulado en el eje de apoyo, típicamente en pilar interior se sustituye el nudo pilar- viga por 3; uno rigido en eje de pilar y 2 adyacentes articulados en los puntos donde cada viga apoya. Si el matricial es espacial hay que hacer lo mismo con el apoyo de los elementos de forjado articulados (vigas $\pi$, losas alveolares, vigas secundarias) sobre las jácenas principales de modo se puedan recoger los torsores en jácenas, que terminan siendo flectores, en la dirección perpendicular a la jácena, en pilares.

- Solo en caso de naves de 1 nivel (cubierta) puede tratarse de evitar el matricial repartiendo el viento entre los pilares unidos de modo proporcional a sus rigideces. Pero la practica habitual de bajar (sumar de arriba a abajo) axiles y sus momentos debidos a la excentricidad del apoyo, de niveles superiores a los más bajos o cimentación, esta muy del lado de la seguridad (en los momentos) y es incompatible con un cálculo afinado aunque puede ser admisible si hay 1 solo nivel y las excentricidades son pequeñas. En todo caso si se escoge este camino para obtener esfuerzos, prescindiendo de matriciales, no debe olvidarse que los torsores en jácenas son flectores en vigas y tambien considerarlos. Si se calculan matriciales planos en 2 direcciones la distancia apoyo- pilar que se indicaba antes será la que hay en realidad del eje de la jácena al punto de apoyo del forjado.

- El matricial debe tener la imperfecciones y errores de montaje que indica la norma, bien en su forma o como cargas equivalentes, Esto es muy importante para un correcto cálculo del pandeo en especial en métodos generales aproximados.

- Si se va a querer cortar armaduras se debe trocear el pilar en tantos nudos como cortes vaya a haber. Por otra parte si se va a usar el método general para pandeo (diagramas momento- curvatura en función del axil para obtener la deformada se deben considerar tantos puntos como para que la variación del momento no sea significativa en la barra.

- Si el terreno es malo o si se quiere un cálculo del pandeo muy exacto (edificios muy altos y esbeltos) es posible que haya que modelizar las uniones a cimentación, a axil y flectores, como muelles en función de la rigidez del terreno.

## 3.2- Consideración del pandeo.

El primer método es; obtenidos esfuerzos de primer orden sacar una longitud de pandeo y aplicar las formulas de la EHE de columnas aisladas, o programas conocidos como los DMNP y DM2P de F. Morán (que pueden dar mucha menos armadura).

El problema es que estos métodos no permiten cortar armadura y que la longitud de pandeo es dudosa.

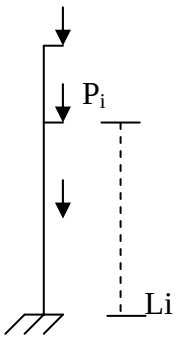
En un pilar de 1 nivel único de carga como empotrado y libre la longitud de de pandeo seria 2L. Se suele admitir una reducción "estadistica" de este valor en función de que el pilar no está aislado sino unidos a otros. Esta reducción se valora pasando el 2L a 1.8L si hay 2 pilares unidos en el pórtico, 1.6L si hay 3, .. hasta 1.2 si hay 9.

Este reducción debe valorarse con prudencia[5] a la vista de la siguiente reflexión; Si se analiza un pilar empotrado y con muelle arriba, su longitud de pandeo variará entre 2L para muelle muy débil, (inexistente) hasta 0.7 L para muelle infinitamente rígido (apoyo): la relación rigidez e muelle-longitud de pandeo es tal que al principio es precisa muy poca rigidez para bajar de 2 a 1.8L, pero son necesarias enormes rigideces para descender pr debajo de 1.2.

De hecho si suponemos la rigidez del muelle igual a la oposición de otro pilar igual unido al anterior, la longitud de pandeo baja a 1.4L. Sin embargo la longitud de pandeo global de un pórtico de 2 pilares iguales unidos por una jácena articulada es 2L (su carga crítica de pandeo es doble de la que haría pandear a un pilar solo). ¿Como se explica esto?. Porque en el primer caso el 2º pilar esta puesto solo para ayudar al 1º, sin carga; y en el 2º caso ambos están cargados. Es evidente que en una nave real la situación es intermedia (por eso hemos usado la palabra "estadístico" antes) no todos los pilares tendrán el mismo nivel de carga ni tenderán a pandear al mismo lado, pero es claro que tampoco podemos considerar que estén totalmente libres para ayudar al que pandea. Este es el principal defecto de los métodos que calculan la longitud de pandeo de 1 pilar en base a la oposición del resto de la estructura descargada a un movimiento en cabeza de ese pilar.

En pilares multiplanta la reducción de longitud de pandeo porque las cargas están a distintas altura se puede tomar mediante la formula:

$$Lp = K \cdot \sqrt{\frac{\Sigma (P_i \bullet L_i^2)}{\Sigma (P_i).}}$$




K depende del número de pilares que se desplazan conjuntamente en sentido horizontal siendo:

[5] Aunque también es cierto que en caso de forjados rígidos los pilares unidos no son solo los que figuran en el pórtico de 1 dirección sino todos los de la planta que se oponen a los movimientos del conjunto, aunque no en la misma medida según el movimiento

K=2 – 0.2*(N-1). Con N=número de pilares <= 5.

Esta formula es para la sección de empotramiento. Para otra intermedia a altura $L_1$ seria:

$$\mathbf{Lp=K\bullet}\sqrt{\frac{\Sigma\,(P_i \bullet (L_i^2 - L_1^2)}{\Sigma\,(P_i).}}$$

Con la sumatoria extendida a las cargas por encima de $L_1$.

Aunque estas formulas, que parten de que la deformada del pilar fuera una parábola, tienen muy poco rigor es frecuente usarlas en combinación con los esfuerzos del matricial para calcular pilares multiplanta traslacionales, e incluso para cortar armadura en pilares largos de cualquier tipo.

Esto último es erróneo y especialmente complicado, F Moran tiene un programa (llamado Pilar) que considera un pilar aislado con cargas a distintos niveles en el que se puede colocar la armadura por zonas y el programa comprueba si se produce rotura o inestabilidad en alguna sección. Si tras haber encajado el pilar con armadura corrida tratamos de reducirla en la zona superior veremos que, con mucha frecuencia, no hay problema en la sección en las que reducimos armadura sino en la de empotramiento porque la ser la parte superior del pilar más deformable los esfuerzos de 2º orden en arranque, (sección que sí estaba ajustada) son mayores.

Así pues este método no resuelve de modo claro el corte de armaduras ni los cambios de sección del pilar o los pilares con bayoneta; ni el del pilar que está en sótano intraslacional en su nivel inferior y en bandera en los superiores (su parte superior sería como el caso anterior pero con empotramiento flexible).

Por otra parte programas como el Pilar antes citado y otros como el PYRUS, son muy útiles, para cortar armadura o secciones variables, pero ignoran la ayuda del resto de la estructura al pilar aislado, por lo que quedan muy del lado de la seguridad y no dan resultados suficientemente afinados. En realidad si calculamos el pilar aislado tendremos en la base axiles, y lo que es peor momentos, suma de los de todos los niveles, lo que queda muy alejado de la realidad de modo que el método es muy malo ya para esfuerzos de primer orden; si hay fuertes problemas de pandeo, lo que es frecuente en muchas tipologías de naves prefabricadas, también prescinde de la ayuda del resto de los pilares al que quiere pandear: por todo esto es preciso encontrar métodos generales en base a modelos que contemplen la estructura en su totalidad o al menos pórticos planos y que pueden considerar la pérdida de rigidez por fisuración.

## 3.3.- Métodos generales.

Existen en el mercado muchos programas que contemplan la no linealidad geométrica a nivel de estructura y menos que lo hagan a nivel de materiales o sección, aunque algunos como el ANSYS o el ABAQUS, llegan a ello y, en este caso basta con aconsejar su empleo. Sin embargo no es frecuente que las empresas de prefabricado posean tanta artillería y en todos caso el problema es lento porque además solo puede funcionar en modo comprobación.

En efecto si pensamos como se ha de actuar en método general podemos concebir un matricial puesto en ciclo, en el que en cada fase se toma como estructura de partida la deformada de la anterior y como rigideces de la barras la que corresponde la diagrama momentos curvatura de la sección en función del axil y el momento de esa barra. Como este valor depende de la armadura lo que podremos hacer será solo comprobar que una cierta disposición es válida ( no rompe ni pandea) y aumentar o diminuirla hasta que esté al límite[6].

Otra posibilidad seria usar programas como el SAP, que contemplan no linealidades geométricas, como el método P-$\Delta$ y usarlo pero dando a las vigas (en realidad a los pilares, porque las vigas en el esquema articulado solo trabajan a axil y utilizan rigideces fisuradas de partida función de armados previos que hayamos hecho o según las fórmulas que luego se indican.

Sin embargo existe en el Eurocódigo un método aproximado, que en realidad es un P-$\Delta$ recortado a 2 tanteos, conjuntamente con unos criterios de rigidez fisurada[7], que pueden servir para hacer un cálculo mucho mas sencillo y suficientemente aproximado.

Los pilares se toman con la rigidez fisurada según las formulas que luego se indican (y no dependen de la armadura). El primer cálculo (para cada hipótesis de combinación de cargas mayoradas) se hace con la estructura sin deformar con cargas verticales y con cargas horizontales a nivel de forjados H0 iguales a las reales mas las que igualan los incrementos de momento debidos a los axiles actuando en la estructuras con las imperfecciones que indica la normativa (ver 6.6.3.2 Model Code 90). Se obtienen los momentos M0.

Se repite el cálculo pero sobre las estructura deformada obtenida en el cálculo anterior (0). Los momentos obtenidos en pilares serán distintos M1. Se calculan ahora las fuerzas H1 que provocan los mismos momentos M1 en la estructura sin deformar. El armado final se hará para las fuerzas horizontales H=H0/(1-H1/H0).

Como rigidez fisurada se toma:

EI=Kc.Ecd.Ic.

Kc=0.3/(1+0.5*$\phi_{ef}$) .
Ic= momento de inercia de la sección de hormigón del pilar.
Ecd=Ecm/$\gamma_{cE}$ : $\gamma_{cE}$=1.2.
$\phi_{ef}$=$\phi$.Mperm/Md con Mperm y Md momentos casi -permanentes y de diseño en pilares (media o representativo).
Ecm Modulo de deformación secante del hormigón.

Para que esto sea aplicable la cuantía geométrica de acero del pilar debe ser: $\rho$>=0.01.

[6] En realidad ese es el método usado en los programas de Morán como el DMNP o el DM2P para convertir un procedimiento de comprobación en un dimensionamiento

[7] Aquí puede estar el posible fallo de este método, pensado originalmente para todo tipo de estructuras, porque en algunas prefabricadas los pilares en bandera son casi vigas, con muy poco axil, y por tanto el nivel de fisuración, sobretodo si se afinan escuadrías, puede superar a los habituales que maneja el Eurocódigo. Sería interesante establecer cálculos de contraste entre programas "exactos" y este método.

Para $\rho$>=0.002 se puede tomar
EI=Kc.Ecd.Ic.+Es.Is con Es módulo deformación acero; Is inercia armaduras.; Kc=k1.k2/(1+$\phi_{ef}$) . ; k1=$\sqrt{(f_{ck}/20)}$ (Mpa); k2=n*0.3≤0.2; n=axil relativo=Nd/(Ac.$f_{cd}$); Ac=área hormigón pilar

En Eurocódigos y MC-90 existen otras fórmulas de rigidez fisurada, en especial si se conoce la armadura

## 4.- Cálculo de jácenas. torsores. cabezas de compresión

Ya se ha comentado la posible perdida de cabeza de compresión. Si no hay una armadura pasante que pueda recoger los cortantes de ala, la existencia de esa cabeza de compresión fuera del cuerpo de la viga es más que dudosa. Naturalmente el problema no es el mismo si se trata de un forjado de losa alveolar, en especial si sus noyos se han macizado y existen anclados en ellos esas armaduras de conexión a la cabeza, que si habla de vigas TT sin ninguna unión pero lo cierto es que el tema debe ser tenido en cuentas por el proyectista, igual que cunado se abre una junta con el forjado.

Cualquier técnico conoce que, en el mundo de la edificación tradicional y al contrario que en obra civil, casi nunca se consideran torsores, porque, según la división tradicional, son torsores de compatibilidad y no de equilibrio.

El Codigo Modelo 70 aclaraba perfectamente el concepto. No es preciso considera el torsor de una viga si existe un elementos perpendicular que pueda soportar como flector (de empotramiento) el torsor que no consideramos en la viga. Pero esto supone una unión rígida a flexión entre viga y forjado; si no existe, los torsores son de equilibrio y, si la viga a su vez está apoyada en el pilar, volcará por esta causa (no sería la primera), y si no lo hace es porque puede soportar, (y por tanto sufrir) el torsor reacción, descentrando la reacción en el ancho de su apoyo.

Así pues será precisa una armadura en dicha unión, y con frecuencia no superior sino inferior (ver figura 3). De nuevo depende del detalle concreto de jácena y forjado como resolver la unión.

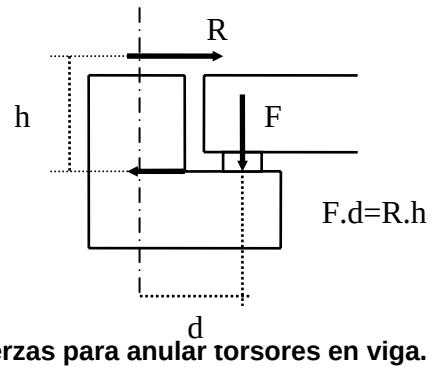



**Fig 3 Esquemas de fuerzas para anular torsores en viga.**

En una viga descolgada, con losas alveolares, se pueden pasar armaduras entre las juntas, si la jácena es descolgada, o incluso confiar en las compresiones en la cara opuesta a la más cargada, para jácenas en T invertida con cargas en ambos lados, siempre cuidando de retacar la junta losa - jácena; también pueden establecerse un par que anule el momento

con pinchos trabajando a corte o con soldadura abajo, y con armadura arriba. Pero en caso de vigas en L invertida, y salvo que se apliquen las soluciones arriba citadas de pinchos o chapas, será inevitable considerar el torsor, por lo que sería preferible sustituirlas por vigas rectangulares, lo que en fachadas suele ser posible.

En cuando a otros tipos de forjado como los de vigas PI, o se establecen uniones físicas mediante soldaduras, pinchos saliente anclados en vainas, o barras salientes, o será preciso considerar el torsor y tener presente que el torsor reacción en extremo de viga es un flector en pilar, que no podrá ser despreciado, en especial en estructuras traslacionales sin nudos rígidos.

## 5.- Cálculo de estructuras evolutivas.

Casi todas las estructuras más o menos prefabricadas que se construyen son evolutivas, esto es que a lo largo del proceso de construcción van modificándose a nivel exterior, de pieza, y también de interior, de sección, de modo que las partes mas antiguas de los elementos resistentes finales tienen que soportar, con sección mas reducida o con otras condiciones de sustentación parte de la carga total. Es este proceso de carga prematura el que define la estructura como evolutiva y no el inevitable proceso de creación de las piezas finales, Si por la existencia de apeos o cimbras ninguna carga actúa sobre piezas que no sean las definitivas no existe la problemática que luego describiremos y que va unida a una de las mejores ventajas de la prefabricación la eliminación de apeos con su consecuencia de disminución de plazos de construcción.

Ejemplos: Una prelosa de 8 cm. destinada a formar parte de una losa "in situ" de 25 cm. La relación de resistencias a rotura de prelosa y losa final para un mismo recubrimiento de 3 cm está en la relación de 22 /5=4.4 pero un momento en la prelosa provoca tracciones 14 veces superiores a si actúa sobre la losa final. Una jácena, destinada a formar parte de un pórtico final de nudos rígidos, ha de resistir, sin apear, como isostática (la continuidad se hace luego), y con menor canto, (le falta la cabeza de compresión, que es la losa "in situ" e incluso a veces parte de su canto); el peso del forjado que es la parte el león de la carga total.

### 5.1 Apeos, pretensado y peso propio.

Según se ha dicho si una viga recibe sin apear una losa de hormigón en obra el peso de esta se debe considerar actuando sobre la viga sola (sección simple) y luego cuando el hormigón de la losa haya endurecidos la sección global (compuesta viga + losa) será a que reciba las cargas posteriores. Si apeamos la viga antes de verter el hormigón de losa no ocurre así, pero ¿qué pasa con el peso propio de la viga?, ¿como transferir esa carga a sección compuesta ?.

Como muchos saben la respuestas es que no es posible si la viga está pretensada y la razón está relacionada con como apear una estructura pretensada, lo que, aunque parezca increíble algunos profesionales desconocen: Una viga pretesa llegará a obra con contraflecha, diferencia entre la debida al pretensado y la flecha de peso propio, Si colocamos los puntales al mismo nivel no tocarán a la viga y si esta ante el peso del hormigón de losa flecta menos que su contraflecha el resultado será que los puntales así

colocados son perfectamente inútiles, de modo que habrá que elevar los apeos interiores hasta contactar con la cara inferior de la viga para que el apeo sea efectivo.

Podría pensarse que el modo de evitar el peso propio de la viga sería elevar más los puntales hasta la contraflecha teórica de pretensado sin contar la flecha de peso propio. Aunque la idea es teóricamente correcta es impracticable, la contraflecha depende de valores muy variables , módulo de elasticidad del hormigón, tiempo transcurrido desde montaje, temperatura .. etc; y si nos pasamos y damos contraflecha de más la viga puede quedarse en voladizo y romper a negativos

Y si pensamos en continuidad porque posteriormente la piezas isostáticas se van a unir esta claro que esas cargas no van a provocar flectores negativos al menos en instante inicial. De ahí el aviso que hace la EHE de que "el peso propio de los elementos pretensados no puede considerarse apeado ni en continuidad al menos en instantes iniciales". De modo que si consideramos esos pesos propios de viga forjado y losa (todo lo que se aplique antes de unir las vigas) en viga continua infravaloraremos positivos y pensaremos que hay unos negativos inexistentes. Si además consideramos resistente la sección compuesta habrá otro error a nivel de sección.

Se suele decir que esto no es cierto porque la fluencia tiende a acercar los esfuerzos a los que se hubieran producido si la pieza se hubiera construido apeada, pero esto no es toda la verdad y si la pieza es pretensada normalmente es mentira. De entrada la fluencia tiende a igualar los esfuerzos pero no totalmente en especial con piezas de edad; además se toma su tiempo para lograrlo y, en los instantes iniciales también será obligatorio cumplir rotura; esto es mantener una distancia a la rotura tal que se puedan multiplicar los esfuerzos por $\gamma$ y que la sección no rompa; es obvio que si hemos minusvalorado positivos eso no ocurrirá.

Además en una viga armada continua la fluencia tendera aumentar las deformaciones y giros positivos en apoyos de cada vano el momento de compatibilidad del nudo tiene a restringir ese movimiento y aparecen negativos que suponen el acercamiento a la viga continua; pero si la pieza está pretensada el incremento de la contraflecha de fluencia tenderá a lo contrario. Son 2 acciones que se oponen y es difícil saber cual gana, pero en vigas I y losas alveolares no sub pretensadas los números demuestran que gana el pretensado, a pesar de que la retracción diferencia de la capa de hormigón de obra colabora con el peso propio en crear negativos en apoyos, con lo que en el paso de t=0 a t=$\infty$ aumentan los positivos en apoyos y no los negativos.

Esto hace que tenga muy poco interés dar continuidad a las losas alveolares, pues la continuidad tiende a hacer inútil el pretensado; esto es especialmente cierto en vanos extremos sobretodo si son tan largos como los interiores pero la realidad es que el peso propio no se empotra a negativos en t=0 y en a t=$\infty$ aún peor.

## 5.2 Piezas afectadas.

No son solo los puentes los que sufren esta problemática, piezas mas humildes y muy habituales se están calculado mal y por ello surgen patologías.

Este es el caso por ejemplo de forjados sanitarios que aunque no pueden ser apeados no son calculados muchas veces como con viguetas autoportantes, sino proyectados en base a

unas fichas calculadas pensando en forjados apeados. Aunque no se produzca la rotura un cálculo de contraste revelaría que pueden estar con tracciones de hasta 60 o 80 Kg/cm2: Cuando se han observado con el tiempo deterioros generalizados se la ha echado la culpa al ambiente pero la realidad es que no es lo mismo un ambiente poco favorable si la pieza esta comprimida que si está con fisuras de 0.4 mm.

Otro caso son las losa alveolares que se ponen en continuidad y en las que el peso propio se considera como tal lo que es especialmente grave en estas piezas porque la relación de este a la carga total es muy alta. En realidad en un forjado de viguetas pretensadas, continuo, apeado, el problema es el mismo solo que el elemento pretensado es aquí la vigueta sin bovedilla ni capa porque se apea y su peso una fracción muy pequeña de la carga total, En una losa alveolar que además no se apea con lo que hay que añadir el peso de la capa las cargas no apeadas no en continuidad y en sección simple pueden ser 750 Kg/m2 de un a carga total de 1150 o incluso menos en cubiertas.

Algo similar ocurre con prelosas pretensadas sobretodo si se ponen en continuidad y no son apeadas; además aquí el peso propio del elemento pretensado es comparativamente mayor que en los forjados de vigueta pretensada.

Y esto sin tener en cuenta que al ser piezas pretensadas sobretodo en fibra inferior los momentos positivos no tienden a fisurar tanto la sección como los negativos lo que hace que pierdan rigidez las zonas de empotramiento proceso que lleva a bajar aún mas los negativos de apoyo.

Habida cuenta como se hacen muchas veces las cosas la explicación de que no existan más problemas es sin duda la plastificación de las secciones y la emigración de los momentos hacia las zonas donde hay una armadura capaz de resistirlos. En muchos casos hay plastificación contraria o sea incrementos de negativos en apoyos porque la sección central no da mas de sí. No obstante hay que recordar que las normas limitan los % de plastificación de forma probablemente demasiado severa al 15 % y que en secciones de canto estricto esa capacidad es menor.

Otro tema involucrado es del deformacional. En realidad las piezas pretesas tienen antes problemas de contraflecha que de flecha y esto es fácil verlo en losas alveolares; de hecho el pretensado se inventó para controlar flechas en grandes puentes y no por la fisuración, esto es por la perdida de rigidez que provoca la microfisuración y no por los problemas de durabilidad anejos a fisuraciones amplias. Si la pieza se fisura en construcción su pérdida de rigidez es irreversible y afecta sus futuras deformaciones.

## 5.3.- Criterios para calculo de elementos construidos evolutivamente. Método aproximado.

Estos elementos deben ser comprobados en los estados límites de servicio para tensiones suma de las obtenidos en cada una de las estructuras parciales de cada fase de construcción con las cargas de cada fase.

Esta comprobación deben hacerse todas las situaciones de construcción incluso la final cuando se recibe por primera vez la sobrecarga y en todas ellas también debe existir una seguridad a rotura suficiente, comprobada mayorando los esfuerzos suma por sus

coeficientes contra la capacidad resistente de las secciones, aunque pueden admitirse en estos cálculos sobretodo en el final, a rotura reducciones de esfuerzos por las posibles plastificaciones que admita la estructura.

En estos cálculos sucesivos la eliminación de un apeo vendrá dada por la desaparición del apoyo en la fase siguiente más la aplicación en ella y en ese punto de la reacción del apeo eliminado como fuerza exterior cambiada de signo. Lo mismo puede decirse de las coacciones al giro eliminadas, aplicando momentos exteriores.

Es importante tener en cuenta en esta fase que el peso propio de los elementos pretensados prefabricados actúa siempre como isostático aunque la pieza se apee para soportar pesos de forjados u hormigonados de obra. En cada fase se debe introducir una sobrecarga de construcción para comprobar la fase, pero los esfuerzos debidos a ella no se arrastran a fases sucesivas

Además la pieza debe ser comprobada a los estados límites de servicio y rotura en situación definitiva ($t=\infty$) considerando las redistribuciones que por fluencia puedan producirse; a este efecto y salvo un cálculo más afinado, que puede resultar imprescindible en ciertos casos, según los procesos constructivos y los resultados que se deseen conocer; pueden obtenerse los esfuerzos finales según la fórmula:

$$S_\infty = S_0 + (S_c - S_0)\ \frac{\varphi(\infty,t_0) - \varphi(t_c,t_0)}{1+\chi\varphi(\infty,t_c)}$$ donde:

$S_0$: Esfuerzos al final del proceso de construcción debido a la acción permanente (entre las que se ha de considerar el pretensado si existe).
$S_\infty$: Esfuerzos a tiempo infinito para esa acción tras la redistribución por fluencia.
$S_c$: Esfuerzo para esa misma acción que se hubiera producido si se hubiera aplicado a la estructura final (construida sobre cimbra).
$t_0$: Edad del hormigón en el momento de aplicarse la acción (pretensado, peso de forjado, etc..).
$t_c$: Edad del hormigón en el momento de cambiar las condiciones de sustentación (realización de la continuidad, etc..).
$\chi$: Coeficiente de envejecimiento : 0.8 a falta de cálculos más precisos.

Cuando se aplica esta fórmula, por ejemplo para una viga continua construida conectando tramos aislados, puede verse que, para piezas armadas, los momentos finales de empotramiento son, para cargas permanentes, del orden del 50 al 80% de los de la viga continua para esas cargas; pero si las vigas están pretensadas el efecto del pretensado es contrario y puede reducir o incluso modificar el signo (dar momentos positivos) de los esfuerzos debidos a cargas permanentes.

Puede quedar por tanto del lado de la inseguridad a flectores positivos en estas piezas el cálculo a rotura sin considerar el proceso de construcción, mientras que el calculo mayorando los esfuerzos de construcción quedará (en especial en vigas armadas) del lado de la inseguridad en negativos. Esto además de la necesidad de controlar los estados límites de servicio (flechas fisuración), que serán más condicionantes en piezas armadas

Como además, en vigas pretesas, el momento se obtiene por diferencia entre resultados de acciones opuestas, que dependen ambas de datos dudosos o poco conocidos (edades de montaje, coeficientes de fluencia, etc..), se debería plantear prudentemente el cálculo adoptando alternativamente hipótesis optimistas y pesimistas para cada una de las dos acciones. Un posible método rápido y sencillo sería la aplicación alternativa de porcentajes de redistribución entre el 50 y el 70% a cada una de las dos acciones, cargas y pretensado (50% a cargas y 70% a pretensado y luego 70% cargas y 50% pretensado).

Esto lleva a armar las piezas para flectores cuya suma de positivos en centro de vano y negativos en apoyos excede significativamente al momento isostático. No obstante sobre los esfuerzos obtenidos, tanto al final de construcción como a tiempo infinito, se pueden aplicar las plastificaciones o reducciones de negativos que admitan las normas así como los redondeos de picos. Además si la continuidad se ha dado con armadura pasiva en una pieza pretesa la fisuración se producirá antes a negativos, lo que puede favorecer mayores redistribuciones correspondientes a rigideces fisuradas en los empotramientos.

Lógicamente los esfuerzos de redistribución actúan sobre la sección compuesta caso de existir viga y capa

Especial cuidado debe tenerse en el incremento que la continuidad podría suponer, si aparecen momentos positivos en apoyos, en las solicitaciones de la armadura inferior pretesa y en su situación respecto al anclaje. Asimismo no serán de aplicación, en caso de continuidad y en zonas de apoyos con losa fisurada o traccionada por negativos, fórmulas de comprobación a cortante para zona no fisuradas o comprimidas, basadas en el círculo de Mohr, como las del ENV 1992 1-3 o la de la EFHE. Esto es de especial aplicación e importancia para losas alveolares.

Asimismo se debe tener presente que si en cualquier fase de construcción un elemento o zona del mismo se fisura claramente a partir de ese instante puede funcionar con rigideces fisuradas lo que puede modificar la redistribución de esfuerzos con otras zonas que permanezcan íntegras. Esto complica el cálculo y le añade incertidumbres así que lo mejor desde un punto de vista práctico es evitar esa fisuración.

## 5.4 Métodos "exactos".

El método arriba descrito es el aproximado, fácil de aplicar cuando solo ha ocurrido un evento constructivo (por ejemplo dar continuidad a 2 vigas biapoyadas). Cuando se multiplican los eventos (diversas secciones resistentes, apeos provisionales que se quitan, rótulas que se liberan o rigidizan.. etc) la aplicación de la fórmula aproximada se hace muy dudosa y es preciso recurrir a software específico.

Esto programas parten como dato de un proceso de construcción totalmente definido en fechas[8]. Y realizan una integración en el tiempo fraccionando este en intervalos de modo que los eventos de construcción son puntos de cambio de intervalo. También el programa tiene datos de subsecciones parciales de los diversos materiales que pueden irse incorporando, bien a nivel de fibras o de sección viga y diversas secciones losa, mas armaduras activas y pasivas. etc. La estructura total estará muy troceada, en general en

[8] Otro tema es que se hagan varios cálculos para prever que los plazos puedan no cumplirse y estudiar la sensibilidad de la estructura ante estos problemas

barras, para que podamos suponer que dentro de cada elemento no varían sus subsecciones. Para reflejar el proceso constructivo barras, apoyos y subsecciones se pueden activar o desactivar

En cada fase además de incorporar los esfuerzos del evento constructivo, si existe al inicio de esta fase; se calculan las deformaciones diferidas de cada subsección en la fase anterior y se obtienen primero los esfuerzos de redistribución que mantienen la deformada de la sección plana; estos se aplican sobre la estructura (en general como incrementos de curvatura o corrimientos impuestos) que se resuelve para ellos de modo que se obtienen los esfuerzos externos de redistribución.

Si en un fase hay fisuración la parte de hormigón fisurada ha de eliminarse en la siguiente.

## 6. Particularidades de losas alveolares

Las losas alveolares, con capa o si se ponen en continuidad participan de lo dicho sobre las estructuras evolutivas.

Además su cálculo a corte sin armadura puede hacerse aplicando formulas muy favorables de Mohr siempre que la sección no este fisurada lo que afecta a estas continuidades.

Otros cálculos particulares son precisos para soportar cargas puntuales pues son piezas transversalmente débiles, sin ninguna armadura, los noyos y el reparto del pretensado, Como ejemplo las formulas de su norma de producto dan del orden de 7 Ton de máxima puntual para una losa de 40+5. También hay cálculos específicos para las juntas entre placas a rasante pero no suele ser un punto débil. Sí lo es el torsor, como han demostrado muchos ensayos. La norma de producto usa una fórmula en la que lo asimila a un cortante pero muy desfavorable porque equivale a hacer trabajar solo el nervio exterior.

Si se realiza un apoyo indirecto hay que hacer una serie de comprobaciones a corte de diversas secciones, no contempladas expresamente en la EFHE incluyendo anclaje de la armadura inferior. Etc, que varían según se de o no continuidad a la pieza. Además de la norma de producto existe en manual CEB-FIP que detalla estas comprobaciones, así como los cálculos de continuidad cuyos resultado aquí se incluyen, y algunos otros problemas posibles como exceso de flexibilidad de la jácena Especialmente restrictiva es la comprobación a arrancamiento del macizado con sus armaduras ancladas dentro del noyo, que se hace con una tensión muy baja por el acabado liso de su interior.

Otros problemas como pueden ser las coacciones no deseadas, o las losas apoyadas en 3 bordes viene desarrollados en la EFHE, que en gran parte reproduce las fórmulas de la citada norma de producto. Y aín quedarián las tensiones de "spalling que son en realidad la gran limitación para el pretensado y la pesadilla de su fabricación pero que afectan a los fabricantes u no a los usuarios de estas piezas

En caso de continuidad, aplicando la fórmula general aproximada para un vano extremo de un forjado continuo de varios vanos iguales obtendríamos:

$M\infty=(1.5*M_{pd}- M_{Gd}).\phi(\infty, t_0)/(1+\chi\phi(\infty, t_0))$ con

$M_{pd}$ = Momento de cálculo del pretensado $=\gamma_p\ P_{t0}.e$ con $P_{t0}$ = fuerza de pretensado en t= $t_0$, e= excentricidad del pretensado respecto al centro de gravedad de la sección compuesta y $\gamma_p$ 1.2 ó 0.95 según busquemos momentos positivos o negativos.

$M_{Gd}$ = Momento debido al peso del forjado en la viga continua $=\gamma_G.P_f*L^2/8$ con $P_f$= peso del forjado y $\gamma_G$=1 o 1.35 (o 1.5 según nivel de ejecución) según busquemos momentos positivos o negativos.

Para el vano interior de una viga continua de varios vanos iguales la fórmula será:

$M\infty=(M_{pd}-2/3*\ M_{Gd}).\phi(\infty,\ t_0)/(1+\chi\phi(\infty,\ t_0))$

con $M_{pd}$ y $M_{Gd}$ los mismos valores antes citados.

Además si existe capa debería tenerse en cuenta el momento debido a la retracción de esta y obtenido por la aplicación en extremo continuo y en instante $t_0$ de un momento equivalente al giro por acortamiento de valor:

$Ms=\varepsilon(\infty,\ t_0).A_c.E_c.X_{nn}$ con

$\varepsilon(\infty,\ t_0)$= coeficiente de retracción diferencial capa-losa, que puede tomarse como $k*\varepsilon(\infty,0)$ con $\varepsilon(\infty,0)=0.0004$ y k= 0.4, 0.5, y 0.6 para $t_0$ =1, 2 y 3 meses respectivamente de edad de la losa en el instante de endurecimiento de la capa.

$A_c$ y $E_c$ Area y Modulo de elasticidad del hormigón de la capa.

$X_{nn}$= Distancia entre centros de gravedad de la capa y la sección compuesta del forjado.

En vano extremo de viga continua el momento resultante es:

$M\infty= -1.5Ms/(1+\chi\phi(\infty,\ t_0))$

y en vano interior de una viga continua:

$M\infty= -Ms/(1+\chi\phi(\infty,\ t_0))$.

Con estas formulas se pueden obtener con toda exactitud los momentos en $t=\infty$ pero el resultado, según se ha dicho, será en general que no solo no se produce una disminución de flectores positivos sino que aparece un ligero aumento de estos.

Ya se ha dicho que si la continuidad se da con armaduras ancladas en los noyos hay que comprobar el anclaje de la armadura dentro del macizado y del conjunto armadura + hormigón de macizado, del noyo. Además si en apoyos se fisura la fibra superior de placa por los negativos no serán de aplicación las fórmulas de cortante de secciones no fisuradas sino las generales considerando como armadura longitudinal la superior. Todo esto que justifica el calificativo de ineficaz que dimos a la unión en cuanto a poner en continuidad el peso propio del forjado

# MARCADO CE EN PRODUCTOS PREFABRICADOS

**Eva Navarro Santolaria**
**AIDICO**

# 1 Marcado CE en los prefabricados de hormigón

## 1.1 Documentos de aplicación

- Directiva 89/106/CEE del Consejo de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre Productos de Construcción.

- Directiva 93/68/CEE del Consejo de 22 de julio de 1993, por la que se modifica la Directiva 89/106/CEE.

- R.D 1630/1992 de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación nacional de la Directiva 89/106/CEE.

- R.D 1328/1995 de 28 de julio, por el que se modifica, en aplicación de la Directiva del Consejo 93/68/CEE, las disposiciones para la libre circulación, aprobadas por el R.D 1630/1992.
- Normas armonizadas de aplicación

- UNE-EN 13369:2006, UNE-EN 13369:2006/A1:2006, UNE-EN 13369:2006/AC:2007: Reglas comunes para productos prefabricados de hormigón.

- EN 206-1:2000: Concrete. Specificacion, performance, production and conformity.

- Eurocódigos.

- “Position Paper”, elaborado por el Grupo de Organismos Notificados Europeos SG13.

## 1.2 Directiva de Productos de Construcción 897106/CEE

La Directiva europea 89/106/CEE define como “producto de construcción” cualquier producto fabricado para su incorporación con carácter permanente a las obras de construcción, incluyendo tanto de edificación como las de ingeniería civil.

Esta Directiva de Nuevo Enfoque tiene como objetivo la eliminación de las barreras técnicas y establece las condiciones que los productos deben cumplir para su libre circulación por la Unión Europea.

Estas condiciones deben permitir que las obras a las que se incorporan los productos cumplan con estos seis requisitos esenciales: resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, higiene, salud y medio ambiente, seguridad de utilización, protección contra incendio, ahorro de energía y aislamiento térmico.

Estas condiciones son especificaciones técnicas que se describen en el anexo ZA de las normas armonizadas y los productos deben ser conformes a ellas para poder disponer del Marcado CE y circular libremente por todo el ámbito de la Unión Europea.

Las normas armonizadas son normas elaboradas por el Comité Europea de Normalización (CEN), de acuerdo a mandatos conferidos por la Comisión de las Comunidades Europeas. En concreto, las norma armonizadas de prefabricados de hormigón han sido elaboradas por el Comité Técnico 229 (TC229) del CEN y fueron publicadas como normas EN en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE). Posteriormente la transposición española de dichas normas se publicó en el Boletín Oficial del Estado (BOE) como normas UNE-EN.

### 1.2.1 Sistemas de evaluación de conformidad

La Directiva de Productos de Construcción establece seis sistemas diferentes de evaluación de la conformidad de los productos con el anexo ZA de las normas armonizadas. La elección del procedimiento lo establece la Comisión, en función del papel que desempeña el producto respecto a los requisitos esenciales, de su naturaleza, de la influencia de la variabilidad de sus características sobre la idoneidad para el uso al que está destinado y de las posibilidades de que se produzcan defectos en su fabricación. El sistema elegido figura en los mandatos de la Comisión y en las normas armonizadas de aplicación.

En la tabla 1,1 se detallan los 6 sistemas de evaluación de conformidad recogidos en la Directiva:

**Tabla 1.1: Sistemas de evaluación de la conformidad**

| Sistema | Tareas del fabricante | Tareas del Organismo Notificado | Documentos del Marcado CE |
|---|---|---|---|
| 4 | Ensayo inicial de tipo de producto.<br>CPF* | --- | Declaración de conformidad del fabricante. |
| 3 | CPF* | Ensayo inicial de tipo de producto. | Declaración de conformidad del fabricante. |
| 2 | Ensayo inicial de tipo de producto.<br>CPF* | Certificación del CPF* en base a inspección inicial de la fábrica y CPF* | Declaración de conformidad del fabricante.<br>Certificado de CPF* del organismo notificado. |
| 2+ | Ensayo inicial de tipo de producto. CPF*.<br>Ensayos de muestras tomadas en fábrica por el fabricante de acuerdo con un plan determinado. | Certificación del CPF* en base a:<br>- Inspección inicial de la fábrica y del CPF*<br>- Vigilancia, evaluación y autorización permanente del CPF* (inspecciones periódicas). | Declaración de conformidad del fabricante.<br>Certificado de CPF* del organismo notificado. |
| 1 | CPF*.<br>Ensayos de muestras tomadas en fábrica por el fabricante de acuerdo con un plan determinado. | Certificación de conformidad del producto en base a:<br>- Ensayo inicial de tipo de producto.<br>- Inspección inicial de la fábrica y del CPF*.<br>- Vigilancia, evaluación y autorización permanente del CPF* (inspecciones periódicas). | Declaración de conformidad del fabricante.<br>Certificado de conformidad del producto del organismo notificado. |
| 1+ | CPF*.<br>Ensayos de muestras tomadas en fábrica por el fabricante de acuerdo con un plan determinado. | Certificación de conformidad del producto en base a:<br>- Ensayo inicial de tipo de producto.<br>- Inspección inicial de la fábrica y del CPF*.<br>- Vigilancia, evaluación y autorización permanente del CPF* (inspecciones periódicas).<br>- Ensayo por sondeo de muestras tomadas en fábrica, mercado u obra. | Declaración de conformidad del fabricante.<br>Certificado de conformidad del producto del organismo notificado. |

(CPF*: Control de producción en fábrica)

Por regla general, el sistema de evaluación de la conformidad que aplica a los prefabricados de hormigón de uso estructural es el 2+ y para los prefabricados de hormigón cuyo uso previsto no es estructural es el sistema 4.

En la tabla 1.2 se detallan las normas armonizadas de prefabricados de hormigón cuyas fechas de aplicabilidad del Marcado CE ya han sido establecidas y publicadas en el DOUE. Durante el período transitorio o de coexistencia del Marcado CE con la legislación nacional, los productos pueden comercializarse en el mercado comunitario con o sin el mismo. La finalidad de este período es permitir que los fabricantes, los organismos notificados y los demás agentes implicados, se adapten gradualmente a la nueva normativa. Una vez finalizado este período, los productos no podrán ser comercializados en el ámbito de la Unión Europea si no disponen del Marcado CE.

**Tabla 1.2: Normas armonizadas Marcado CE prefabricados de hormigón**

| Producto | Norma | Inicio período voluntario (período transitorio) | Inicio período obligatorio | Sistema de evaluación conformidad |
|---|---|---|---|---|
| Placas alveolares | UNE-EN 1168:2005 | 1/3/2006 | 1/3/2008 | 2+ |
| Prelosas para sistemas de forjados | UNE-EN 13747:2006 | 1/5/2006 | 1/5/2008 | 2+ |
| Mástiles y postes | UNE-EN 12843:2005 | 1/9/2005 | 1/9/2007 | 2+ |
| Elementos estructurales nervados para forjados | UNE EN 13224:2005<br>UNE-EN 13224:2005/AC:2005 | 1/9/2005 | 1/9/2007 | 2+ |
| Elementos estructurales lineales | UNE-EN 13225:2005 | 1/9/2005 | 1/9/2007 | 2+ |
| Elementos especiales para cubiertas | UNE-EN 13693:2005 | 1/6/2005 | 1/6/2007 | 2+ |
| Pilotes de cimentación | UNE-EN 12794:2005 | 1/1/2006 | 1/1/2008 | 2+ |
| Marcos | UNE-EN 14844:2006 | 1/5/2007 | 1/5/2008 | 2+ |
| Garajes prefabricados | UNE-EN 13978-1:2006 | 1/3/2006 | 1/3/2008 | 2+ |
| Bloques de hormigón celular curado en autoclave | UNE-EN 771-4: 2004<br>UNE-EN 771-4: 2004/A1:2005 | ¼/2005 | ¼/2006 | 4 / 2+ |
| Bloques de hormigón de áridos densos y ligeros | UNE-EN 771-3: 2004<br>UNE-EN 771-3: 2004/A1:2005 | ¼/2005 | ¼/2006 | 4 / 2+ |
| Componentes prefabricados de hormigón armado de áridos ligeros con estructura abierta | UNE-EN 1520:2003<br>UNE-EN 1520 AC:2004 | 1/9/2003 | 1/9/2004 | 4 / 2+ |
| Elementos para vallas | UNE-EN 12839 | 1/3/2002 | 1/3/2003 | 4 |
| Adoquines de hormigón | UNE-EN 1338:2004<br>UNE-EN 1338:2004/AC:2006 | 1/3/2004<br>1/1/2007 | 1/3/2005<br>1/1/2007 | 4 |
| Baldosas de hormigón | UNE-EN 1339:2004<br>UNE-EN 1339:2004/AC:2006 | 1/3/2004<br>1/1/2007 | 1/3/2005<br>1/1/2007 | 4 |
| Bordillos prefabricados de hormigón | UNE-EN 1340:2004<br>UNE-EN 1340:2004/AC:2006 | ½/2004<br>1/1/2007 | ½/2005<br>1/1/2007 | 4 |
| Canales de desagüe para zonas de circulación para peatones y vehículos | UNE-EN 1433:2003<br>UNE-EN 1433:2003/A1:2005 | 1/8/2003<br>1/1/2006 | 1/08/2004<br>1/1/2006 | 3 |
| Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero | UNE-EN 1916:2003<br>UNE-EN 1916:2003/AC:2005<br>UNE-EN 1916:2003/ERR:2006 | 1/8/2003<br>1/1/2007<br>1/1/2007 | 23/11/2004<br>1/1/2007<br>1/1/2007 | 4 |

**Tabla 1.2: Normas armonizadas Marcado CE prefabricados de hormigón (continuación)**

| Producto | Norma | Inicio período voluntario | Inicio período obligatorio | Sistema de evaluación conformidad |
|---|---|---|---|---|
| Pozos de registro y cámaras de inspección de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero | UNE-EN 1917:2003<br>UNE-EN 1917:2003/ERR | 1/8/2003<br>1/1/2007 | 23/11/2004<br>1/1/2007 | 4 |
| Tejas y piezas de hormigón para tejados y revestimientos de muros | UNE-EN 490:2005 | 1/9/2005 | 1/9/2006 | 3 / 4 |

### 1.2.2 Organismos Notificados

Los Organismos Notificados son los responsables de llevar a cabo las tareas relacionadas con los procedimientos de evaluación de la conformidad descritos en la tabla 1.1.

Estos organismos son designados y notificados a la Comisión Europa por las Autoridades competentes de cada Estado Miembro. En España es el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio quien se encarga de las notificaciones de organismos.

Existen tres tipos de organismos notificados, dependiendo de las tareas que vayan a desempeñar en el sistema de evaluación de conformidad para el que han sido notificados. Se clasifican en organismos de certificación, organismos de inspección y laboratorios de ensayos.

La imparcialidad, independencia, integridad y competencia técnica de los organismos notificados es vigilada a intervalos regulares, siguiendo las prácticas establecidas por los organismos de acreditación. En España, los organismos notificados deben estar acreditados por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) como organismos de control. Las notificaciones de los organismos españoles se publican en el BOE.

### 1.2.3 Vigilancia de mercado

Cada Estado Miembro debe designar las autoridades responsables de vigilar que los productos que se colocan en el mercado comunitario disponen del Marcado CE. En España, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio transfiere esta tarea a las Autoridades de Industria de las Comunidades Autónomas a través de la Ley de Industria 91/1992 y además, realiza aproximadamente cien campañas anuales de control de productos industriales, consistentes en tomas de muestra y ensayos de productos, comprobaciones en el mercado, obras y fábrica.

La detección de incumplimientos en el mercado relacionados con el Marcado CE pueden traducirse en la prohibición de la comercialización y libre circulación de los productos y en sanciones económicas que oscilan entre 3000 y 600000 €.

# 2. Marcado CE en los prefabricados de hormigón uso estructural

Tal y como se ha comentado antes, el sistema de evaluación de conformidad que afecta a los prefabricados de hormigón de uso estructural es el 2+, lo que implica que por una parte, el fabricante debe realizar unos ensayos iniciales tipo de producto, implantar un sistema de control de producción en fábrica, llevar a cabo unos ensayos periódicos de muestras tomadas en fábrica y redactar una declaración de conformidad. Y por otra parte, un organismo notificado, como por ejemplo AIDICO, debe conceder un certificado de control de producción en fábrica, basándose en una inspección inicial de la fábrica y del control de producción en fábrica implantado. Además, dicho sistema es vigilado permanentemente a través de inspecciones periódicas anuales.

## 2.1 Ensayos iniciales de tipo

El fabricante deberá realizar los ensayos iniciales tipo relativos a las características relevantes descritas en el anexo ZA de la norma armonizada de aplicación.

Dichos ensayos consisten en someter a una muestra representativa de un producto y/o probetas a los ensayos y/o cálculos pertinentes para comprobar las propiedades antes de la comercialización. Deben realizarse tal y como se indica en el apartado correspondiente de la norma armonizada y el fabricante deberá declarar los resultados los resultados obtenidos.

Los ensayos iniciales adicionales se deben realizar siempre que haya un cambio en el proyecto, composición del hormigón, tipo de acero, método de fabricación u otros factores que puedan modificar significativamente alguna de las propiedades del producto.

Tanto los ensayos iniciales tipo como los ensayos iniciales tipo adicionales pueden llevarse a cabo por el laboratorio interno del fabricante o por un laboratorio externo subcontratado. En ambos casos el laboratorio deberá poseer la competencia técnica necesaria para la realización de dichos ensayos, según se indica en las normas armonizadas (método de ensayo adecuado, equipos calibrados…).

En la tabla 2.1 se muestran los ensayos iniciales tipo que aplican para tipo de producto prefabricado de hormigón, según se describe en el anexo ZA de las normas armonizadas publicadas hasta la fecha.

**Tabla 2.1: Ensayos iniciales tipo**

| PRODUCTO NORMA | ENSAYOS INICIALES TIPO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Compresión Hormigón | Tracción Acero | Aislamiento acústico | Durabilidad | Detalles constructivos | Rigidez juntas | Reacción fuego | Resistencia mecánica | Resistencia fuego |
| Placas alveolares UNE-EN 1168:2005 | X | X | X | X | X | | | X | X |
| Prelosas para sistemas de forjados UNE-EN 13747:2006 | X | X | X | X | X | | | X | X |
| Mástiles y postes UNE-EN 12843:2005 | X | X | | X | X | | | X | |
| Elementos estructurales nervados para forjados UNE-EN 13224:2005 | X | X | | X | X | | | X | X |
| Elementos estructurales lineales UNE-EN 13225:2005 | X | X | | X | X | | | X | X |
| Elementos especiales para cubiertas UNE-EN 13693:2005 | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| Pilotes de cimentación UNE-EN 12794:2005 | X | X | | X | X | X | | X | |

### 2.1.1 Resistencia a compresión del hormigón

El fabricante debe declarar la resistencia potencial del hormigón. La toma de muestras para la realización del ensayo se deberá realizar según la norma EN 12350-1. La elaboración y curado de las probetas y la determinación de la resistencia a compresión sobre probetas cilíndricas ($f_{c,cyl}$) o cúbicas ($f_{c,cube}$), se deberá llevar a cabo conforme a la serie de normas EN 12390.

### 2.1.2 Resistencia última a tracción y límite elástico del acero

El fabricante debe declarar la resistencia última a tracción y el límite elástico del acero que utiliza en sus prefabricados.

Los ensayos del acero para armar se deberán realizar conforme a lo indicado en la norma EN 10080 y los ensayos del acero para pretensar se deberán realizar conforme a lo indicado en la serie de normas prEN 10138.

Se admiten también ensayos realizados según la legislación nacional, tal y como se describe en el apartados 4.1.3 y 4.1.4 de la norma UNE-EN 13369:2006.

### 2.1.3 Aislamiento al ruido aéreo y transmisión de ruido por impacto

El fabricante debe declarar el aislamiento al ruido aéreo y la transmisión de ruido por impacto (dB) y debe elegir entre estos dos métodos para determinar dichas propiedades:

A) Por cálculo conforme a las norma EN 12354-1:2000 y EN 12354-2:2000.
B) Por ensayo conforme a norma EN ISO 140-3.

### 2.1.4 Durabilidad

La durabilidad de los elementos prefabricados de hormigón está asegurada por los siguientes aspectos, cuando sean de aplicación, que el fabricante debe determinar y declarar, conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 13369:2006: contenido mínimo de cemento, relación máxima agua/cemento, contenido máximo de cloruros, contenido máximo de álcalis, protección del hormigón recién fabricado contra la pérdida de humedad, hidratación adecuada mediante tratamiento térmico, resistencia mínima del hormigón, recubrimiento mínimo del hormigón y calidad del hormigón endurecido, integridad de la superficie, integridad interna, uso de métodos de diseño de funcionamiento y resistencia a la corrosión del acero

### 2.1.5 Detalles constructivos

El fabricante debe determinar las propiedades geométricas de los elementos prefabricados, según se indica en el apartado correspondiente de la norma armonizada de aplicación y se deben cumplir las tolerancias indicadas, por ejemplo, para placas alveolares (norma UNE-EN 1168:2006) se debe determinar los siguientes aspectos: canto de la placa, espesor mínimo de ala, espesor mínimo de alma, posición vertical de la armadura en el lado sometido a tracción, longitud y anchura de la placa, recubrimiento mínimo, distancia entre ejes del acero de pretensado y forma de la junta longitudinal.

Los detalles contractivos del elemento, en lo que respecta a los datos geométricos y las propiedades complementarias de los materiales y anclajes, se deben incluir en la documentación técnica que se debe adjuntar al Marcado CE. Esta documentación los datos de construcción, tales como las medidas, las tolerancias, la disposición de armaduras, el recubrimiento del hormigón, las condiciones transitorias y finales de apoyo previstas y las condiciones de elevación. La composición de la documentación técnica se proporciona en el capítulo 8 de la norma UNE-EN 13369:2006.

### 2.1.6 Rigidez de las juntas

Este requisito sólo aplica a los pilotes de cimentación.

El fabricante debe declarar la clase técnica y los valores de capacidad correspondientes, conforme al apartado 4.3.8 de la norma UNE-EN 12794.

### 2.1.7 Reacción al fuego

Este requisito sólo es de aplicación para elementos especiales para cubiertas.

El fabricante debe declarar la clase de reacción al fuego, conforme al apartado 4.3.4.4 de la norma UNE-EN 13693:2005, realizando el ensayo según la norma EN 13501-1.

Si el contenido en materia orgánica del prefabricado es menor o igual al 1% en masa o en volumen (el que sea mayor) el fabricante puede declarar directamente la clase A1 de reacción al fuego sin necesidad de llevar a cabo ningún ensayo, de acuerdo a la Decisión de la Comisión 96/603/CE modificada por al Decisión 2000/605/CE.

### 2.1.8 Resistencia mecánica y resistencia al fuego

Para estas propiedades el fabricante debe elegir la aplicación de uno de los siguientes métodos descritos en el anexo Y de las correspondientes normas armonizadas de aplicación:

- Método 1: Declaración de datos geométricos y propiedades de los materiales, tal y como se especifica en el apartado ZA.3.2 de las normas de aplicación. Para productos disponibles en almacén y en catálogo.
- Método 2: Declaración de propiedades de resistencia mecánica y resistencia al fuego siguiendo la norma armonizada correspondiente y los eurocódigos EN, tal y como se especifica en el apartado ZA.3.2 de la normas de aplicación. Para productos prefabricados cuyas propiedades son declaradas por el fabricante.
- Método 3: Declaración de conformidad con una especificación dada, tal y como se especifica en el apartado ZA.3.4 de la normas de aplicación. Para Todos los casos distintos a los anteriores.

## 2.2 Sistema de control de producción en fábrica

El fabricante debe implantar un sistema de control de producción en fábrica que cumpla los requisitos establecidos en el apartado 6.3 de la norma UNE-EN 13369:2006. Dicho sistema debe contemplar los siguientes aspectos:

- Generalidades.
- Organización.
- Sistema de control.
- Control de documentos.

- Control del proceso.
- Inspección y ensayo:
  - Equipos.
  - Materiales componentes.
  - Proceso de producción.
  - Productos acabados.
- Productos no conformes.
- Criterios de conformidad del hormigón endurecido.
- Método de ensayo indirecto o alternativo.

Se considera que un fabricante que dispone de un sistema de calidad conforme a la norma UNE-EN ISO 9001 y que tiene en cuenta los requisitos de la norma UNE-EN 13369:2006, satisface los requisitos de control de producción en fábrica requeridos.

## 2.3 Inspección inicial de a fábrica y del sistema de control de producción en fábrica.

AIDICO Entidad de Certificación realizará la inspección inicial de la fábrica y del sistema de control de producción en fábrica. Durante dicha auditoría se comprobará que el fabricante ha realizado los ensayos iniciales tipo y ha implantado un sistema de control de producción en fábrica conforme a los requisitos de las normas de aplicación, descritos en los apartados anteriores.

AIDICO Entidad de Certificación realizará un informe de la inspección, en el que se describirá el resultado de la misma. El fabricante deberá remitir a AIDICO Entidad de Certificación las propuestas de acciones correctivas a las posibles desviaciones detectadas en la inspección inicial, así como evidencias de que se han implantado dichas acciones y por tanto se han cerrado las no conformidades registradas.

## 2.4 Concesión del certificado

El Comité Técnico de Certificación de AIDICO evaluará de forma codificada el expediente del fabricante y decidirá sobre la concesión del certificado. Para ello, el resultado de la inspección inicial deberá ser conforme.

El certificado se concederá con una validez de tres años desde la fecha de concesión. AIDICO Entidad de Certificación emitirá cada tres años un nuevo certificado que sustituirá y anulará el anterior.

### 2.4.1 Contenido del certificado de control de producción en fábrica

El certificado de control de producción emitido por AIDICO deberá contener la siguiente información

- Nombre y dirección del fabricante y lugar de producción.
- Descripción del producto (tipo, identificación, uso...) y una copia de la información que acompaña al Marcado CE.
- Disposiciones respecto a la que el producto es conforme (Anexo ZA).
- Condiciones específicas aplicables al uso del producto.
- Número del certificado de control de producción en fábrica.
- Nombre y dirección AIDICO.
- Condiciones y período de validez del certificado.
- Nombre y cargo de la persona facultada para firmar el certificado.

El certificado debe estar redactado en el idioma oficial del Estado Miembro en el que el producto se va a comercializar.

## 2.5 Declaración de conformidad

Una vez el AIDICO ha emitido el certificado de control de producción en fábrica, el fabricante o su representante autorizado en el Espacio Económico Europeo (EEE), debe elaborar una declaración de conformidad que le autoriza a fijar el Marcado CE. Esta declaración debe incluir:

- Nombre y dirección del fabricante y de su representante autorizado establecido en la EEE y lugar de producción.
- Descripción del producto (tipo, identificación, uso...) y una copia de la información que acompaña al Marcado CE.
- Disposiciones respecto a la que el producto es conforme (Anexo ZA).
- Condiciones específicas aplicables al uso del producto.
- Número del certificado de control de producción en fábrica.
- Nombre y cargo de la persona facultada para firmar la declaración.

La declaración de conformidad debe estar redactada en el idioma oficial del Estado Miembro en el que el producto se va a comercializar.

## 2.6 Marcado CE de los productos

El fabricante o su representante autorizado en el EEE es responsable de la fijación del Marcado CE. El símbolo CE debe ser conforme con la Directiva 93/68/CEE y debe mostrarse sobre el producto, en la etiqueta, en el embalaje o en la documentación comercial que lo acompaña, por ejemplo: en el albarán de entrega.

El símbolo CE debe ir acompañado de la siguiente información:

- Número de identificación del organismo de certificación (AIDICO: 1170)
- Nombre o marca comercial y dirección registrada del fabricante.
- Dos últimos dígitos del año en que se fija el Marcado CE.
- Número del certificado de control de producción en fábrica.
- Referencia a la norma armonizada de producto.
- Descripción del producto y uso previsto.
- Información sobre las características esenciales indicadas en los apartados ZA.3.2, ZA.3.3 y ZA.3.4 de la norma armonizada de aplicación, según el método elegido por el fabricante:
  - ZA.3.2: Método 1
  - ZA.3.3: Método 2
  - ZA.3.4: Método 3
- Características PND (la opción PND: “Prestación no determinada” se puede utilizar cuando la característica no tenga un nivel umbral y no esté sujeta a reglamentación en el Estado Miembro de destino, para un uso previsto).

En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se muestran ejemplos de Marcado CE de losas alveolares por los distintos métodos.

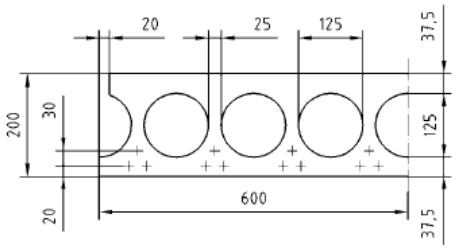
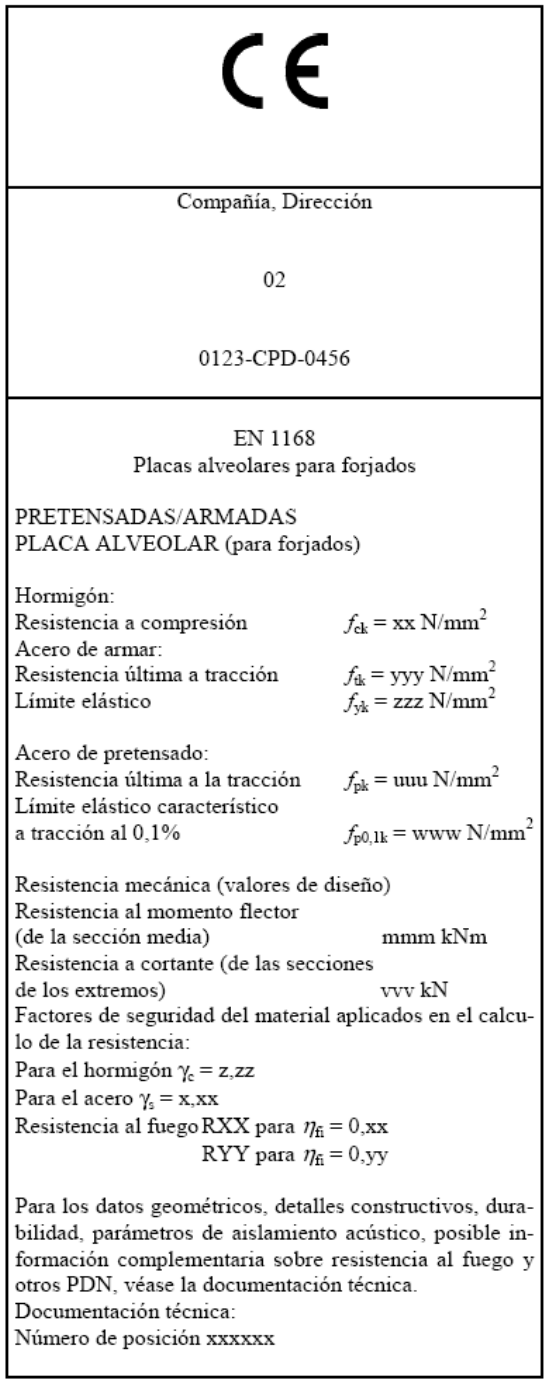
| | |
|---|---|
| CE<br><br>0123 | Marcado de conformidad CE que consiste en el símbolo "CE" establecido en la Directiva 93/68/CEE<br><br>Número de identificación del organismo notificado |
| Compañía, Dirección<br><br>02<br><br>0123-CPD-0456 | Nombre o marca comercial y dirección registrada del fabricante<br><br>Los dos últimos dígitos del año en que se fijó el marcado<br><br>Número del certificado de CPF |
| EN 1168<br><br>  <br><br><br>Placas alveolares para forjados<br><br>PLACA ALVEOLAR PRETENSADA (para forjados)<br>Hormigón:<br>Resistencia a compresión $f_{ck}$ = 60 N/mm$^2$<br>Acero de pretensado:<br>Resistencia última a tracción $f_{pk}$ = 1 860 N/mm$^2$<br>Límite elástico característico<br>a tracción al 0,1% $f_{p0,1k}$ = 1 580 N/mm$^2$<br>Medidas en milímetros<br><br>longitud $L$ = 4 800 ± mm<br>torones 8 × 3 (3W Φ 5,2 – Fe 1 860)<br>baja relajación $\zeta_{1\,000}$ = 2,5%<br>tesado inicial $\sigma_{pi}$ = 1 420 N/mm$^2$<br>Longitud del torón que sobresale l = 0 mm<br><br>Para los detalles constructivos y la durabilidad, véase la información técnica<br>Información técnica:<br>Catálogo de producto ABC: 2002 - capítulo ii | Nombre genérico y uso previsto<br><br>Información acerca de la geometría del producto y las características de los materiales incluyendo los detalles constructivos (para que el fabricante las adapte al producto específico)<br><br>NOTA – Los valores numéricos son sólo un ejemplo<br><br>NOTA – El diagrama se puede omitir si se proporciona una información equivalente en una información técnica identificada claramente (catálogo del producto) a la que se haga referencia. |

**Fig. 2.1: Ejemplo Marcado CE Método 1 losas alveolares**




Marcado de conformidad CE que consiste en el símbolo "CE" establecido en la Directiva 93/68 CEE

Nombre o marca comercial y dirección registrada del fabricante

Los dos últimos dígitos del año en que se fijó el marcado

Número del certificado de CPF

Número y título de la norma europea correspondiente

Nombre genérico y uso previsto

Información acerca de las características mandatadas del producto incluyendo los detalles constructivos (para que el fabricante las adapte al producto específico)

NOTA – Los parámetros de la resistencia mecánica se refieren al elemento prefabricado sin ninguna parte adicional ejecutada *in situ*.

NOTA – Los valores de la resistencia al fuego pueden sustituirse por una referencia a la parte correspondiente de la documentación técnica.

**Fig. 2.2: Ejemplo Marcado CE Método 2 losas alveolares**

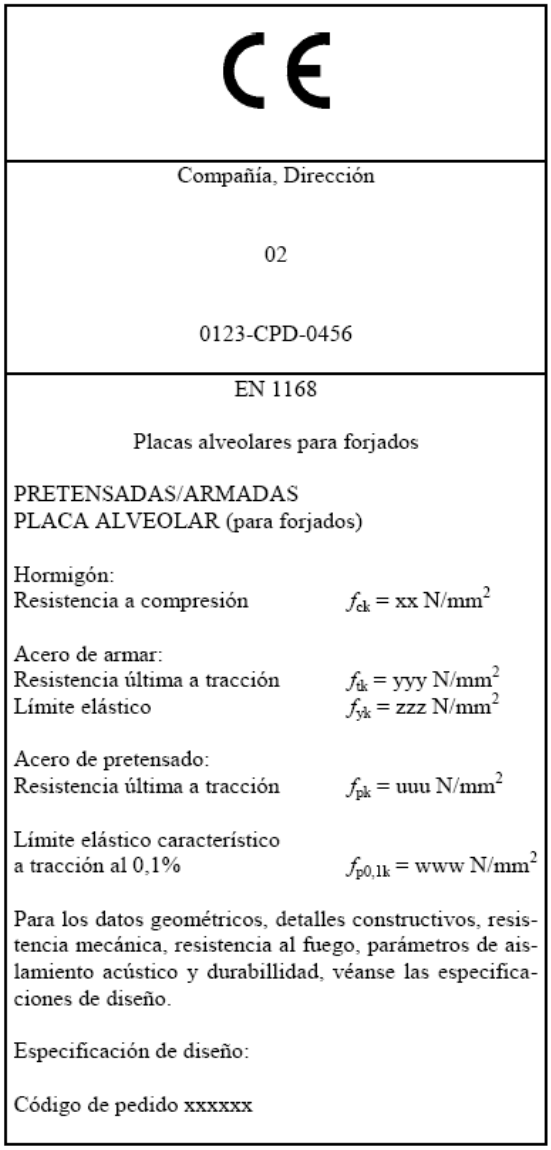



**Fig. 2.3: Ejemplo Marcado CE Método 3 losas alveolares**

Se pueden utilizar etiquetados simplificados, según se indica en el apartado ZA.3.1 de las normas armonizadas. En este caso, el símbolo CE conforme a la Directiva 93/68/CEE debe ir acompañado de la siguiente información:

- Nombre o marca comercial y dirección registrada del fabricante.
- Número de identificación de la unidad para asegurar la trazabilidad.
- Dos últimos dígitos del año en que se fija el marcado CE.
- Número del certificado de control de producción en fábrica
- Referencia a la norma armonizada de producto

El número de identificación de la unidad se debe incluir en la documentación que acompaña al producto, donde se recogerá el resto de información requerida relacionada con la unidad.

Para elementos pequeños o en caso de estampación del producto podría obviarse el certificado de control de producción en fábrica y la referencia a la norma armonizada de producto.

En la figura 2.4 se presenta un ejemplo de etiquetado simplificado de losas alveolares

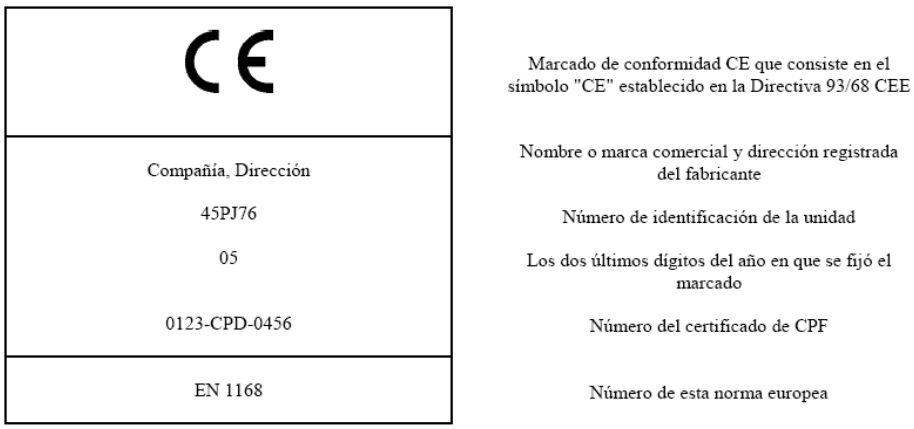



**Fig. 2.4: Ejemplo etiquetado simplificado losas alveolares**

## 2.7 Vigilancia, evaluación y autorización permanente del CPF

Anualmente AIDICO Entidad de Certificación realizará una inspección de la fábrica y del sistema de control de producción en fábrica. Durante la inspección el equipo auditor realizará una o varias de las siguientes tareas:

- Verificar los cambios producidos en el sistema de control de producción en fábrica.
- Verificar que el sistema de control de producción en fábrica está implantado de acuerdo a los requisitos descritos en el apartado correspondiente de la norma de aplicación.
- Verificar el correcto marcado de los productos incluidos en el alcance del certificado.
- Verificar el contendido de la declaración de conformidad.
- Seguimiento de las desviaciones detectadas en inspecciones anteriores.

# MARCADO CE Y MARCAS VOLUNTARIAS SELLO CIETAN

Olga Martínez Muñoz
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## Mercado único y global

La necesidad de este mercado dentro del marco Legislativo Europeo se venía imponiendo a causa de las dificultades y barreras existentes entre países para la libre comercialización de productos en general, debido entre otros a la extensa y compleja reglamentación técnica que venía existiendo entre los Estados Miembros de la Unión. Esta situación, suponía una barrera tanto técnica como legislativa que llevaba consigo controles de calidad en aduanas entre países e inseguridad frente a la responsabilidad de los fabricantes y de los productos.

Las principales actuaciones de los países miembros a nivel legislativo que materializaron este empuje son:
La resolución del Consejo en 1985 donde se introduce la política de "Nuevo enfoque" cuya base es la armonización técnica y normativa;
La aprobación del acta Única Europea en 1986 que planteaba la existencia de un mercado interior en 1993 que permitiera la libre circulación de productos,
La Resolución del Consejo del 21 de Diciembre de 1989, donde se introduce el concepto de "enfoque global", planteado sobre la evaluación de la conformidad a fin de que el reconocimiento de la misma para con un producto, fuera común a todos los Países Miembros.

## Directivas de nuevo enfoque

Sobre la base de esta filosofía , desde 1987 comienza la entrada en vigor de distintas directivas llamadas de Nuevo Enfoque, y con ellas *La Directiva (89/106/CEE) para los Productos de Construcción,* aprobada en el Consejo de Ministros de la U.E el 21 de Diciembre de 1988 y transpuesta al derecho interno Español por Real Decreto de 29 de Diciembre de 1992.Esta directiva, posee la peculiaridad de hacer partícipe en la cruzada abierta hacia la calidad no solamente al producto, sino a las obras en las que van a ser colocados exigiéndoles igualmente el cumplimiento de los requisitos esenciales que en ella se definen con carácter permanente.

### Requisitos esenciales

- Resistencia mecánica y estabilidad
- Seguridad en caso de incendio
- Protección contra el ruido
- Higiene, salud y medio ambiente
- Seguridad de utilización
- Ahorro de energía y aislamiento térmico

Estos requisitos esenciales son concretados uno a uno en los llamados Documentos Interpretativos, los cuales dan forma completa a los mismos armonizando la terminología y las bases técnicas que servirán de referencia a los países miembros.

Es el cumplimiento de estos requisitos lo que lleva consigo la disposición del marcado CE, por lo que es de la mano de esta directiva donde tiene su nacimiento.

# Procedimientos mas comunes para la obtención del marcado CE

Una vez aprobada la citada directiva y para impulsar su desarrollo, el Comité Europeo de Normalización (CEN/CENELEC) (Organismo Europeo integrado por diversos Comités Técnicos con expertos procedentes de toda Europa) recibe por encargo de la Comisión Europea, distintos mandatos para el desarrollo de Normas *armonizadas (*armonizan como su propio nombre indica, criterios de los distintos países de la unión), también llamadas *Normas específicas de producto* donde se recojan de manera específica, desde todos aquellos datos de producto vinculados al cumplimiento de los requisitos esenciales de la directiva, hasta el procedimiento escogido para certificar la conformidad del mismo.

En el caso de que no exista Norma armonizada, y/o nacional reconocida y a su vez tampoco mandato de la Comisión para su redacción, entra en el marco legislativo los llamados DITE (*Documento de Idoneidad Técnica Europea*), donde se define la idoneidad de un producto igualmente fundamentada en el cumplimiento de los requisitos esenciales de la directiva.

Los dos procedimientos descritos son los más habituales para la obtención del **marcado CE,** marcado que colocado en nuestro caso en un producto de construcción, implica que su fabricante o su representante legal establecido en la Unión Europea, *(caso de productos fabricados en países que no pertenezcan a la Unión)*, se ha asegurado de que el producto cumple con los requisitos de la Directiva, bien sea de conformidad con las Normas armonizadas o bien con el Documento de Idoneidad Técnica Europeo y en última instancia bien mediante cualquier otra vía habiéndose aplicado para ello, un sistema de evaluación de la conformidad.

*Norma Armonizada*

Precisado anteriormente se trata siempre de una norma europea EN cuyo cumplimiento, presupone que el producto y/o familia de productos satisface los *requisitos básicos* de la Directiva y por consiguiente puede llevar el marcado CE.
Estas características exigibles para el cumplimiento de los requisitos de seguridad básicos de la directiva, se enumeran en el anexo ZA que se encuentra incluido al final de la norma y es el que le confiere a esta el carácter reglamentario.

En el anexo ZA se establecen todos los aspectos necesarios a cumplir por un producto para la obtención del marcado CE, forma, colocación y datos que el fabricante deberá incluir, en función del sistema de certificación impuesto para evaluar su conformidad. Es en el resto del documento que conforma la norma, donde se realiza el desarrollo de las características del anexo ZA, incluyendo todas las especificaciones que le competen así como los umbrales, clasificaciones, intervalos etc. dentro de cada una si los hubiere y haciendo a su vez referencia a todas aquellas normas de ensayo obligatorias para determinar los valores de las mismas.

El cumplimiento de este anexo ZA de la norma, es el que permite al fabricante realizar la libre comercialización de su producto entre los países miembros, de ahí su carácter reglamentario.

El anexo ZA se compone principalmente de:

**Tabla donde se indican las características obligatorias y mínimas a evaluar y declarar para poder colocar el marcado CE**.

Cabe destacar que puede establecer ciertas características en su anexo ZA que aún siendo básica su aplicación y consiguientemente su declaración en otros países por fundamentar un requisito esencial de la directiva, no lo son en el nuestro y/o viceversa al no estar sujetas a requisitos reglamentarios en la normativa nacional para un uso/s determinado, bien por condiciones geográficas costumbristas, etc.

Estas consideraciones, se tienen en cuenta a la hora de realizar su transposición al marco Español al igual que ocurre con el resto de los Países Miembros, por lo que en el anexo ZA se establece la posibilidad de que el fabricante disponga las siglas NPD (*No performance determined*) *"Prestación no determinada",* en aquellas características que no sea reglamentaria su aplicación para un determinado uso.

**Tabla donde se indique el sistema de evaluación de la conformidad a aplicar establecido por la normativa para ese producto y/o familia de productos.**

La certificación de conformidad de un producto presupone que el fabricante dispone de un sistema de control de producción en la fábrica mediante el cual garantiza que la producción es conforme con las especificaciones técnicas correspondientes; o que para productos especiales mencionados en las especificaciones técnicas correspondientes, además del sistema de control de producción en la fábrica, ha intervenido en la evaluación y vigilancia del control de producción o del propio producto un organismo de certificación autorizado a dichos efectos.

Son 6 los sistemas de certificación de la conformidad que actualmente están establecidos por la Comisión conforme a la Directiva y que a continuación se detallan.

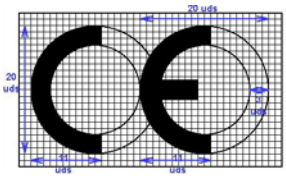
**Tabla 1.Sistemas de certificación**

| SISTEMA | TAREAS DEL FABRICANTE | TAREAS DEL ORGANISMO NOTIFICADO | DOCUMENTOS |
|---|---|---|---|
| 4 | -Ensayo inicial de tipo de producto<br>-Control de producción en fábrica | | Declaración de conformidad del fabricante |
| 3 | Control de producción en fábrica | Ensayo inicial de tipo de producto | Declaración de conformidad del fabricante |
| 2 | -Ensayo inicial de tipo de producto<br>-Control de producción en fábrica | Certificación de control de producción en fábrica, sobre la base de una inspección inicial | Declaración de conformidad del fabricante + Certificado del control de producción en fábrica |
| 2+ | -Ensayo inicial de tipo de producto<br>-Control de producción en fábrica<br>- Ensayo de muestras tomadas en la fábrica de acuerdo a un plan determinado de ensayos | Certificación de control de producción en fábrica, en base a:<br>-Inspección inicial<br>-Vigilancia, evaluación y autorización permanente del control de producción en fábrica (inspecciones periódicas) | Declaración de conformidad del fabricante + Certificado del control de producción en fábrica |
| 1 | -Control de producción en fábrica<br>- Ensayo de muestras tomadas en la fábrica de acuerdo a un plan determinado de ensayos | Certificación de control de producción en fábrica, en base a las tareas del organismo notificado y a las tareas asignadas al fabricante.<br>Tareas del Organismo notificado:<br>- Ensayo inicial de tipo de producto<br>Inspección inicial de la fabrica y del control de producción en fábrica<br>- Vigilancia, evaluación y autorización permanente del control de producción en fábrica( inspecciones periódicas) | Declaración de conformidad del fabricante + Certificado del control de producción en fábrica |
| 1+ | Control de producción en fábrica | Certificación de control de producción en fábrica, en base a las tareas del organismo notificado y a las tareas asignadas al fabricante.<br>Tareas del Organismo notificado: - Ensayo inicial de tipo de producto Inspección inicial de la fabrica y del control de producción en fábrica<br>Vigilancia, evaluación y autorización permanente del control de producción en fábrica( inspecciones periódicas)<br>-Ensayo por sondeo de muestras tomadas en la fábrica, en el mercado o en obra | Declaración de conformidad del fabricante +Certificado de conformidad del producto |

**Apartado donde se indica cómo el fabricante debe hacer el etiquetado del marcado CE y su contenido.**

**Apartado donde se indica cómo debe el fabricante hacer la "Declaración de conformidad"**

**Tabla 2**

| MARCADO CE | DECLARACION DE CONFORMIDAD | CERTIFICADO CE |
|---|---|---|
| DATOS QUE DEBERAN REFLEJARSE | | |
| - El marcado CE de conformidad estará compuesto de las iniciales "CE" diseñadas de la siguiente manera:<br>  <br>- En caso de reducirse o aumentarse el tamaño del marcado CE, deberán conservarse las proporciones de este logotipo.<br>- Los diferentes elementos del marcado CE deberán tener una dimensión vertical apreciablemente igual que no será inferior a 5 mm.<br>- El marcado CE irá seguido del número de identificación del organismo encargado de la fase de control de la producción.<br>**Inscripciones complementarias**<br>- El marcado CE irá acompañado del nombre o la marca distintiva del fabricante, las dos últimas cifras del año de colocación del marcado y, cuando proceda, del número del certificado CE de conformidad y en su caso, de indicaciones que permitan identificar las características del producto atendiendo a sus especificaciones técnicas. | Nombre y dirección del fabricante o su representante establecido en la Unión Europea.<br>Descripción del producto (suficientemente detallada para que sea sencillo identificar los especímenes por ella cubiertos: marca, modelo, etc.).<br>Disposiciones pertinentes a las que el producto se ajusta (Directivas de Nuevo Enfoque).<br>Referencia a las normas armonizadas utilizadas (también es posible incluir otras normas<br>o especificaciones técnicas que se hayan usado).<br>Nombre de los Organismos Notificados que hayan intervenido en la evaluación de la conformidad del producto.<br>Número/s de certificado "CE" de tipo, en caso necesario.<br>Cuando se trate de un importador o comercializador, nombre y razón social de éste.<br>Identificación del signatario (nombre, apellido y cargo).<br>Fecha. | - nombre y dirección del organismo de certificación;<br>- nombre y dirección del fabricante o de su mandatario establecido en la Comunidad;<br>- descripción del producto (tipo, identificación, utilización...);<br>- disposiciones a las que se ajusta el producto;<br>- condiciones específicas aplicables a la utilización del producto;<br>- número del certificado;<br>- en su caso, condiciones y duración de la validez del certificado;<br>- nombre y cargo de la persona facultada para firmar el certificado. |

## Dite (Documento de Idoneidad Técnica Europea)

En el caso de que no exista Norma armonizada, y/o nacional reconocida y a su vez tampoco mandato de la Comisión para su redacción, entra en el marco legislativo los llamados DITE (*Documento de Idoneidad Técnica Europea*), donde se define la idoneidad de un producto igualmente fundamentada en el cumplimiento de los requisitos esenciales de la directiva.

De manera resumida, diremos que el proceso más común para su concesión comienza por el encargo de la Comisión igualmente por mandato a EOTA (*Organización Europea para Documento de Idoneidad Técnica*), la redacción de una guía DITE donde se defina cómo evaluar las características y requisitos del producto/ familia, así como los métodos de evaluación, ensayos y su período de validez común para todos los miembros de la EOTA que posteriormente serán los que concederán los DITE.
La EOTA está formada por todos los Organismos Autorizados tanto de los países miembros como de los firmantes del acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo para la concesión del documento. Actualmente se encuentra formada por 29 miembros entre los que se encuentran los portavoces españoles:
El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) y el Institut de la Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC).
Solo los Organismos Autorizados podrán conceder los DITE tras un proceso de petición previo por un fabricante, concesión que le permitirá colocar de igual manera el marcado CE en su producto.

## Marcado CE

El marcado CE significa una garantía de que el producto es conforme con la directiva o directivas que le sean de aplicación. Para adquirir esta presunción de conformidad lo más habitual y ventajoso, es que el fabricante recurra al cumplimiento de una norma armonizada donde se fija el nivel de seguridad requerido mediante la declaración de las características establecidas en la tabla za del anexo, conforme a los métodos de cálculo y/ó ensayo que para cada una de ellas la norma establece. Pero igualmente podría recurrir a otros medios ya que a priori no se establece ningún método concreto, debiendo en tal caso alcanzar un nivel de seguridad como mínimo equivalente al establecido en las normas.

Este cumplimiento del producto conlleva a la obtención de un pasaporte técnico que le permite la libre circulación por los Estados Miembros. Cabe señalar que no necesariamente el pasaporte técnico supone una calidad del producto, sino la garantía de un nivel mínimo de seguridad.

## Distintivos de calidad. Diferencia con el marcado CE

Como diferencia principal encontramos que el marcado *CE es obligatorio* para todo producto susceptible de comercializarse entre países de la unión, mientras el resto marcas o sellos son distintivos voluntarios de calidad (AENOR, CIETAN etc.).
Cuando hablamos de distintivo *de calidad*, comúnmente la asociamos a marca de producto, lo cual no debe confundirse con certificación de sistemas de calidad ya que aunque ambos podemos englobarlos en sistemas de certificación voluntarios, mientras que la primera se

vincula principalmente al producto, el otro abarca el registro de empresa, es decir el sistema de calidad aplicado a la generalidad del proceso de producción, administrativo etc. Pongamos como ejemplo común de este apunte, cuando alguien nos comenta que su empresa o mejor dicho el sistema de calidad de la misma, se encuentra certificada en base a la ISO 9001.

En cuanto a las marcas de producto, se certifican en base a sus propios reglamentos, los cuales, deben adecuarse a lo establecido por las normas UNE-EN correspondientes, pudiendo verse incrementadas las características y/o exigencias pero nunca disminuidas.
En estos reglamentos, las marcas establecen las evaluaciones que el producto deberá superar para que se pueda certificar, referidas a la fabricación; toma de muestras y ensayo del producto; control interno que deberá realizar el fabricante, valoraciones de los ensayos; los controles externos a realizar; especificaciones del marcado, etc. basados habitualmente entre otras en normas UNE de buen entendimiento constructivo.

Los distintivos de calidad pueden coexistir con el marcado CE añadiendo un valor adicional siempre que cumplan otra función distinta a la del marcado y no creen confusión con respecto a este reduciendo su visibilidad y/o legibilidad.

**¿Pero donde puede residir este valor añadido?**

1) Si partimos de la Directiva de productos de construcción, concluimos que la exigencia implícita de la misma, reside en el cumplimiento por parte del fabricante de aquellos requisitos mínimos que se establecen en la Norma armonizada limitados a una serie de características incluidas en el anexo (ZA) y cuyos valores deberán ser declarados por el fabricante conforme a los ensayos normalizados. Es únicamente esta declaración de estas características la que a ciertos productos (no estructurales) le confiere el cumplimiento de los requisitos básicos y por consiguiente la aptitud para dotarlos de ese pasaporte técnico que le permita la libre comercialización.

2) Otra cuestión a tener en cuenta, es que en el citado anexo, se establecen las características a declarar pero no valores específicos que deban alcanzarse para el producto, sino cuando procede, se establecen niveles/ clases con umbrales y rangos entre los que deberán declararse los valores como mínimo. Estos niveles y clases se establecen a fin de crear un abanico que abarque las posibles diferencias entre niveles de exigencias que se aplican en los distintos Estados Miembros debido en parte a disparidades en las condiciones de tipo geográfico, climático, de hábitos o de propiedades del mismo producto etc.…

Estas diferencias de nivel en las exigencias que se hacen notar entre las Normativas Nacionales provocando disparidad, hacen que los rangos o umbrales de valores estipulados en las características a declarar, se establezcan con amplitud para posibilitar que englobe a todos los productos de los distintos países del marco común, motivando que en ocasiones, resulten insuficientes comparativamente con la exigencia nacional de determinado/s países para un uso/usos determinados.
Esta premisa unida a que no en todas las características, ni en todos los productos y/o familias existen clases o niveles, es lo que nos hace reflexionar *que no necesariamente el marcado CE es sinónimo de calidad* entendida como el nivel de exigencia requerido.

En resumen, nos podemos encontrar con que la Norma armonizada no incluya niveles ni clases para las características establecidas en el anexo ZA con lo cual la obligatoriedad del fabricante se reduce únicamente a declarar los valores mediante el ensayo normalizado; o bien, que la normativa nacional establezca especificaciones de las características y de los

niveles de rendimiento para determinados usos independientemente de si a nivel europeo existan o no clases y niveles, lo cual significa que podrán existir fabricantes que declaren valores mas altos y otros más bajos en una misma característica para un mismo producto, pero ambos podrán comercializar dentro del mercado único. Esta disparidad posibilita que un determinado producto de la construcción que lleva el marcado CE, no resulte apto para el uso previsto en todos los Estados Miembros y en las diferentes condiciones locales.

En cuanto a certificación de los productos, si analizamos los distintos sistemas existentes para obtener la evaluación de la conformidad y consiguiente marcado CE, observamos que todos aquellos productos o familias en cuya norma armonizada se establezca un sistema 3 o 4, la obligación del control de producción por tercera parte se limita al ensayo inicial de tipo, mientras que el resto del control queda a merced del fabricante el cual además de controlar el producto mediante los ensayos que correspondan, se debe asegurar que toda la producción o instalación cumple los *requisitos esenciales*.

Como valores adicionales de los distintivos de calidad podemos señalar:

- Establecen sistemas de certificación habitualmente más elevados y restrictivos, con controles más rigurosos que conlleva un mayor seguimiento del producto a todos los niveles de la producción y puesta en el mercado del mismo.
- Evalúan características técnicas ausentes en el marcado, las cuales añaden un incremento de la información técnica y por consiguiente un mayor conocimiento de las prestaciones del producto.
- Incluyen aspectos para la utilización y puesta en obra del producto, datos que condicionan notablemente la calidad de la aplicación y por tanto de la calidad final.
- En ocasiones, su posesión permite beneficiarse en temas como los controles de recepción y coeficientes parciales de cálculo, al considerarse disminuido el riesgo del consumidor.

Visto estos valores adicionales parece lógico que la normativa establezca umbrales de control en la recepción del producto más flexibles para aquellos que se encuentran avalados por un sello o una marca de calidad, entendiendo esto, como un añadido no debiendo suponer su no posesión una barrera técnica a su utilización. Como ejemplo de ventajas en la normativa encontramos:

- *En cuanto a cálculos, el artículo 6 de la EFHE establece una reducción de los coeficientes parciales de seguridad de las acciones para las comprobaciones de los ELU en el caso de que los elementos resistentes prefabricados posean un distintivo oficialmente reconocido.*

- *En cuanto a recepción la RC 93, planifica el control de recepción distinguiendo entre ensayos de identificación de suministro y de control, eximiendo de los de control con la posesión del marcado CE, y asimismo de los de identificación para aquellos que además posean una marca voluntaria.*

- *En el artículo 90 sobre calidad del acero de la EHE, los productos certificados gozan de controles de recepción menos estrictos en la EHE reduciéndose en un 50% la cantidad de material a ensayar y gozando a su vez de una presunción de garantía de resultados que permite su puesta en obra previa obtención de los resultados que lo avala.*

## Distintivos de calidad en el nuevo Código técnico de la Edificación

Los documentos que constituyen el Código Técnico de la Edificación, persiguen un carácter prestacional y no prescriptivo, es decir, establecer explícitamente los objetivos y el modo de alcanzarlos sin obligar al uso de soluciones concretas, lo que permite fomentar la innovación y desarrollo tecnológico en todo el proceso constructivo. No obstante, esta gran puerta que se abre a la innovación, lleva de la mano un grado de exigencia y especificación que obliga a la definición de la obra tanto en proyecto, como en ejecución, definición que resulta ineludible, a fin de que las soluciones proyectadas cumplan las exigencias básicas requeridas.
Este grado de definición por consiguiente, abarca tanto a condiciones de ejecución de las unidades de obra, controles y verificaciones, condiciones de suministros etc. pasando como no, por el producto para el que se pronuncia en los siguientes términos:

En la LOE un producto es adecuado al uso previsto, si permite cumplir las exigencias que en su caso establezca la normativa técnica aplicable para los edificios donde va a ser instalado, que son las fijadas en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El CTE recoge en su parte I esta misma premisa, incluyendo:

1) La obligatoriedad de que los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios lleven el marcado CE de conformidad con la Directiva 89/106/CEE.

2) La consideración de conformidad con el CTE de aquellos productos, equipos y sistemas innovadores siempre que demuestren el cumplimiento de las exigencias básicas, mediante evaluaciones técnicas favorables de su idoneidad para el uso previsto, concedida a su entrada en vigor por entidades autorizadas reconocidas por las Administraciones Públicas.

Sin perjuicio de la obligatoriedad del marcado CE establece, que marcas, sellos, certificaciones de conformidad u otros distintivos de calidad voluntarios que faciliten el cumplimiento de las exigencias básicas podrán ser reconocidos por las Administraciones Públicas competentes.

Igualmente deja el campo abierto a la posibilidad de reconocimiento de certificaciones tales como conformidad de prestaciones finales de edificios, certificaciones que ostenten los agentes que intervienen en la ejecución de las obras o aquellas medioambientales como las que consideren el análisis del ciclo de vida de los productos, eso sí, estableciendo unos criterios comunes para todas las que quieran adquirir tal competencia.

En conclusión, podemos resaltar que esta nueva apuesta por el incremento de la calidad que se pone de manifiesto, suscita que el mercado disponga respuestas eficaces y directas donde las marcas de calidad toman fuerza, y dado que los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios, en función de su uso llevarán el marcado CE siempre que se haya establecido su entrada en vigor, ***son las marcas voluntarias que podrán coexistir con el marcado CE las que añaden un valor adicional.***

## Calidad en los productos prefabricados. Sello Cietan

La prefabricación se encuentra actualmente en auge en España tanto por la diversidad de productos, como por la rapidez de su ejecución. La calidad en la prefabricación debe encontrarse implantada desde los procesos de elaboración de materias primas/materiales utilizados en sistemas constructivos industrializados.

Estos requisitos de calidad más exigentes cuanto mayor es la influencia estructural del elemento, vienen siendo exigidos y regulados tanto por la normativa Española como por la Europea, donde se disponen las especificaciones que deben satisfacer tanto las materias primas como los productos elaborados.

En el caso de los productos prefabricados de hormigón estructural la normativa Española actual que los regula son la Instrucción de hormigón EHE de manera general complementándose con la instrucción EFHE en el caso de los forjados unidireccionales. Asimismo es para los elementos constitutivos de los forjados unidireccionales donde la normativa se amplia obligando al cumplimiento de la EHE, EFHE y del R.D 1630/80 donde le son exigidos al fabricante y a las instalaciones una serie de requisitos técnicos tales como:

- La Autorización de Uso como documento técnico exigido por la administración para la comercialización del producto. Consiste, básicamente, en la definición precisa de los elementos constituyentes del sistema y sus características físicas y mecánicas. Debe ser presentado y aprobado por los servicios técnicos del Ministerio de Vivienda.
- Instalación fija, técnico de control al frente de la producción, existencia de laboratorio en fábrica para caracterizar el hormigón y los materiales empleados etc..

Es dentro de este marco normativo donde el Sello de Conformidad Cietan como distintivo de calidad elabora su reglamentación con el objetivo de garantizar al consumidor y al fabricante un nivel tecnológico que garantice las exigencias constructiva del sector.

## Sello de conformidad CIETAN

Nace en el año 1970 con el objetivo de promover la calidad a través del progreso tecnológico dentro de la construcción, específicamente en el campo de los forjados de edificación. Creado por iniciativa de los fabricantes a través de la Asociación General de Derivados del Cemento (ANDECE), y del propio Instituto Eduardo Torroja(IETcc).

Su finalidad principal, es la de promover la calidad y acrecentar la seguridad en su uso y comportamiento de los elementos prefabricados para forjados unidireccionales, garantizando que la fabricación parte de materia prima adecuada y homogénea, que el fabricante dispone de medios convenientes de fabricación y control de calidad y que la calidad estadística de la producción se ajusta a lo especificado en la Normativa vigente.

Su posesión supone para el usuario la garantía y seguridad de emplear un producto altamente fiable, cuya calidad ha sido evaluada por procesos internos y externos de control, mediante un sistema implantado por el fabricante y controlado por los expertos del sello durante las distintas inspecciones.

Tal y como se ha dicho anteriormente posee una reglamentación técnica en la que se desarrolla un proceso de control de calidad basado en la normativa vigente EHE constituido por:

Un sistema de control interno mediante el cual el fabricante comprueba la idoneidad de las materias primas y del proceso de fabricación.

Inspecciones externas que supervisan el control interno, comprueban las instalaciones de fabricación y efectúan ensayos del producto acabado.

Proceso en el que previamente ha sido exigido por el sello que la empresa tenga establecido e implantado un sistema de calidad basado en la Norma UNE-EN ISO 9001.Requisito que permite al sello optar a la obtención de la homologación requerida por las administraciones públicas.

En este sentido, existen algunos productos que avala el sello, como por ejemplo las placas alveolares, donde tanto en el control interno como en el control externo el sello Cietan viene realizando a sus fabricantes inspecciones donde las exigencias en algunos aspectos del sistema de certificación son mayores que las exigidas actualmente por el sistema 2+ que le aplica conforme a la norma Armonizada EN 1168. Dichas exigencias que a continuación se destacan comparativamente van encaminadas a conseguir una mayor calidad del producto acabado y un consecuente menor riesgo del consumidor.

**Tabla 3**

| **SISTEMA DE CERTIFICACION 2+** | **CONTROL SELLO CIETAN** |
|---|---|
| **Tareas del fabricante** | **Tareas del fabricante (Control interno)** |
| • Ensayo inicial de tipo<br>• Control de producción en fábrica<br>  • Inspección de equipos<br>  • Inspección de materias primas<br>  • Inspección de proceso ( incluye el producto semielaborado)<br>• Ensayos de autocontrol<br>  • Ensayos producto semielaborado*<br>  • Producto acabado * | Control de producción en fábrica<br>• Inspección de equipos<br>• Inspección de materias primas<br>• Inspección de proceso ( incluye el producto semielaborado)<br>• Ensayos de autocontrol<br>  • Ensayos producto semielaborado*<br>  • Producto acabado<br>  • Ensayos no destructivos<br>  • Ensayos destructivos |

En este apartado cabe señalar que la norma recoge que tanto la frecuencias como los ensayos se podrán adaptar incluso eliminar cuando se obtenga información equivalente directa ó indirectamente del producto o del proceso .

**Tabla 4**

| **Tareas del Organismo Notificado** | **Tareas del sello (control externo)** |
|---|---|
| | Ensayos de homologación para su concesión. |
| Certificación del control de producción en fábrica basado en : | Seguimiento del producto certificado |
| • Inspección inicial de fabrica y del c.p.f<br>• Fabrica<br>• Ensayos iniciales<br>• Control de producción completo | 1ª Inspección (anual)<br>Fase A: Verificación de la correcta implantación del sistema de control por parte del fabricante<br>Fase B: Inspección no destructiva del producto acabado<br>Fase C: Inspección destructiva del producto acabado* |
| • Inspecciones periódicas del c.p.f (anual)<br>• Ensayos iniciales ( si cambios)<br>• Sistema de control de producción en fabrica (parte) | 2ª Inspección (anual)<br>Fase A: Verificación de la correcta implantación del sistema de control por parte del fabricante<br>Fase B: Inspección no destructiva del producto acabado |

*Resaltar que en el control externo que realiza el sello Cietan, incluye una Fase C, donde son tomadas muestras de las fabricas y ensayadas en laboratorio acreditado.

Actividades del Sello

- Actividad principal Certificación: viguetas y prelosas de hormigón armado y pretensado y losas alveolares de hormigón pretensado.
- Normalización: redacción y actualización de Reglamentaciones Técnicas, colaboración con la Administración en la redacción de normativa oficial, colaboración con entidades de normalización nacionales y europeas (AENOR, CEN,...)
- Desarrollo: actividades de investigación y desarrollo (I+D), y publicaciones
- Formación: cursos de formación, jornadas de difusión

Seminario S5

# Hormigones estructurales especiales

# HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE. Características y aplicaciones.

Luis Garrido Romero
Universidad de Granada

## 1. INTRODUCCIÓN.

El hormigón autocompactante (HAC) fue desarrollado originariamente en Japón a finales de los años ochenta, con la finalidad de mejorar la durabilidad de los hormigones en un sector, el de la Construcción, con creciente escasez de personal cualificado, y en un país donde los condicionantes sísmicos obligan a adoptar necesariamente fuertes cuantías de armado en las estructuras. Diversas investigaciones demostraron que ambos factores podían repercutir muy negativamente en la calidad del vibrado y que los defectos de compactación podían llegar a multiplicar por un factor superior a diez la permeabilidad del hormigón, mermando en gran medida su durabilidad y la vida útil de las estructuras con él construidas.

Se trata de un hormigón de consistencia líquida, diseñado específicamente para llenar los moldes y encofrados por la simple acción de la gravedad, es decir, de la consolidación debida al peso de la masa fresca, sin ayuda de ningún otro medio de compactación interna o externa. Debe mantenerse homogéneo y estable tanto en el transporte como en su puesta en obra, no produciendo segregación del árido grueso ni exudación de lechada y siendo capaz de atravesar, sin bloquearse, los obstáculos que para su flujo constituyen las armaduras. Todo ello requiere de un adecuado balance entre la fluidez necesaria para rellenar el encofrado y la viscosidad precisa para dotar a la mezcla de la suficiente resistencia a la segregación. Estas dos propiedades, esenciales y opuestas, deben encontrarse, pues, en un equilibrio estable y óptimo.

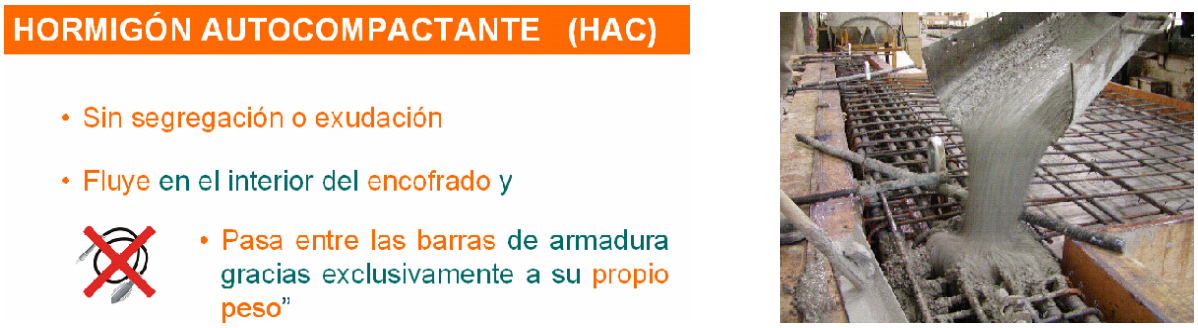



**Figura 1. Fluidez, capacidad de paso entre armaduras y resistencia a la segregación son las características esenciales del hormigón autocompactante.**

Las especiales prestaciones del HAC que se obtienen a través de su fluidez, viscosidad y cohesión posibilitan el realizar piezas con alta densidad de armado y hormigonar espacios cerrados o en zonas alejadas del punto de vertido; condiciones en las que un hormigón convencional difícilmente podría ser puesto en obra con garantías. Sin embargo, las caracterís-

ticas más importantes de este tipo de hormigón y que lo hacen competitivo, no son tanto sus propiedades físicas sino otras tales como la productividad derivada de su uso, la mejora del entorno de trabajo y las nuevas posibilidades de diseño que brinda su sencilla colocación.

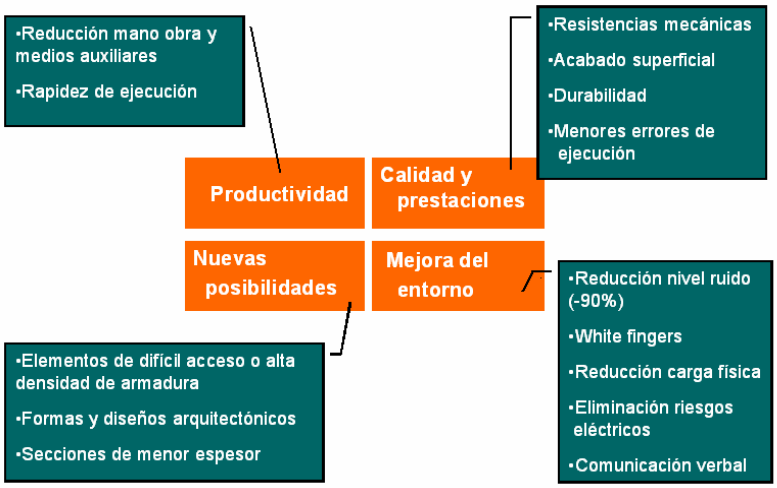



**Figura 2. Ventajas del hormigón autocompactante.**

En efecto, la supresión del trabajo de compactación aumenta la velocidad de construcción y reduce costes y mano de obra considerablemente, además de prolongar la duración de moldes y encofrados. El HAC también puede dar como resultado una mayor productividad en el proceso de transporte y colocación del hormigón fresco, ya que la fluidez que le caracteriza permite el desarrollo de nuevos procedimientos de bombeo y de llenado de encofrados.

Por otra parte, se ha comprobado en relación con la puesta en obra del hormigón tradicional, que vibraciones por encima del umbral de los 0.25 $m/s^2$ originan dolores, fatiga y rigidez en las articulaciones de los trabajadores. Es por ello que se produce uno de los principales riesgos laborales de la construcción con hormigón, la afección llamada de los “dedos blancos”, que se presenta como consecuencia de la vibración de los asideros de los vibradores de mano y que origina la pérdida de sensibilidad en los dedos. Con la eliminación de la vibración se evita este trastorno.

Otro aspecto importante que hasta ahora llevaba implícita la colocación del hormigón era el ruido que origina el proceso de vibración, bien de los vibradores de mano, los vibradores de superficie o los de encofrado. El empleo de HAC supone eliminar esta fuente de ruido y reducir así, en más de un 90% el ruido ambiental asociado a la puesta en obra, circunstancia que en entornos urbanos o en instalaciones de prefabricación cobra especial relevancia, tanto por la propia mejora ambiental como por evitar la necesidad de disponer protecciones auditivas para los trabajadores. Y a ello se añaden, por último, la propia reducción de la carga física de mover las mangueras de las bombas, y manejar el equipo de vibración, el incremento de la seguridad que se deriva de la ausencia de cables, transformadores y enchufes en el lugar de trabajo y la posibilidad de comunicación verbal entre los operarios.

## 2. EXPERIENCIAS Y CAMPOS DE APLICACIÓN.

El hormigón autocompactante se ha empleado en aplicaciones de prefabricación, edificación y obra civil. Así, desde los primeros estudios y experiencias llevadas a cabo en 1988, el uso del HAC se ha incrementado gradualmente, siendo las principales razones de su empleo la alta productividad que se consigue en su puesta en obra y la eliminación del ruido derivado de la vibración.

La primera realización de entidad a escala real de la que constan referencias es la construcción en Japón de los dos bloques de anclaje del puente colgante Akashi Kaikyo, iniciado en 1992 e inaugurado a mediados de 1998, donde se empleó un volumen de 250.000 $m^3$ de HAC y se alcanzaron rendimientos de 1.900 $m^3$/día, logrando una reducción del plazo de hormigonado de 3 meses (-20%). Tan sólo unos meses más tarde y asimismo en Japón, se empleó HAC en la construcción en Osaka de un depósito de gas criogénico, donde, además de reducir el plazo de construcción de 22 a 18 meses (-18%), se disminuyó considerablemente la mano de obra necesaria, precisando únicamente 50 obreros en un trabajo que con hormigón convencional hubiera requerido de unos 150 trabajadores (reducción del –67%).

Refiriéndonos a Europa, las primeras experiencias del Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de París datan de 1995 y en el año 2000 gracias a un proyecto nacional francés para el desarrollo del HAC, la producción de este hormigón en el sector del hormigón preparado se cifraba en 50.000 $m^3$. Sin embargo, la verdadera vanguardia tecnológica del hormigón autocompactante tanto a escala europea como mundial la representan hoy por hoy los países nórdicos, fundamentalmente Suecia, donde son de destacar los trabajos de investigación emprendidos por el Instituto Sueco de Investigación sobre el Hormigón y el Cemento (CBI). Allí y también en Dinamarca o en países centroeuropeos como Alemania o Suiza, el empleo de HAC experimenta fuertes niveles de crecimiento. En Holanda e Inglaterra el 70 y 40%, respectivamente, de las empresas de prefabricación utilizan HAC en la actualidad.

La experiencia en España es aún más reciente. En obra civil la realización pionera se remonta tan sólo a 2001 con la construcción del puente de la Hispanidad sobre el río Ebro en Zaragoza cuyo arco mixto de sección triangular fue ejecutado con HAC para asegurar un eficiente relleno de la estructura metálica. En cuanto a edificación, a principios de 2002 se construye la primera aplicación de HAC postesado y con requerimientos de hormigón visto: el nuevo edificio del Ayuntamiento de Mollet del Vallés (Barcelona). Y, finalmente, en lo que se refiere al uso de HAC en la industria de la prefabricación española, puede decirse que los primeros pasos para la adaptación de los procesos productivos y las experiencias iniciales datan de los años 2000 y 2001. Hoy día numerosos fabricantes emplean HAC en cuotas del 80-90% de su producción.

Tras estas experiencias iniciales y a pesar de no existir aún una normativa específica, salvo a nivel autonómico las “Recomendaciones para la utilización de hormigón autocompactante” de la Junta de Andalucía, los últimos tres años han supuesto un fuerte incremento del empleo de HAC en obras civiles y, en menor medida, en edificación. Las siguientes figuras ilustran este desarrollo.

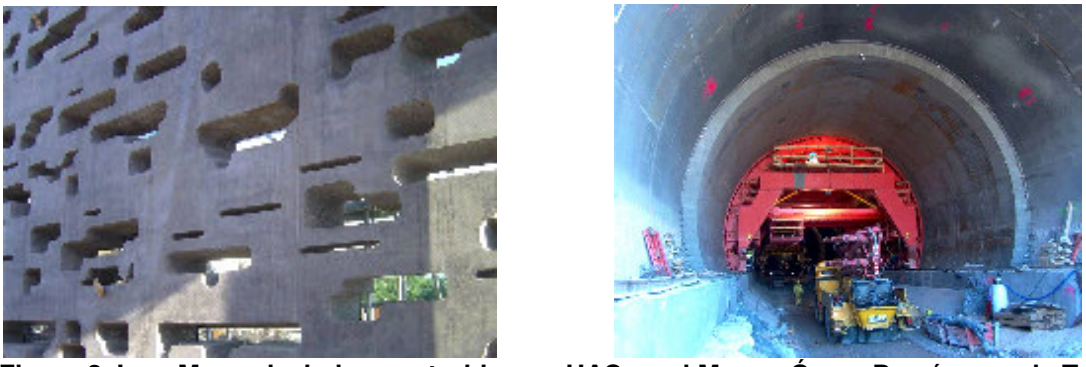


**Figura 3. Izq.: Muro pixelado construido con HAC en el Museo Óscar Domínguez de Tenerife, 2005. Dcha.: Refuerzo, mediante HAC, del revestimiento de los túneles del Montblanc en la L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona, 2005.**

**Figura 4. Izq.: Empleo de HAC en la fabricación de 188 vigas artesa para la L.A.V. Sevilla-Cádiz en la Variante de El Portal. Dcha: Construcción de 248 viviendas en Jerez empleando HAC en cerramientos exteriores, divisiones einteriores, forjados y escaleras, 2006.**

**Figura 5. Vista panorámica del puente "El Guardián del Castillo" (Alcalá de Guadaira, 2007)**

Como principales campos de aplicación en los que, por el momento, se ha empleado el HAC cabe destacar:

- Hormigonado de estructuras fuertemente armadas o de difícil acceso para la puesta en obra del hormigón.
- Puentes y viaductos.
- Elementos voluminosos de hormigón, gracias a la reducción de plazos y de coste que supone esta técnica.
- Revestimiento de canales de desagüe, túneles de carretera y ferrocarril, con mejores acabados superficiales, resistencias mecánicas y reducidos plazos de ejecución.

- Estaciones de tratamiento de aguas, por razones de productividad y durabilidad de los hormigones.
- Rehabilitación de viviendas antiguas, a fin de eliminar posibles problemas originados por el efecto del vibrado en estructuras antiguas.
- Hormigones arquitectónicos con altas exigencias en calidad de acabado.
- Aplicaciones horizontales (forjados, soleras y losas de cimentación) por la facilidad y rapidez de colocación y la eliminación de la necesidad de compactación mecánica. Se precisa menos mano de obra y se reducen las labores de acabado.
- Aplicaciones verticales (muros, pilares) por la reducción del tiempo de colocación, mayor regularidad y calidad de las superficies en contacto con los encofrados (ausencia de burbujas y nidos de grava).
- Prefabricación en general, permitiendo la fabricación de elementos de pequeño espesor y elevada densidad de armadura, así como piezas de formas complejas (curvas, superficies inclinadas, superficies con huecos o recortes, etc.).
- En general, todo tipo de hormigonados en entornos sensibles al ruido (hospitales, colegios,...).

# 3. DISEÑO DEL MATERIAL: CONSTITUYENTES, PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO Y DOSIFICACIÓN.

## 3.1 Materiales constituyentes.

Los componentes del HAC son básicamente los mismos que constituyen el hormigón convencional. En cambio, las proporciones de los mismos pueden variar significativamente respecto a las usuales para estos últimos, caracterizándose el hormigón autocompactante por un menor contenido de árido grueso, un mayor contenido de finos minerales y, en general, un tamaño máximo del árido más reducido. Esa diferente dosificación hace posible la obtención de un hormigón fluido y viscoso y, en definitiva, autocompactante.

Habitualmente el contenido de cemento en el HAC oscila entre los 250 y los 450 kg/$m^3$, ya que por debajo de 350 Kg/$m^3$ se precisa incluir adiciones para aumentar el contenido de finos, y por encima de 500 Kg/$m^3$ la retracción puede alcanzar valores excesivos.

La autocompactabilidad precisa de una dotación de finos del orden de los 450 a los 600 Kg/$m^3$ de hormigón, entendiendo como tales el material que pasa por el tamiz 0.125 mm. Estos finos pueden proceder del cemento, de las adiciones activas o pueden aportarse como fíller o polvo mineral inerte.

Para evitar la excesiva demanda de agua de amasado que precisaría la fabricación del HAC a causa de su elevada dotación de finos y garantizar, en consecuencia, el cumplimiento de las relaciones agua/cemento prescritas en el artículo 37.3.2 de la Instrucción EHE, se hace imprescindible la utilización de aditivos superplastificantes de última generación (UNE EN 934-2:2002). Eventualmente pueden incorporase otros aditivos para modificar la viscosidad, ocluir aire, acelerar o retardar el fraguado, etc.

Los aditivos superplastificantes policarboxílicos aumentan la trabajabilidad del hormigón sin producir segregación. Son capaces de reducir la cantidad de agua de amasado en proporciones superiores al 35%, consiguiendo alta fluidez partiendo de consistencias secas. Las

dosificaciones habituales están comprendidas entre el 0,7 y el 1,5% del peso de conglomerante.

Los aditivos modificadores de la viscosidad, AMV o moduladores, son productos generalmente basados en glicoles y amidas solubles en agua que, añadidos al hormigón, mejoran la cohesión de la masa en estado fresco, impidiendo la segregación y limitando la pérdida de agua por exudación, lo que permite disminuir la susceptibilidad del HAC a las variaciones en el contenido de finos, en la humedad o en la distribución granulométrica, mejorando la robustez de la mezcla. Aunque su empleo en estos hormigones no es imprescindible, utilizados conjuntamente con los superplastificantes de última generación permiten obtener hormigones autocompactantes estables y de gran fluidez.

El empleo de adiciones puede ser conveniente para complementar la dotación necesaria de finos. En cualquier caso, en el estado actual de conocimiento, no se considera necesario introducir modificaciones en los tipos y dosificaciones máximas permitidas para las adiciones reglamentadas por la Instrucción EHE en su artículo 29.2, que limita el uso de adiciones directas al hormigón, permitiendo como tales tan sólo las cenizas volantes (hasta un 35% respecto al peso de cemento) y el humo de sílice (hasta un máximo del 10% respecto al peso de cemento), y siempre empleando CEM I. Otra opción igualmente válida para el empleo de adiciones en el hormigón es recurrir a cementos que las incorporen en su composición (cementos normalizados de los tipos CEM II, CEM III, CEM IV o CEM V).

La adición de cenizas volantes al HAC es beneficiosa porque ayuda a conseguir la autocompactabilidad, aumentando la cohesión y disminuyendo la sensibilidad a las variaciones de humedad, a la vez que permite disminuir el contenido de cemento gracias a su notable evolución de resistencias a medio y largo plazo, lo que permite obtener un moderado calor de hidratación en la mezcla reduciendo, consiguientemente, la retracción endógena. Debe asegurarse una óptima calidad de la ceniza. Aquéllas con elevado contenido de residuos no quemados pueden provocar manchas negras en la superficie del hormigón, ya que por diferencia de densidad y gracias a la elevada fluidez, emergen con facilidad a la superficie. Dosis excesivas de cenizas volantes también pueden incrementar excesivamente la cohesión a costa de la fluidez.

En relación a la incorporación de humo de sílice al HAC, al igual que sucede en los hormigones tradicionales, se limita a los hormigones de alta resistencia puesto que por sí misma, en las dosificaciones máximas establecidas, no es suficiente para satisfacer las necesidades de finos del HAC. Esta adición incrementa la resistencia del hormigón tanto por el efecto de relleno que consigue debido al reducidísimo tamaño de sus partículas –que hace disminuir apreciablemente la porosidad del hormigón-, como por su acción puzolánica, pero presenta a la vez determinadas limitaciones que conviene tener presentes:

- Aumenta la magnitud de las retracciones plásticas y endógenas del hormigón.
- Eleva fuertemente la demanda de agua.
- Es un material de alto coste.

La adición de escoria granulada de horno alto es, finalmente, una opción adecuada cuando interesa obtener hormigones de bajo calor de hidratación, aunque una sobredosificación puede aumentar la susceptibilidad a la segregación. El medio de incorporar adiciones de este tipo será, normalmente, a través del uso de cementos tipo II, III o V.

En el HAC, además de los materiales ya indicados, se pueden utilizar otros componentes tales como pigmentos o fibras, con las mismas especificaciones que en los hormigones tradicionales.

## 3.2 Características del estado fresco.

Para que un hormigón fresco pueda calificarse como autocompactante debe cumplir necesariamente tres propiedades –parámetros de autocompactabilidad- durante todo el tiempo que dure su transporte y colocación en obra:

- Capacidad de relleno del encofrado.
- Resistencia a la segregación o estabilidad.
- Capacidad de paso entre armaduras.

Se entiende por capacidad de relleno la capacidad del hormigón para fluir y rellenar por completo todos los huecos existentes dentro del encofrado, bajo la acción exclusiva del peso propio del hormigón. Se consigue disminuyendo la fricción entre partículas a base de reducir la tensión superficial mediante el empleo de superplastificantes muy eficientes.

La resistencia a la segregación, o capacidad del hormigón para mantener homogénea su composición antes, durante y después de su puesta en obra, se obtiene dotando al hormigón de una estructura granular adecuada con una cantidad de finos considerable, que aporte la viscosidad necesaria para mantener la homogeneidad durante todo el proceso de transporte y colocación, y limitando la cantidad de agua móvil a fin de evitar la exudación. El empleo de aditivos modificadores de la viscosidad es, según ya se ha expuesto, otra opción a considerar.

La capacidad de paso es la capacidad del hormigón para fluir entre las armaduras y entre éstas y el encofrado sin segregación, exclusivamente por la acción de su propio peso. Depende de la separación de las barras, del tamaño y forma de los áridos y del volumen de la fase líquida.

## 3.3 Caracterización de la autocompactabilidad.

A causa de la elevada fluidez de este hormigón, la docilidad del HAC no puede ser evaluada mediante el asiento en cono Abrams. Por otra parte, la medida directa de parámetros reológicos es dificultosa y requiere de un equipamiento complejo y costoso (reómetros).

Para solventar este problema se han desarrollado una serie de métodos de caracterización de las propiedades del hormigón en estado fresco, con los que se evalúan las propiedades de la mezcla para verificar que son las adecuadas y, si es necesario, poder efectuar los ajustes pertinentes.

El ensayo del escurrimiento se realiza con el cono de Abrams, que se rellena sin picar o compactar, y caracteriza la fluidez de la mezcla mediante la medida de la extensión diametral que alcanza el hormigón al fluir libremente sobre una placa humedecida no absorbente. También se mide el tiempo en segundos necesario para alcanzar un diámetro de 50 cm; se denomina $T_{50.}$ Si bien es un ensayo de fácil ejecución, resulta imprescindible verificar la ausencia de exudación y la tendencia a la segregación en el frente de avance, lo cual entraña cierta dificultad. El árido debe quedar perfectamente distribuido y el hormigón ha de fluir uniformemente formando un círculo de entre 550 y 850 mm de diámetro. El valor de $T_{50}$ es índice de la viscosidad y debe estar comprendido entre 2 y 8.

**Figura 6. Izq.: Ensayo del escurrimiento. Dcha.: Ensayo del embudo en V.**

El embudo en V caracteriza la viscosidad de la mezcla mediante la determinación del tiempo que tarda en vaciarse de manera continua, sin interrupciones, un recipiente en forma de V que, previamente y sin compactar, se ha llenado de hormigón hasta el enrase. Es decir, el test cuantifica la deformabilidad del hormigón fresco o, lo que es igual, la capacidad de éste para adaptarse a la geometría del encofrado. Los tiempos de descarga adecuados son los comprendidos entre los 6 y los 12 segundos.

El ensayo de la caja L permite evaluar la facilidad de paso a través de las armaduras en un dispositivo formado por una columna y una caja horizontal. Se controla la capacidad autonivelante del hormigón en presencia de obstáculos, el bloqueo de las barras por efecto arco en el árido grueso y el tiempo de fluencia. Una vez relleno de hormigón el depósito vertical se abre la compuerta de la caja horizontal y se mide el tiempo en el que el hormigón alcanza el extremo final del tramo horizontal de la caja, y las alturas $H_1$ y $H_2$ con la mezcla en reposo. La relación $H_2/H_1$ define el denominado factor de bloqueo FB, que ha de ser superior a 0,75.

El ensayo del escurrimiento con anillo consiste en realizar el mismo procedimiento descrito para el ensayo de escurrimiento pero haciendo pasar el hormigón por un anillo de 300 mm de diámetro y 100 mm de altura dotado de 20 ó 12 barras lisas de acero, dependiendo de que el tamaño máximo del árido empleado sea inferior o superior a 20 mm, respectivamente. Con este ensayo se evalúa la capacidad de paso del HAC entre las armaduras. Se miden la extensión diametral ($d_{Jf}$) y la diferencia entre las alturas de hormigón en el exterior ($A_1$) y el interior ($A_2$) del anillo de barras. Los valores normalmente admitidos son ($d_{Jf}$ - $d_f$) menor o igual a 50 mm y ($A_2 – A_1$) menor o igual a 15 mm.

**Figura 7. Izq.: Ensayo de la caja-L. Dcha.: Ensayo del escurrimiento con anillo.**

**Tabla 1. Características medidas en los ensayos de autocompactabilidad**

| MÉTODO DE ENSAYO | CARACTERÍSTICAS MEDIDAS |
|---|---|
| ESCURRIMIENTO | -Fluidez<br>-Secundariamente permite verificar:<br>▪ Resistencia a la segregación y exudación (estabilidad)<br>▪ Resistencia a la migración del aire |
| ESCURRIMIENTO CON ANILLO | -Capacidad de paso entre barras de armadura<br>-Resistencia a la segregación y exudación (estabilidad) |
| CAJA EN "L" | -Capacidad de paso entre barras de armadura |
| EMBUDO EN "V" | -Viscosidad<br>-Estabilidad (en ensayo a 5 minutos) |

## 3.4 Dosificación.

Los procedimientos de dosificación de mezclas para HAC son sustancialmente diferentes a los métodos tradicionales empleados en el hormigón convencional. Con una base esencialmente empírica, el común denominador de todos ellos es que requieren un diseño por etapas.

En una primera etapa es necesario optimizar la pasta –que actúa como vehículo de transporte del árido- y el esqueleto granular más adecuado (relación arena/grava que proporciona la máxima compacidad en seco sin compactar).

Posteriormente, en una segunda etapa, en base a las prestaciones mecánicas necesarias y a las exigencias de autocompactabilidad se determina el contenido de pasta que ha de incorporar la mezcla.

La composición del HAC requiere de los siguientes requisitos esenciales:

- Alto volumen de pasta (finos y agua), del 35 al 40% del total de mezcla.
- Bajo volumen de áridos gruesos (del 28 al 35% del total de mezcla).
- Reducido tamaño máximo del árido, normalmente no mayor de 20 mm.
- Relación arena/grava próxima a 1.
- Baja relación agua-finos.
- Uso de aditivos superplastificantes.

A título meramente orientativo, como orden de magnitud, en la tabla siguiente puede observarse el rango típico de dosificación de los constituyentes del hormigón.

**Tabla 2. Dosificación orientativa de un HAC**

| MATERIAL | PESO (Kg. / $m^3$) |
|---|---|
| POLVO (Cemento + fíller + adiciones) | 380 – 600 |
| PASTA (Cemento + fíller + adiciones + agua) | 530 – 810 |
| AGUA | 150 – 210 |
| ÁRIDO GRUESO | 650 – 900 |
| ARENA | (*) |
| RELACIÓN AGUA/POLVO (volumen) | 0.95 – 1.05 |

(*) Para ajustar la dosificación. Normalmente supone del 48 al 55 % del peso total del árido grueso más la arena.

# 4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.

Sin lugar a dudas es en el comportamiento en estado fresco donde los hormigones autocompactantes encuentran su razón de ser y sus principales rasgos distintivos con relación a los hormigones vibrados convencionales. Sin embargo, resulta igualmente evidente que presentan una composición diferente a éstos, basada en un alto contenido de finos, en una reducida proporción de árido grueso y en el empleo de altas dosis de adiciones y de aditivos superplastificantes. Por este motivo, en el transcurso de los últimos años, se han emprendido numerosas investigaciones destinadas a evaluar la influencia de estos factores sobre las características mecánicas y la durabilidad de los hormigones autocompactantes.

En líneas generales puede afirmarse que el HAC presenta un comportamiento similar o mejor, en términos de resistencias mecánicas, adherencia y durabilidad, en comparación con los hormigones vibrados de igual relación agua/cemento y materiales componentes. La razón de ello parece radicar en la microestructura del HAC, que es más densa y cuenta con una distribución más homogénea de los productos de la hidratación del cemento, especialmente en la interfase entre los áridos y la pasta. En síntesis puede concluirse que, con relación a los hormigones vibrados convencionales (HV), en el HAC:

- La resistencia a compresión es mayor, para igual relación a/c y tipo de materiales constituyentes, presentando una dispersión –resistencia media y coeficiente de variación- similar y un desarrollo temporal de las resistencias dependiente de las adiciones utilizadas, pero similar al HV.
- Es mayor la relación resistencia a tracción/resistencia a compresión, para igualdad de tipo y de tamaño máximo de árido.
- El módulo de deformación longitudinal es algo menor debido a la menor proporción de árido grueso y al mayor contenido de pasta. En los casos extremos (contenido volumétrico de árido grueso alrededor del 28% del total de mezcla) las diferencias pueden llegar al -30% pero, en los casos habituales (32-35% de árido grueso), el rango de variación abarca desde el 0 al -15%. Se aprecia, además, mayor linealidad del diagrama tensión deformación y menor deformación última.
- La retracción total es similar, pues aunque la retracción autógena puede ser de un 10 a un 50% superior, se ve compensada por una menor retracción por secado, gracias al menor contenido de árido, a la mayor compacidad y a la baja relación agua/conglomerante. El alto contenido en pasta y esos mismos factores apuntados son los que explican, precisamente, la mayor retracción autógena del HAC, al margen del eventual empleo de escorias o humo de sílice. Por el contrario, el empleo de adiciones de fíller calizo, cenizas volantes o cementos de bajo contenido en $C_3A$ y $C_4AF$ disminuyen la magnitud de la retracción autógena.
- La fluencia es, en general, más reducida. A priori, al ser la proporción de pasta mayor que en el HV, serían esperables valores del coeficiente de fluencia superiores. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la calidad de la pasta es notablemente mejor gracias a las altas dosificaciones de cemento, a la posibilidad de usar materiales de propiedades puzolánicas y a las contenidas relaciones agua/cemento y agua/finos que presentan los HAC. Estas dos circunstancias contrapuestas motivan el hecho de que no se experimenten diferencias significativas -fluencia ligeramente inferior en el HAC- en las escasas investigaciones realizadas hasta la fecha y que la operativa en la actualidad sea tendente a aplicar los mismos modelos de cálculo de la fluencia que se utilizan habitualmente en el hormigón vibrado convencional.

- La adherencia con las barras de armadura es mejor. Se desarrolla mayor tensión de adherencia que en el HV de igual resistencia a compresión. La influencia de la posición de las barras sobre la adherencia es menor y las longitudes de transferencia y anclaje en elementos pretensados son similares.
- No se constatan diferencias en el comportamiento frente a los ciclos hielo-deshielo ni en la resistencia al fuego.
- La durabilidad es sustancialmente mayor, a causa de una permeabilidad al oxígeno, absorción capilar y permeabilidad al agua muy inferiores, así como unas velocidades de penetración de los agentes causantes de la corrosión $-Cl^-$ y $CO_2$, fundamentalmente-claramente menores, que ralentizan apreciablemente los procesos de carbonatación y de despasivación de las armaduras.

# 5. FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA.

## 5.1 Fabricación.

La humedad de los áridos debe estar bajo estricto control, ya que la fluidez es muy sensible al contenido total de agua. Por ello, siempre que sea posible, se recomienda que estén a cubierto. En especial debe contabilizarse el agua que incorporan los aditivos y reducirse la fluctuación en el contenido de humedad de los inertes finos. En general son permisibles variaciones de humedad del +/- 0.5% y, para obtener una medida fiable en continuo, el mejor sistema es la monitorización mediante higrómetros por microondas.

El hormigón autocompactante debe fabricarse siempre en central, perteneciente o no a la obra. Es recomendable el uso de amasadoras fijas con las que se obtenga una mezcla homogénea y completamente amasada que hayan sido verificadas en los seis últimos meses en el cumplimiento de las condiciones de homogeneidad fijadas en el artículo 69.2.5 de la Instrucción EHE. Igualmente, de utilizarse para el amasado del hormigón hormigonera, antes de iniciarse el proceso de hormigonado éstos deberán haber sido verificados y aprobados, comprobándose la homogeneidad de sus amasadas de acuerdo con lo indicado en el citado artículo.

El tiempo de mezclado para fabricar un HAC homogéneo y estable es superior, normalmente al necesario para un hormigón convencional (entre 1,5 y 3 veces mayor a causa del alto contenido en pasta) aunque en el futuro es presumible que se reduzca a valores del mismo orden. Por otra parte, como consecuencia de la gran cohesión que presentan estas mezclas, pueden formarse grumos o "bolas" de áridos segregados difíciles de dispersar en la masa. Por ello es conveniente amasar la mezcla menos fluidificada, y una vez homogéneamente mezclada, añadir el resto del agua y el aditivo.

Cuando el amasado se realiza en camión, es aconsejable, para conseguir una mezcla más homogénea:

- Introducir 2/3 de agua, los áridos y el cemento y mezclar completamente.
- Una vez se obtenga una mezcla uniforme, añadir el resto del agua y los aditivos ajustando la consistencia final y amasado completo.
- En caso de utilizar aditivos incorporadores de aire ocluido deben añadirse en la primera carga y amasado.

Se tendrá, no obstante, la precaución de no llenar excesivamente el camión a efectos de evitar derrames durante el transporte y facilitar el amasado.

## 5.2 Transporte. Tiempo abierto y tiempo de uso.

En lo concerniente al transporte no caben distinciones respecto al hormigón tradicional, empleándose camiones hormigonera convencionales, pero sí es interesante introducir los conceptos de tiempo abierto y tiempo de uso.

El período durante el que el HAC mantiene sus propiedades reológicas (tiempo abierto o de retención de la autocompactabilidad) es de una importancia clave para asegurar la correcta colocación. Este período debe superar con cierta holgura al tiempo previsto para la fabricación, el transporte y la completa puesta en obra del hormigón (tiempo de uso), y puede ajustarse seleccionando el superplastificante adecuado o combinando con él aditivos retardadores.

Diariamente deben realizarse ensayos sobre el hormigón fresco para comprobar que el tiempo abierto es superior al tiempo de uso prescrito para el hormigón. Ello se lleva a cabo por repetición de cada ensayo sobre la misma amasada, en planta y previo a la colocación en obra. De ser necesario un mayor tiempo abierto habrá de ajustarse la cantidad de agua y aditivos. Normalmente, se exige que el tiempo abierto sea, al menos, de 90 minutos, salvo en instalaciones de prefabricación o en obras situadas en las proximidades de las centrales de fabricación de hormigón.

## 5.3 Puesta en obra.

Resulta de aplicación lo indicado con carácter general en los artículos 70 a 74 de la Instrucción EHE con las particularidades recogidas a continuación en referencia al diseño de los encofrados y a la colocación del hormigón.

### 5.3.1 Encofrados.

El HAC, pese a lo que cabría suponer por su elevada fluidez, no aumenta apreciablemente las pérdidas de lechada en las juntas de encofrado ya que su gran viscosidad de la mezcla limita dicho riesgo. No obstante, al igual que ocurre en el hormigón convencional, siempre es deseable asegurar la correcta estanqueidad de juntas y agujeros de anclaje y ello se puede hacer mediante diversos sistemas de sellado (proyección de poliuretano, tiras de material plástico,...).

Por otro lado, debido a la fluidez y alta velocidad de puesta en obra de los HAC, los encofrados deben estar calculados para soportar presiones de tipo hidrostático –considerando el hormigón como un fluido de peso específico $\gamma = 24$ KN/m$^3$-, y han de contar con una rigidez suficiente que evite deformaciones de la pieza fuera de tolerancias.

Normalmente la piel del encofrado utilizada con los HAC suele ser de acero o de superficies plastificadas no absorbentes con las que se obtienen unas texturas superficiales muy uniformes de color y con muy pocas burbujas. La superficie del encofrado en contacto con el hormigón debe presentar un perfecto estado, pues cualquier defecto (vetas, clavos,...) se

reflejará, con mayor intensidad de lo que ocurre con los hormigones tradicionales, en el acabado superficial del hormigón.

Debe controlarse especialmente la cantidad de desencofrante. Un exceso puede retener las burbujas de aire y crear imperfecciones en la superficie, una aplicación normal puede ser del orden de 10 g/m$^2$ en el caso de superficies de acero. También debe cuidarse la elección del tipo de desencofrante, pues no debe ser tan viscoso que impida la salida del aire entre el encofrado y el hormigón. Los mejores resultados los ofrecen los aceites de base vegetal.

Cuando los requerimientos sobre el acabado de la superficie del hormigón sean exigentes conviene tener en cuenta:

- En encofrados de madera sin revestir, conviene evitar la madera seca o completamente nueva ya que al tener una gran absorción puede crear defectos superficiales. La madera nueva debe tratarse con agentes selladores y a medida que va teniendo más usos debe reducirse la cantidad de desencofrante a aplicar.
- En el caso de materiales sintéticos no absorbentes es importante elegir bien el desencofrante para evitar los efectos mencionados. Se recomienda realizar alguna prueba.

### 5.3.2 Colocación del hormigón.

Aunque durante el transporte y el tiempo de espera en obra el tambor del camión hormigonera ha de girar a baja velocidad (pero no menor de 1 r.p.m.), antes del vertido en obra es conveniente, sin embargo, que el tambor gire a velocidad alta (10-20 r.p.m.) durante al menos 3 minutos. La incorporación de aditivos en este momento previo al vertido es difícil de evitar, por cuanto el transporte de un hormigón tan fluido es evidentemente propenso a los derrames. Por esta causa es norma extendida completar la aditivación en obra, pero, dicha operación ha de someterse siempre a un estricto control fundamentado en una adecuada formación del transportista, quien habrá recibido instrucciones escritas en relación con estos procedimientos. La adición de agua, en cambio, debe prohibirse expresamente, para evitar segregaciones y distorsiones de la relación a/c.

Si bien la puesta en obra puede hacerse por vertido directo, la supresión de la vibración hace que el medio óptimo de colocación sea el bombeo. El HAC supone un cambio radical dentro de la ejecución del hormigonado porque de la compactación por vibración de un material granular como es el hormigón convencional, se pasa simplemente a transportar un fluido de dos fases que se compacta exclusivamente por la acción de la gravedad.

Por otra parte, una gran desventaja del hormigón tradicional es su colocación desde la parte superior del encofrado que, dependiendo de la altura de vertido, puede originar problemas de segregación. El HAC es menos sensible a este problema (se han ensayado alturas de caída libre de hasta 8 m. sin segregación) y, además, ofrece la posibilidad de colocación desde la parte inferior del encofrado, sistema con el que se obtienen los mejores acabados superficiales. Este trascendental cambio en el comportamiento del material hace posible la utilización de nuevas técnicas basadas en equipos para fluidos. Así pues, es posible el hormigonado de espacios cerrados realizando el bombeo a través de válvulas en el encofrado.

A pesar de que la colocación de un HAC es más fácil que la de un hormigón convencional, hay que tomar ciertas precauciones para minimizar el riesgo de segregación:

- Limitar la distancia de caída libre vertical a 5 m.
- Limitar la distancia en horizontal del flujo desde el punto de descarga al frente de hormigonado a 10 m, con objeto de mantener la estabilidad. En determinadas cir-

cunstancias esta recomendación puede ser excesivamente conservadora y limitativa. Se han desarrollado procedimientos que permiten ampliar este límite con resultados satisfactorios.

**Figura 8 . Bombeo del hormigón autocompactante**

El HAC presenta buena adherencia con el hormigón colocado previamente, a pesar de lo cual, se debe evitar que pase demasiado tiempo entre el vertido de las diversas capas. Es, por ello, importante mantener la capacidad autocompactante el tiempo suficiente (período de retención de la autocompactabilidad). A este respecto el uso de aditivos juega un papel fundamental. Debe recalcarse, no obstante, que la vibración normal no destruye el HAC y que en caso de tener que emplear un hormigón convencional sobre un HAC fresco puede introducirse el vibrador para mejorar la unión. Lo que no debe admitirse en ningún caso es la colocación de masas que acusen principio de fraguado y hayan excedido el tiempo abierto.

### 5.3.3 Curado.

Es importante realizar un buen curado que evite la desecación superficial y los efectos de la retracción plástica, a la que el HAC es más vulnerable que el hormigón tradicional.

El curado, mediante pulverización de agua o aplicación de un producto filmógeno de curado, se deberá empezar tan pronto como sea posible, después de la colocación y terminación de la superficie de tal forma que, sobre todo en elementos de elevada relación superficie/volumen, se evite la fisuración por retracción plástica.

Los tiempos de aplicación de los períodos de curado son similares a los utilizados en los hormigones tradicionales.

# 6. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y RETOS PARA EL FUTURO.

## 6.1 Consideraciones económicas.

El HAC es hoy una realidad con una base científica sólida que está avalado por la experimentación y las aplicaciones prácticas en obras de Ingeniería Civil, Edificación y Prefabricación. Su empleo, fundamentado principalmente en el incremento de la productividad, la durabilidad y en las mejoras en las condiciones de obra, se extiende de forma continuada en

todo el mundo y ello hace pensar que se convertirá muy pronto en el estándar de la tecnología de la construcción con hormigón, constituyendo esto un importante paso hacia la industrialización de la construcción.

El éxito en la implantación de una nueva tecnología pasa por ofrecer un mayor valor al consumidor final y a un menor precio. Hoy día el coste material del HAC es normalmente superior al del hormigón convencional, ya que aparte del propio coste de los materiales constituyentes (aditivos, fílleres, etc.) es preciso invertir en formación del personal, en equipos y en control de calidad (mayor número de ensayos). Las primeras experiencias internacionales referían incrementos del 40%, pero actualmente se estima este sobreprecio en alrededor del 10-15% por unidad de volumen.

A pesar de ello, el incremento en productividad, la reducción de plazos, las mejoras en las condiciones de trabajo, la estética -los costes de terminación en el hormigón convencional suelen ser elevados- y calidad del producto final -durabilidad y prestaciones mecánicas que permiten adoptar menores espesores- compensan con creces este sobrecoste material, dando como resultado un coste total inferior. En las obras de Ingeniería Civil este balance económico a favor del HAC es hoy por hoy más evidente que en las obras de Edificación, pero donde el potencial del HAC se muestra con toda su intensidad es, sin lugar a dudas, en el sector del prefabricado donde, al tiempo que la reducción de ruido conlleva una mejora muy notable en las condiciones de trabajo, también es posible alcanzar niveles de productividad muy elevados gracias al incremento de piezas que pueden fabricarse de manera simultánea en virtud del ahorro de espacio que supone la colocación de los moldes (para muros, elementos de fachada,...) en sentido vertical.

## 6.2 Retos para el futuro.

El desarrollo de cualquier tecnología implica diferentes fases: investigación básica, investigación aplicada, desarrollo, trabajo de ingeniería, ensayo piloto y aplicación a escala real. En el HAC la evolución de esta cadena de desarrollo ha sido realmente rápida gracias a la integración del trabajo de investigadores, fabricantes de hormigón, constructores y la propia Administración. Sin embargo, el corto plazo de tiempo transcurrido entre las investigaciones iniciales y las primeras realizaciones con HAC motiva también que existan aún campos abiertos para la investigación, a la vez que incertidumbres o reticencias que en cierta medida frenan su aplicación. Así, el éxito en la implantación del HAC en España pasa por el compromiso de cada uno de los agentes involucrados asumiendo los siguientes retos:

1) Para la Industria del Hormigón:

- El empleo de materiales estandarizados y locales.
- Las innovaciones y mejoras en la maquinaria: tecnología de sensores, amasadoras, equipos de bombeo.
- La apuesta por la certificación de producto.
- La mejora de los procedimientos de Gestión de la Calidad.

2) Para el Sector de la Construcción:

- La formación de técnicos y operarios.
- La consideración del coste total, teniendo en cuenta el incremento de productividad y no sólo el coste material.
- La consideración de las nuevas posibilidades de diseño que ofrece el HAC.

3) Para las Administraciones Públicas:

- La normalización de los métodos de ensayo.
- La reglamentación del HAC en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.
- Desarrollar una actitud proactiva hacia una nueva tecnología con evidente valor añadido en cuanto a su respeto al medio ambiente y a la seguridad y salud de los trabajadores.

Con estas premisas la implantación del HAC en cuotas cercanas al 40% de la producción total de hormigón será una realidad en poco tiempo y esta tecnología innovadora hoy dejará la familia de los denominados hormigones especiales para integrarse de pleno derecho en el ámbito de los hormigones convencionales.

## BIBLIOGRAFÍA.

Burón, M. y Fernández, J. "Guía práctica para la utilización del hormigón autocompactable".IECA. Madrid (España), 2005.

Burón, M., Fernández, J. y Garrido, L. "Hormigón autocompactante. Criterios para su utilización". Revista Cemento Hormigón núm. 887. Madrid (España), 2006.

Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. "Recomendaciones para la redacción de pliegos de especificaciones técnicas generales para hormigones autocompactantes". GIASA. Sevilla (España), 2006.

Garrido, L. "Tecnología, propiedades generales y realizaciones con hormigones autocompactantes". XI Jornada Técnica Otros Hormigones: Hormigones autocompactantes. Universidad de Sevilla. Editan, S.A. Sevilla (España), 2004.

Garrido, L. "Comportamiento del hormigón autocompactante en estado endurecido. Caracterización de propiedades mecánicas y análisis de durabilidad". Universidad de Granada.. Granada (España), 2005.

Varios. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use". BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC y ERMCO. Bruselas (Bélgica), 2005.

# HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE. PROPUESTA DE INCORPORACIÓN A LA NUEVA EHE

Grupo de Trabajo "Ad-hoc"

## 1. Alcance

Se define, a los efectos de este Anejo, como hormigón autocompactante aquel hormigón de gran facilidad de colocación, homogéneo y estable, que no presenta segregación, o bloqueo de árido grueso, ni sangrado, o exudación de la lechada; que se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación y que confiere a la estructura una calidad igual, al menos, a la proporcionada por el hormigón convencional.

El hormigón autocompactante rellena los encofrados y rodea a las armaduras sin necesidad de la energía de vibración suministrada por los medios de compactación que resultan innecesarios.

El hormigón autocompactante añade a las propiedades del hormigón convencional, en cualquiera de las clases resistentes, la propiedad de autocompactabilidad, descrita anteriormente.

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de esta Instrucción, están avalados por la experimentación, según lo indicado en el Art. 30.6 de la Instrucción, para hormigones cuya docilidad se mide por su asiento en el cono de Abrams, según la UNE 83313:90 (sustituida por UNE EN 12350-2:2006). En este Anejo se desarrollan las recomendaciones pertinentes para aplicar adecuadamente esta Instrucción a hormigones que, por su propiedad de autocompactabilidad, poseen propiedades en estado fresco que le confieren una docilidad que no puede ser evaluada mediante su asiento.

***Comentarios***

*Los hormigones autocompactantes se identifican mediante diferentes ensayos (Artículo 30.6 de este Anejo) cuyos resultados permiten clasificarlos en función del grado de autocompactabilidad que presenten. Cuanto mayor sea la dificultad de colocación del hormigón, mayor deberá ser el grado de autocompactabilidad. Cuando la superficie no encofrada del elemento a hormigonar se separe ligeramente de la horizontal, será conveniente reducir el grado de autocompactabilidad al mínimo.*

*Los valores extremos del rango admisible para cada uno de los parámetros de autocompactabilidad (Artículo 30.6 de este Anejo) determinan los grados de autocompactabilidad mínimo y máximo admisible para los hormigones autocompactantes.*

*Corresponde al Proyecto o a la Dirección de Obra prescribir el hormigón autocompactante más adecuado en cada caso, especificando, dentro del rango admisible, los valores, y las tolerancias correspondientes, de los diferentes parámetros de autocompactabilidad, de acuerdo con las características del elemento concreto a hormigonar.*

# 2. Complementos al texto de esta Instrucción

Seguidamente se indican, por referencia a los Títulos, Capítulos, Artículos y Apartados de esta Instrucción (con objeto de facilitar su seguimiento), recomendaciones para el empleo de hormigón autocompactante.

### TÍTULO 1.º BASES DE PROYECTO

Son aplicables las bases establecidas en el articulado de la Instrucción.

### TÍTULO 2.º ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### CAPÍTULO V. Análisis estructural

Son aplicables los principios y métodos de cálculo establecidos en el articulado.

Para cualquier análisis en el tiempo, así como para el cálculo de pérdidas o de flechas diferidas, el módulo de elasticidad, la fluencia y la retracción pueden ser diferentes en su valor y desarrollo en el tiempo a los hormigones convencionales.

***Comentarios***

*Al igual que en los hormigones convencionales, también los hormigones autocompactantes con igual valor de la resistencia característica a compresión pueden presentar diferentes valores de algunas de sus otras propiedades de modo que los valores que las cuantifican se ajustan con aproximación variable, como en el caso de los hormigones convencionales, a los obtenidos aplicando la formulación incluida en el Articulado en esta Instrucción.*

*Lo mismo ocurre cuando se compara un hormigón autocompactante con otro convencional de la misma resistencia característica a compresión. Algunas de sus otras propiedades pueden presentar valores diferentes en cada uno de dichos hormigones. Tales valores se ajustarán con aproximación variables a los obtenidos aplicando la formulación del Articulado. En general dicha aproximación resulta suficiente.*

*En el Título 4º de este Anejo se consideran las propiedades a las que hacen referencia los párrafos anteriores, tales como: módulo de deformación longitudinal, retracción y fluencia.*

*En los casos en que el conocimiento preciso del valor de alguna de ellas resulte crítico, se evaluará, al igual que en el caso del hormigón convencional, mediante los correspondientes ensayos específicos.*

### TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES

### CAPÍTULO VI. Materiales

Los materiales componentes utilizados en los hormigones autocompatantes son los mismos que los empleado en los hormigones convencionales de acuerdo con los requisitos de la actual UNE 83001:2000, y el título 3º de esta Instrucción, incluyendo además otros, más abajo especificados, que deben cumplir con los requisitos normativos de calidad que les corresponda. Es de especial importancia que los hormigones autocompactantes se fabriquen con la mayor regularidad posible por lo que es muy

importante la selección inicial y el control de los materiales así como la previa validación de cualquier dosificación.

El hormigón autocompactante se fabricará preferiblemente con los cementos que resulten adecuados para tal fin en función del tipo y cantidad de las adiciones que contengan, o bien con cemento común tipo CEM I, las adiciones al hormigón reglamentadas (Artículo 29.2 de esta Instrucción) y utilizando, cuando así se requiera, un "filler" inerte adecuado como árido de corrección de la granulometría de la arena en los diámetros más finos que pasan por el tamiz 0'063 mm.

De una u otra manera se debe conseguir una cantidad de finos (partículas que pasan por el tamiz 0'125 mm) suficiente para alcanzar la propiedad de autocompactabilidad. La cantidad total de finos menores de 0'125 mm aportada por el cemento, las adiciones al hormigón y los áridos, necesaria para fabricar hormigón autocompactable es del orden del 23%, en peso, de la masa del hormigón, pudiendo determinarse, cuando sea necesario, con mayor precisión mediante los ensayos característicos correspondientes.

**Artículo 26.º Cementos**

Se utilizarán cementos que cumplan con la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos.

Cuando se utilicen cementos para usos especiales adecuados para fabricar hormigón autocompactante que incluyan en su composición una cantidad de adición complementaria destinada exclusivamente a dotar al hormigón autocompactante de la cantidad de partículas finas (partículas que pasan por el tamiz 0'125 mm) necesaria, las cantidades mínimas a emplear de dichos cementos serán tales que, después de deducir la cantidad de adición complementaria que contengan, cumplan con las exigidas en el Artículo 37.3.2 de esta Instrucción. Además, la cantidad de adición complementaria no se computará a los efectos de obtener la relación agua/cemento, ni la cantidad máxima de cemento. Tanto el valor máximo de la relación agua/cemento, como la cantidad máxima de cemento cumplirán con las especificaciones incluidas en el Articulado de esta Instrucción.

**Artículo 28.º Áridos**

El tamaño máximo de árido para el hormigón autocompactante, definido según el Artículo 28.2 de esta Instrucción, se limita a 25 mm, siendo recomendable utilizar tamaños máximos comprendidos entre 12 mm y 20 mm, en función de la disposición de armaduras.

**Filler (polvo mineral)**

Los materiales fillers son unos áridos cuya mayor parte pasa por el tamiz 0'063 mm y que se obtienen por tratamiento de los materiales de los que provienen.

Son fillers adecuados aquellos que provienen de los mismos materiales que los áridos que cumplen las prescripciones especificadas en el Artículo 28 de esta Instrucción.

De acuerdo con la Norma UNE EN 12620: 2002 la granulometría de un filler se define en la tabla siguiente (Tabla 1)

**Tabla 1. Granulometría del filler**

| Tamiz de tamaño (mm) | Porcentaje que pasa en masa |
|---|---|
| 2 | 100 |
| 0'125 | 85 a 100 |
| 0'063 | 70 a 100 |

Los ensayos iniciales de tipo, el control de producción en fábrica y la certificación de dicho control, en cuanto al filler se refiere, se establecen en la Norma UNE EN 12620: 2002.

Se recomienda, exclusivamente para el caso de los hormigones autocompactantes, que la cantidad resultante de sumar el contenido de partículas de árido fino que pasan por el tamiz UNE 0'063 y la adición caliza, en su caso, del cemento no sea mayor de 250 kg/m$^3$ de hormigón autocompactante.

Para el almacenamiento del filler se utilizarán medios similares a los utilizados para el cemento, debiéndose utilizar recipientes o silos impermeables que lo protejan de la humedad y de la contaminación.

***Comentarios:***

*La demanda de agua de los finos inertes que pasan por el tamiz UNE 0,063 se debe compensar, en este tipo de hormigones, mediante el empleo de aditivos superplastificantes adecuados que garanticen el cumplimiento de las relaciones agua/cemento especificadas en el Artículo 37.3.2 de esta Instrucción, garantizando de este modo la durabilidad.*

**Artículo 29.º Otros componentes del hormigón**

En el hormigón autocompactante además de los materiales ya indicados, se pueden utilizar, cuando sea necesario, al igual que en el hormigón convencional, otros componentes tales como el agua reciclada de las propias plantas de hormigón, los pigmentos, los aditivos reductores de retracción basados en glicoles, o las fibras, con las mismas limitaciones y especificaciones que en el hormigón convencional.

**29.1. Aditivos**

El uso de un aditivo superplastificante es requisito fundamental en el hormigón autocompactante y, en ocasiones, puede ser conveniente el uso de un aditivo modulador de la viscosidad que minimiza los efectos de la variación del contenido de humedad, el contenido de finos o la distribución granulométrica, haciendo que el hormigón autocompactante sea menos sensible, en cuanto a la propiedad de autocompactabilidad se refiere, a pequeñas variaciones en la calidad de las materias primas y en sus proporciones.

Su empleo se realizará después de conocer su compatibilidad con el cemento y las adiciones, comprobando un buen mantenimiento de las propiedades reológicas durante el tiempo previsto para la puesta en obra del hormigón autocompactable, así como las características mecánicas correspondientes mediante la realización de ensayos previos.

Los aditivos superplastificantes cumplirán la Norma UNE EN 934-2: 2002.

Los aditivos moduladores de viscosidad, basados en glicoles y amidas solubles en agua, o bien basados en suspensiones de partículas muy finas, con una dosificación máxima del 1,5 % del peso del cemento, ayudan a conseguir mezclas adecuadas minimizando, como se ha indicado anteriormente, los efectos de la variación del contenido de humedad, el contenido de finos o la distribución granulométrica,.

Si bien los aditivos moduladores de viscosidad no están incluidos, actualmente, en la Norma UNE EN 934-2: 2002, pueden cumplir con los requisitos generales incluidos en la Tabla 1 de la misma.

**29.2. Adiciones**

No se contempla el uso de adiciones que no estén amparadas por el Artículo 29.2 de esta Instrucción.

**Artículo 30.º Hormigones**

Como se desprende de su definición, el hormigón autocompactante tiene tres propiedades intrínsecas básicas:

- Fluidez o habilidad de fluir sin ayuda externa y llenar el encofrado
- Resistencia al bloqueo o habilidad de pasar entre las barras de armadura
- Estabilidad dinámica y estática, o resistencia a la segregación, que le permite alcanzar finalmente una distribución uniforme del árido en toda su masa.

**30.1. Composición**

Los componentes del hormigón autocompactante son los mismos que los del hormigón estructural convencional, sin embargo, las proporciones de los mismos pueden variar significativamente respecto a las habituales para estos últimos, caracterizándose el hormigón autocompactante por un menor contenido de árido grueso, un mayor contenido de finos minerales y, en general, un menor tamaño máximo de árido.

**30.6. Docilidad del hormigón**

La docilidad del hormigón autocompactante no puede ser caracterizada por los medios descritos en el Artículo 30.6 de esta Instrucción. A continuación se indica el procedimiento adecuado para su caracterización

**Caracterización de la autocompactabilidad. Métodos de ensayo**

La caracterización de la autocompactabilidad se realiza a través de métodos de ensayo sencillos cuyas medidas permiten evaluar las prestaciones del material en términos de fluidez, resistencia al bloqueo y resistencia a la segregación.

Para caracterizar la fluidez se utilizan los ensayos de escurrimiento (Norma UNE 83361) y de embudo en V (Norma UNE 83364). La resistencia al bloqueo se valora a través de los ensayos de y escurrimiento con anillo J (Norma UNE 83362) y de la caja en L (Norma UNE 83363).

***Comentarios:***

*Si bien no existen ensayos normalizados para evaluar la resistencia a la segregación, la misma se puede apreciar a partir del comportamiento del material en los ensayos de escurrimiento y embudo en V. En el ensayo de escurrimiento debe observarse una distribución uniforme del árido grueso y ningún tipo de segregación o exudación en el perímetro de la "torta" final del ensayo.*

*Un aspecto que pasa a ser crítico en el caso de los hormigones autocompactables es el denominado "tiempo abierto" o tiempo durante el cual se mantienen las características de autocompactabilidad. Puesto que, a diferencia del hormigón convencional, una pérdida significativa de fluidez imposibilitará la puesta en obra del material. El "tiempo abierto" deberá especificarse en función de las exigencias operativas y ambientales del proyecto.*

*Para la determinación del "tiempo abierto" se pueden utilizar los ensayos de caracterización indicados anteriormente, comparando el resultado de diversas repeticiones del mismo ensayo realizadas consecutivamente con la misma muestra.*

**Especificación de los parámetros de autocompactabilidad**

La Tabla 2 muestra los rangos admisibles de los parámetros de autocompactabilidad obtenidos en los diferentes ensayos mencionados en el apartado anterior. Estos requisitos deberán cumplirse simultáneamente para todos los ensayos especificados, si bien los valores de cada uno de ellos pueden diferir en función de la especificación concreta, acorde con las características de cada obra o aplicación.

**Tabla 2. Requisitos para la autocompactabilidad**

| Ensayo | Parámetro medido | Rango admisible |
|---|---|---|
| Escurrimiento | $T_{50}$ | 2 seg. ≤ $T_{50}$ ≤ 8 seg. |
| | $d_f$ | 550 mm ≤ $d_f$ ≤ 850 mm |
| Embudo en V | $T_V$ | 4 seg. ≤ $T_V$ ≤.20 seg. |
| Caja en L | $C_{bL}$ | 0,75 ≤ $C_{bL}$ ≤ 1,00 |
| Escurrimiento con anillo J | $d_{Jf}$ | ≥ $d_f$-50 mm |

Los rangos admisibles de los parámetros de autocompactabilidad, especificados en la Tabla 2, consideran un amplio campo de hormigones autocompactantes y por lo tanto, la definición de los valores específicos a cumplir por cada uno de los ensayos dependerá, a su vez, de las características de la obra o aplicación concreta.

***Comentarios***

*El grado de autocompactabilidad crece según disminuye el valor de $T_{50}$, aumenta el valor $d_f$, disminuye el valor de $T_v$, aumenta el valor de $C_{bl}$ y disminuye la diferencia ($d_f$ – $d_{jf}$). En todo caso, todos los valores indicados deben estar incluidos en el rango admisible para cada uno de ellos.*

## CAPÍTULO VII. Durabilidad

Debido a la ausencia de vibración y al uso habitual de adiciones y fíllers, se alcanza una interfaz árido-matriz más densa en el hormigón autocompactante. Esto, sumado a la mayor compacidad general de la estructura granular, redundará claramente en una reducción de la velocidad de ingreso de la mayoría de los agentes agresivos.

La ausencia de vibración redundará, a su vez, en una capa exterior del hormigón de recubrimiento de superior densidad y, por tanto, menos permeable.

Aunque el hormigón autocompactante evidencie mayores prestaciones en términos de durabilidad, deberán respetarse los requisitos de máxima relación a/c y mínimo contenido de cemento exigidos en el Artículo 37.3.2 de esta Instrucción en función de la clase de exposición.

El comportamiento del hormigón autocompactante frente a ciclos de congelamiento y deshielo puede considerarse equivalente al del hormigón convencional, debiendo considerarse las mismas precauciones y especificaciones incluidas en el Artículo 37.3.2 de esta Instrucción para dicho hormigón convencional.

Debido a la microestructura más densa del hormigón autocompactante, el riesgo de desconchamiento explosivo podría resultar mayor para este material. Sin embargo, para hormigones autocompactantes en los que la adición de humo de sílice no sea significativa, el planteamiento de la resistencia al fuego puede ser el mismo que el incluido en el Anejo 7 de esta Instrucción para el hormigón convencional de igual clase resistente, o para los hormigones de alta resistencia cuando dicha adición sea relevante.

## TÍTULO 4.º CÁLCULO DE SECCIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

## CAPÍTULO VIII. Datos de los materiales para el proyecto

### Artículo 39.º Características del hormigón

Mientras que las propiedades en estado fresco del hormigón autocompactante difieren en gran medida de las del hormigón convencional, la calidad en términos de resisten-

cias, durabilidad y demás prestaciones en estado endurecido serán generalmente iguales o superiores a aquellas que corresponden a un hormigón convencional de igual relación a/c y elaborado con los mismos materiales componentes.

El comportamiento a edad temprana del hormigón autocompactante puede considerarse equivalente al del hormigón convencional. Sin embargo, debido a que estos hormigones incorporan, en general, dosis mayores de finos y aditivos, podrían producirse variaciones en factores como la retracción y/o alteraciones en el tiempo de fraguado.

Las propiedades del hormigón autocompactante en estado endurecido que se presentan en los siguientes apartados, se evaluarán con los mismos procedimientos de ensayo utilizados para el hormigón convencional.

En aplicaciones donde el módulo de elasticidad, la retracción por secado o la fluencia puedan ser factores críticos y el contenido en pasta o árido grueso varíe de forma sustancial sobre el normalmente utilizado, estas propiedades deben ser analizadas mediante ensayos específicos.

***Comentarios***

*Las características mecánicas del hormigón autocompactante son similares a las del hormigón* convencional *de igual resistencia característica a compresión. Las pequeñas diferencias existentes permiten utilizar, para el hormigón autocompactante, la formulación incluida en el Articulado de esta Instrucción. También pueden utilizarse las mismas longitudes de anclaje de las armaduras activas y pasivas, iguales criterios para especificar la resistencia mínima del hormigón armado y del hormigón presentado y el mismo tratamiento de las juntas de construcción incluidos en dicho articulado.*

*Aunque la matriz granular del hormigón autocompactante es más fina que la del hormigón convencional y se produce una ligera disminución del efecto de engranamiento entre áridos a ambos lados de una fisura, también se constata la mayor compacidad de la interfase árido-pasta de cemento. Este conjunto de circunstancias no altera sustancialmente el comportamiento resistente del hormigón autocompactante respecto del que se formula para el hormigón convencional, por eso la aplicación de la formulación contenida en el Articulado es de aplicación directa al hormigón autocompactante.*

*Así, por ejemplo, en ensayos de elementos de hormigón autocompactante sometidos a esfuerzo cortante se ha observado una ligera disminución (12%) del efecto de engranamiento, en relación con el observado en los mismos elementos hormigonados con hormigón convencional y no obstante, el resultado de los ensayos ha confirmado el correcto comportamiento de los elementos de hormigón autocompactante dimensionados con la formulación incluida en el Articulado de esta Instrucción.*

*Por otra parte, el hormigón autocompactante contiene menor cantidad de árido grueso que el hormigón convencional y, a la vez, presenta una pasta (cemento más filler, adiciones, agua y aditivos) más compacta que la correspondiente a este último. Estas circunstancias afectan, con signo contrario, de modo que en algunas dosificaciones y con determinados materiales componentes pueden compensarse ambos efectos, a la rigidez del hormigón y a las características que de ella dependen, tales como: módulo de deformación longitudinal, retracción y fluencia, que se tratan en los Artículos siguientes de este Anejo.*

*Como en el caso del hormigón convencional, la dosificación y las características de los componentes utilizados en la fabricación del hormigón autocompactante, también influyen decisivamente en dichas características y en las diferencias obtenidas el comparar los valores de las mismas en un hormigón autocompactante y en un hormigón convencional de igual resistencia característica a compresión.*

*Para hormigones autocompactantes con un contenido de áridos (arena más grava) próximo al máximo compatible con las condiciones de autocompactabilidad (del orden, en peso, del 72% del peso total de la dosificación) y una cantidad de aditivo superplastificante suficiente (del orden del 3'1% del peso del cemento), las diferencias observadas con el hormigón convencional de igual resistencia característica a compresión y materiales componentes de igual clase, son irrelevantes y también lo son las variaciones en el tiempo de fraguado.*

*En general, las características del hormigón autocompactante pueden valorarse con las fórmulas incluidas en el artículo de esta Instrucción.*

### 39.2. Tipificación de los hormigones

La tipificación de los hormigones autocompactables es análoga a la de los hormigones convencionales según el Artículo 39.2 de esta Instrucción, sin más que utilizar como indicativo C de la *consistencia* las siglas AC.

***Comentarios***

*De acuerdo con el valor de los parámetros de autocompactabilidad se pueden establecer diferentes categorías de hormigón autocompactante. Es frecuente identificar tres categorías, AC1, AC2 y* AC3*, cada una de ellas con mayor grado de autocompactabilidad que la anterior. Estas categorías se establecen para los parámetros obtenidos con los ensayos de Escurrimiento y Embudo en V. Los resultados de los ensayos de la Caja en L y el Escurrimiento con anillo J constatan la capacidad de paso del hormigón autocompactante por los huecos y se refieren, en la mayor parte de las aplicaciones, a los huecos entre las armaduras.*

*Respecto a los resultados del ensayo de escurrimiento, las categorías se establecen como se indica a continuación:*

| *Categoría* | *Parámetro* | *Valor* |
|---|---|---|
| *AC1* | *df* | *550 mm $\leq d_f \leq$ 650 mm* |
| *AC2* | *df* | *650 mm < $d_f \leq$ 750 mm* |
| *AC3* | $d_f$ | *750 mm < $d_f \leq$ 850 mm (*)* |
| *AC1* | $T_{50}$ | *2'5 seg. < $T_{50} \leq$ 8 seg.* |
| *AC2* | $T_{50}$ | *2 seg. < $T_{50}$ < 8 seg.* |
| *AC3* | $T_{50}$ | *$T_{50} \leq$ 2 seg. (*)* |
| *(*) En esta categoría pueden presentarse valores de $T_{50}$ menores a 2 segundos y valores de $d_f$ > 850 mm. En estos casos debe controlarse especialmente la ausencia de segregación. Para valores de $d_f$ > 850 mm, es recomendable que el tamaño máximo del árido sea de 12 mm* | | |

*Una misma categoría, determinada por el valor del parámetro $d_f$, puede coexistir con cualquiera de las tres categorías determinadas en función del valor del parámetro $T_{50}$. En consecuencia el cuadro anterior realmente da lugar a nueve categorías combinando las determinadas por ambos parámetros.*

*En cuanto el ensayo del Embudo en V las categorías se establecen como sigue:*

| *Categoría* | *Parámetro* | *Valor* |
|---|---|---|
| *AC1* | $T_v$ | *10 seg. $\leq T_v \leq$ 20 seg.* |
| *AC2* | $T_v$ | *6 seg. $\leq T_v \leq$ 10 seg.* |
| *AC3* | $T_v$ | *4 seg. $\leq T_v \leq$ 6 seg. (*)* |
| *(*) En esta categoría pueden presentarse valores de $T_v$ menores a 4 seg. En este caso debe controlarse especialmente la ausencia de segregación* | | |

*Los valores de los parámetros $T_v$ y $T_{50}$, tienen que ver con la viscosidad y están relacionados. Por ello, a un hormigón autocompactante al que le corresponde una categoría determinada mediante el valor del parámetro $T_{50}$, le corresponde la misma categoría determinada mediante el valor del parámetro $T_v$.*

*Para hormigones autocompactantes de categoría AC3 determinada mediante el valor del parámetro $d_f$, se recomienda utilizar áridos de tamaño máximo menor a 16 mm.*

*Cuando se especifican valores de los parámetros indicados, se deben considerar las siguientes tolerancias:*

*Para los valores nominales de $d_f$ : $\pm$ 80 mm*

*Para los valores nominales de $T_{50}$ : $\pm$ 1seg*

*Para los valores nominales de $T_v$ : $\pm$ 3 seg.*

*Los ensayos de la Caja en L y del Escurrimiento con anillo J se realizan mediante utensilios que ofrecen menor o mayor dificultad el paso del hormigón autocompactante. El "paso ancho" lo proporciona la Caja en L de 2 barras y el Anillo J de 12 barras, y el "paso estrecho", de mayor dificultad, la Caja en L de 3 barras y el anillo J de 20 barras.*

*La realización de estos ensayos no es necesaria cuando los huecos para pasar el hormigón autocompactante son de 100 mm o mayores. Para losas delgadas este valor se reduce a 80 mm.*

*Cuando dichos huecos están comprendidos entre 80 mm y 100 mm, se utilizarán los utensilio de "paso ancho" y cuando aquellos estén comprendidos entre 60 y mm y 80 mm los de "paso estrecho". Para huecos menores de 60 mm es recomendable utilizar utensilios específicos adecuados al caso concreto.*

*En función del tamaño máximo del árido utilizado es suficiente, en términos generales, utilizar utensilios de "paso estrecho" para hormigones autocompactantes con tamaño máximo del árido igual o menor a 20 mm y de "paso ancho" cuando dicho tamaño sea superior a 20 mm.*

### 39.4. Resistencia de cálculo del hormigón

#### Resistencia a compresión

En el hormigón autocompactable el valor de la resistencia a compresión es una referencia imprescindible.

Para el mismo valor de la relación a/c y mismos materiales componentes, la resistencia a compresión se ve en general modificada ligeramente al alza en el caso del hormigón autocompactante, dependiendo de la actividad de los fílleres utilizados. En cualquier caso, estas mejoras son variables y no suelen pasar de un incremento marginal sobre el valor del hormigón de referencia.

La evolución de la resistencia a compresión con el tiempo puede considerarse equivalente a la de un hormigón tradicional. Sin embargo, como se ha mencionado, se deberá tener en cuenta, en algunos casos, la posibilidad de un retraso en la ganancia de resistencia inicial debido a las dosis mayores de aditivos utilizados.

#### Resistencia a tracción

Para la resistencia a tracción pueden hacerse las mismas consideraciones que para la resistencia a compresión. Por lo tanto, pueden aplicarse las relaciones entre ambas resistencias propuestas por el Artículo 39.1 de esta Instrucción para la resistencia a tracción, así como en el Artículo 50.2.2.2 para la resistencia a flexotracción.

#### Resistencia a esfuerzo cortante

Aunque no se han detectado diferencias dignas de ser tenidas en cuenta en el proceso de cálculo, debido al menor contenido de árido grueso, y en general de menor tamaño máximo, los hormigones autocompactantes presentan una superficie de fisura más "lisa" que la de los hormigones tradicionales de la misma resistencia. Esto reduce ligeramente la componente resistente de trabazón. En cualquier caso el cálculo co-

rrespondiente puede realizarse utilizando la formulación del articulado de esta Instrucción para el hormigón convencional.

**Adherencia entre hormigón y acero**

En términos medios, la adherencia entre las barras de armadura y el hormigón resulta superior para el hormigón autocompactante que para un hormigón convencional comparable. Por lo tanto, puede seguir considerándose la tensión de adherencia normalizada.

Así mismo, la longitud de anclaje de las armaduras de pretensar puede determinarse con la formulación incluida en el Artículo 67.4 de esta Instrucción. No obstante es inadmisible la construcción de elementos pretensados con hormigones autocompactantes de clase resistente inferior a la utilizada para su construcción con hormigón convencional.

***Comentarios***

*En este punto se* recuerdan *los comentarios al Artículo 39 contenido en este Anejo.*

**39.6. Módulo de deformación longitudinal del hormigón**

Debido a que los hormigones autocompactantes contienen un mayor volumen de pasta que el hormigón tradicional, y teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad de la pasta es menor que el de los áridos, se podría prever un módulo de deformación ligeramente menor (entre un 7% y un 15%) para el caso del hormigón autocompactante. En cualquier caso, puede calcularse el módulo de deformación utilizando la formulación del articulado de esta Instrucción para el hormigón convencional.

***Comentarios***

*La sobrevaloración del módulo de deformación longitudinal de hormigones autocompactantes, entre un 7% y un 15% en media, producida al calcular su valor mediante la formulación utilizada* en *el caso de hormigones convencionales, no es muy importante y el margen de error que conlleva es comparable con el rango de precisión de dicha formulación aplicada a hormigones convencionales.*

*En los ensayos se ha observado que hormigones autocompactantes con un contenido de áridos (arena más grava) del orden, en peso, del 72% del peso total de la dosificación, presenten valores del módulo de deformación longitudinal similares a los calculados con la citada formulación, mientras que cuando dicho contenido era del orden del 57% los cálculos lo sobrevaloraban entre un 15% y un 30%. Los porcentajes de áridos citados se sitúan cerca de los límites, superior e inferior, respectivamente, del contenido de áridos compatible con las condiciones de autocompactabilidad. Los resultados de los ensayos permiten aproximar el resultado de los cálculos con un coeficiente reductor en función del contenido de áridos. Cuando se requiere un conocimiento detallado del valor del módulo de deformación longitudinal, como por ejemplo en algunas estructuras con un proceso de construcción evolutivo en que el control de la deformaciones resulte crítico, se pueden hacer determinaciones experimentales de dicho valor, al igual que se hace cuando se utiliza hormigón convencional.*

**39.7. Retracción del hormigón**

Es de aplicación la formulación del Artículo 39.7 de esta Instrucción. No obstante, debido a la composición del hormigón autocompactable, puede presentarse una mayor retracción, que debe considerarse como se indica a continuación.

**Retracción plástica**

Debido a que el hormigón autocompactante tiene una mayor cantidad de finos en su composición y una alta resistencia frente a la segregación, el material prácticamente no exuda agua durante la puesta en obra. Si bien teóricamente este aspecto resulta

positivo, en la práctica el efecto puede resultar inverso, ya que muchas veces es el agua de exudación la que compensa el agua que se evapora en estado fresco y, consecuentemente, evita la fisuración por retracción plástica.

De esta manera, debido a las bajas relaciones agua/ligante que en general se consideran, cobra especial importancia el curado del hormigón autocompactante, especialmente en estructuras con altas relaciones superficie/volumen.

**Retracción endógena**

En el hormigón autocompactante, más fácilmente que en el hormigón convencional, puede darse una combinación de factores que podrían conducir a una significativa retracción endógena; un contenido de cemento superior y el uso de un cemento más fino (conducentes a un mayor calor de hidratación), la mayor cantidad de material fino en general y las bajas relaciones agua/finos.

La utilización de cenizas volantes y/o filler calizo puede contribuir a la reducción de la retracción endógena.

Si la retracción endógena del material es un parámetro significativo para la función de la estructura, deberá ser evaluada para la mezcla en cuestión durante un periodo de tiempo no menor a 3 meses a través de ensayos de laboratorio sobre probetas selladas inmediatamente después del desmolde.

**Retracción térmica**

De manera equivalente a lo que sucede con el hormigón convencional, un alto contenido de cemento conducirá a un mayor calor de hidratación, una consecuente dilatación y una posterior retracción térmica, lo cual en elementos de mediana o gran masa podría resultar crítico de cara a la fisuración. Se deben emplear las mismas precauciones que para el hormigón convencional.

**Retracción por secado**

Si la retracción por secado del material es un parámetro significativo para la función de la estructura, deberá ser evaluada para la mezcla en cuestión durante un periodo de tiempo no menor a 6 meses a través de ensayos de laboratorio sobre probetas expuestas a una atmósfera controlada.

***Comentarios***

*Los ensayos muestran que, debido a la composición de los hormigones autocompactantes, mayor contenido de pasta (cemento más filler, adiciones, agua y aditivos) y menor de áridos (*arena *más grava), la mayor pérdida de agua inicial durante el proceso de hidratación del cemento se compensa con la menor pérdida de agua por secado, resultando que la retracción final es análoga a la del hormigón convencional, pudiendo estimarse su valor total con la misma formulación que la utilizada para este último.*

**39.8. Fluencia del hormigón**

En cualquier caso, puede utilizarse la formulación incluida en el Artículo 39.8 de esta Instrucción. El comportamiento en fluencia del hormigón autocompactable puede considerarse equivalente al de un hormigón tradicional de igual relación a/c. Aunque para el mismo nivel resistente podrían producirse deformaciones ligeramente mayores, si el secado al aire es permitido esta diferencia puede desaparecer a causa del mayor refinamiento de la estructura de poros del hormigón autocompactante.

En aplicaciones donde la fluencia pueda ser un factor crítico, esta propiedad deberá ser tenida en cuenta durante el proceso de dosificación y verificada mediante ensayos específicos de laboratorio sobre probetas expuestas a una atmósfera controlada.

***Comentarios***

*El resultado de los ensayos muestra que, debido a la mayor compacidad de la pasta (cemento más filler, adiciones, agua y aditivos) que presentan los hormigones autocompactantes, no se aprecian diferencias significativas de los valores de fluencia obtenidos en comparación con los que presenta el hormigón convencional, a pesar de que el contenido de áridos, que limitan la deformación de la pasta y, por tanto, la fluencia, en aquellos sea menor.*

## TÍTULO 5.º EJECUCIÓN

### Artículo 65.º Cimbras, encofrados y moldes

Cuando se utilice hormigón autocompactante se tendrá en cuenta para el cálculo de cimbras, encofrados y moldes, que la ley de presión estática, ejercida por aquel, puede llegar a ser de tipo hidrostático.

Si bien el hormigón autocompactante no aumenta las pérdidas de lechada por las juntas del encofrado, es deseable asegurar una buena estanqueidad del mismo, como cuando se utiliza hormigón convencional

### Artículo 68.º Dosificación del hormigón

Al dosificar un hormigón autocompactante, deberán contemplarse las correspondientes exigencias relacionadas con el proyecto, a saber:

- *exigencias estructurales:* espaciado entre barras de armadura, dimensiones del elemento, complejidad arquitectónica del encofrado, caras vistas, particularidades del proyecto que puedan influir en el escurrimiento del hormigón como variaciones de espesores, abultamientos, etc.
- *operativas:* modalidad de llenado (bomba, cubilote, canaleta, etc.), velocidad y duración del llenado, características del encofrado, visibilidad del hormigón durante el llenado, distancia a la que ha de llegar el escurrimiento, altura de caída, accesibilidad del camión hormigonera, posicionamiento de los equipos de bombeo, etc.
- *ambientales:* clima y temperatura ambiente en el momento del llenado, temperatura de los materiales, duración del transporte, eventuales situaciones críticas de tráfico, etc.
- *de prestaciones:* clase de exposición ambiental, resistencia característica, y demás requisitos de proyecto.

Como características generales, en un hormigón autocompactante el contenido total de los finos (tamaño de partícula <0'125mm), es decir, el cemento, las adiciones y fillers, se encuentra en el intervalo de 450-600 kg/m$^3$ (180 a 240 litros/m$^3$). El contenido de cemento está en el rango de 250 a 500 kg/m$^3$. El volumen de pasta (agua, cemento, adiciones minerales activas, fillers y aditivos) se encuentra habitualmente por encima de los 350 litros/m$^3$.

Las limitaciones a los contenidos de agua y de cemento quedarán precisadas según las condiciones de exposición definidas en el articulado de esta Instrucción, de acuerdo con el Artículo 37.3.2.

Teniendo en cuenta que es básicamente la pasta la encargada de proporcionar la fluidez y arrastrar el árido, resulta lógico pensar en una granulometría continua y, más allá de las condiciones de espaciamiento entre barras, un tamaño máximo de árido no superior a los 25 mm. El volumen de árido grueso resulta menor en el hormigón autocompactante que en el hormigón convencional, generalmente no superando el 50% del total de áridos.

En el caso de utilizar más de un aditivo, es importante constatar la compatibilidad entre ellos.

Una vez alcanzados los requisitos de autocompactabilidad (ver punto 30.6. de este Anejo), es imprescindible que la dosificación sea probada en la situación de suministro industrial a la obra.

***Comentarios***

*Los valores indicados con carácter general, varían al ajustar cada dosificación a las* características *de la obra o aplicación concreta.*

*En relación con las categorías de autocompactabilidad establecidas en los comentarios al punto 39.2 de este Anejo, se recomienda ajustar la dosificación al tipo de aplicación del hormigón autocompactante del modo siguiente:*

- *Categoría AC1*
    - *Estructuras de hormigón en masa o ligeramente armado.*
    - *Estructuras en las que el llenado de los encofrados es sencillo, el hormigón puede pasar por huecos amplios y los puntos de vertido del mismo no exige que se desplace horizontalmente largas distancias en el interior del encofrado.*
    - *Elementos estructurales en que la superficie no encofrada se separa ligeramente de la horizontal.*
- *Categoría AC2*
    - *La más adecuada para la mayor parte de los elementos estructurales que se construyen habitualmente.*
- *Categoría AC3*
    - *Estructuras muy fuertemente armadas.*
    - *Estructuras en los que el llenado de los encofrados es muy difícil, el hormigón debe pasar por huecos muy pequeños y los puntos de vertido del mismo exigen que se desplace horizontalmente distancias muy largas en el interior del encofrado.*
    - *Elementos estructurales horizontales en los que es muy importante conseguir la autonivelación del propio hormigón.*
    - *Elementos estructurales muy altos, de gran esbeltez y muy fuertemente armados.*

**Artículo 69.º Fabricación y transporte a obra del hormigón**

En el proceso de fabricación de hormigones autocompactantes se deben cuidar, especialmente, los siguientes aspectos:

- El hormigón autocompactante debe fabricarse en central, que puede pertenecer o no a la obra.

- Debe determinarse con precisión la humedad de los áridos durante su almacenamiento, y previamente a la mezcla y amasado de los componentes del hormigón, para evitar variaciones no previstas que afecten a la docilidad del hormigón.

- La incorporación de aditivos puede realizarse en planta o en obra. Sin embargo, por las especiales características de este hormigón, es conveniente la combinación de ambas situaciones, bajo el control del fabricante del hormigón.

El transporte se efectuará mediante amasadora móvil o camión hormigonera.

### Artículo 70.º Puesta en obra del hormigón

#### 70.1. Colocación

Cuando el hormigón autocompactante se coloque mediante bombeo se tendrá en cuenta el incremento de presión correspondiente.

Cuando se utiliza hormigón autocompactante se recomienda una distancia máxima de colocación de 10 m desde el punto en el que se vierte el hormigón.

***Comentarios***

*El* bombeo *es el método más usado para la colocación de hormigón autocompactante.*

*El mejor acabado de las superficies vistas y la menor oclusión de aire se obtienen cuando el hormigón se deposita lo más cerca posible del fondo del encofrado, por lo que, cuando se bombea, es recomendable iniciar el hormigonado situando la manguera tan cerca como sea posible del mismo.*

#### 70.2. Compactación

Debido a la condición de autocompactabilidad no es necesario, en general, someter al hormigón a un proceso de compactación.

### Artículo 73.º Hormigonado en tiempo caluroso

Deberán extremarse las medidas para disminuir el riesgo de desecación en las diferentes etapas de fabricación, transporte, puesta en obra y curado, en las primeras horas.

### Artículo 74.º Curado del hormigón

Es conveniente realizar un buen curado que evite la desecación superficial y los efectos de la retracción plástica a la que el hormigón autocompactante puede resultar más vulnerable que el hormigón convencional.

## TÍTULO 6.º CONTROL

## CAPÍTULO XV. Control de materiales

### Artículo 81.º Control de los componentes del hormigón

Se seguirán las prescripciones del Artículo 81.º de esta Instrucción.

#### 81.3. Áridos

En el caso de emplear un filler, se determinarán las características de filler descritas en la Norma UNE EN 12620: 2002.

### Artículo 83.º Control de la consistencia del hormigón

#### 83.1. Especificaciones

A diferencia de los hormigones convencionales, la docilidad del hormigón autocompactante no se mide mediante la consistencia, sino mediante la propiedad de autocompactabilidad, cuyas especificaciones se recogen en el punto 30.6 de este Anejo.

#### 83.2. Ensayos

Cuando se utilice hormigón autocompactante el control de las propiedades de autocompactabilidad se realizará en todos y cada uno de los camiones hormigonera o unidades de suministro, mediante un único ensayo de escurrimiento (Norma UNE 83361) por cada camión hormigonera o unidad de suministro, si el tipo de hormigón es HM o HA con armadura que no presente dificultades al paso del hormigón, o mediante un único ensayo de escurrimiento y otro asociado con anillo J (Norma UNE 83362) si el tipo de hormigón es HA densamente armado o HP.

El resto de los ensayos para la caracterización de la autocompactabilidad, recogidos en el punto 30.6 de este Anejo (embudo en V y caja en L, Normas UNE 83363 y UNE 83364) se realizarán únicamente en la central de producción del hormigón, como ensayos previos, para ajustar la dosificación, y ensayos característicos.

**Artículo 84.º Control de la resistencia del hormigón**

Se realizarán del mismo modo que en hormigón tradicional, pero con la modificación a la UNE 83301:91 (sustituida por UNE EN 12390-2:2001) de que las probetas se fabricarán por vertido simple, de una sola vez y sin ningún tipo de compactación. Únicamente se admitirá el acabado superficial con llana.

**Artículo 86.º Ensayos previos del hormigón**

Se considera recomendable, en cualquier caso, la realización sistemática de los ensayos previos para optimizar la dosificación a utilizar en los hormigones autocompactantes, prestando especial atención a la característica de autocompactabilidad.

**Artículo 87.º Ensayos característicos del hormigón**

Son aplicables los principios establecidos en el articulado.

**Artículo 88.º Ensayos de control del hormigón**

Son aplicables los principios establecidos en el articulado.

Las condiciones de aceptación del hormigón autocompactante, en cuanto a las propiedades de autocompactabilidad que la caracterizan como tal, se establecen en función del resultado de los ensayos a los que se refiere el punto 83.2 de este Anejo y a las especificaciones incluidas en el punto 30.6 del mismo.

# HORMIGÓN ESTRUCTURAL CON ÁRIDO RECICLADO

## Características y aplicaciones

Pere Borralleras Mas
Departamento Técnico BASF Construction Chemicals España

## 1 Introducción

Los residuos de construcción y los escombros de demolición constituyen cada día un problema más importante en nuestra sociedad. El volumen de este tipo de residuos ha alcanzado una magnitud en los últimos años que hace difícil alcanzar una situación sostenible en su eliminación y en la correcta gestión de vertederos.

Por otro lado, y simultáneamente, los elevados volúmenes de producción de hormigón que ha alcanzado nuestro país en los recientes años ha incrementado el consumo de áridos, bien de extracción natural o en canteras por voladura.

Queda patente entonces la necesidad irremediable de equilibrar el ciclo construcción-deconstrucción en base a la reutilización de los residuos de construcción y demolición como áridos para la fabricación de hormigones, sobretodo teniendo en cuenta que actualmente existen muchos impedimentos sociales y ambientales para obtener las licencias necesarias para abrir nuevas explotaciones de árido natural.

Por este motivo surge la motivación de la correcta gestión de estos residuos de construcción y demolición, conocidos como RCD (Residuos de Construcción y Demolición), por parte de las Administraciones nacionales y locales con la finalidad de potenciar la reutilización de estos residuos. Gracias a todos los estudios realizados durante estos años por diferentes centros de investigación, laboratorios especializados y universidades, se ha adquirido tal conocimiento del hormigón con árido reciclado que en la próxima revisión de la EHE presumiblemente ya se incluirá este hormigón.

### 1.1 Reutilización de los RCD en la actualidad

Desde el año 2001, en el que se publicó el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006, se está impulsando la utilización de estos residuos ya que uno

de los objetivos que se plantearon en este plan era alcanzar un nivel de reciclaje de, al menos, el 60% de los RCDs en el año 2006.

Lejos de esta cifra, la cuota de reciclaje actual se estima por debajo del 20%, y su aplicación en hormigones es prácticamente insignificante, siendo la eliminación en vertederos el destino más frecuente de los RCDs.

Esta insuficiente contribución en la sostenibilidad del ciclo de vida de los áridos para hormigón tiene una justificación contundente: la ausencia de normalización. Se prevé para 2007, con la nueva revisión de la EHE, que finalmente el hormigón con árido reciclado quede amparado por nuestra instrucción. Sin duda esto significará un punto de inflexión en la reutilización de los RDCs como componentes del hormigón convencional y por lo tanto, fomentando su reciclaje y la reducción de la extracción de árido natural.

Sin embargo, existen pocos países que dispongan de normativas para el empleo de los RDCs como áridos para hormigón estructural y que además su reutilización en hormigón sea una realidad significativa. Además, entre las diferentes normativas existentes se hallan diferencias en cuanto a la mínima calidad exigida al árido reciclado, en sus porcentajes máximos de empleo o en las limitaciones en sus aplicaciones.

En el conjunto de la Unión Europea se recicla alrededor del 30% de los residuos de construcción y demolición. Los países pioneros en el reciclaje de RDC son Holanda, que recicla el 95% del total de RDC, Inglaterra, con el 45% y Bélgica, con un 87% de reciclaje, donde un 17% se utiliza como árido para la fabricación de hormigón.

En España en el año 2001 se reciclaba menos de un 10% del total de residuos procedentes de construcción y demolición. En el año 2003 se alcanzó la cifra del 10%, utilizándose estos residuos recuperados como material de relleno y sub-base de carreteras.

Actualmente, de los aproximadamente 500 millones de toneladas de árido que se extraen anualmente en España, el 65% se destina a la fabricación de hormigón y asfalto. La reutilización de RCD como árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural en un porcentaje del 20% permitiría ahorrar la extracción de cerca de 8 millones de toneladas anuales de piedra de las canteras, con las consecuentes ventajas tanto ambientales (menor acumulación de residuos, sostenibilidad, reducción del impacto paisajístico), sociales (reducción de la acumulación en vertederos) y económicas (costes derivados de la acumulación de residuos).

# 2 Hormigón estructural con árido reciclado

Varios centros de investigación y laboratorios nacionales especializados en el sector han estado trabajando intensamente durante los últimos años con la finalidad de caracterizar las propiedades del hormigón fabricado con árido reciclado y establecer de este modo las “reglas de utilización” de los RDC en hormigón estructural.

Se entiende como árido reciclado el árido obtenido mediante procesamiento de residuos de construcción y demolición. En función de la naturaleza del origen de los residuos, los áridos reciclados pueden clasificarse en áridos reciclados procedentes de hormigón, áridos reciclados cerámicos o áridos mixtos, cuando proceden de una mezcla de distinta naturaleza.

En base a estos estudios, se establecieron las siguientes recomendaciones para el uso de árido reciclado en la fabricación de hormigón estructural:

- Utilización solamente de árido grueso (> 4mm) reciclado procedentes de escombros de hormigón. No se autoriza el uso de arena reciclada puesto que se ha comprobado que afecta significativamente a la resistencia mecánica del hormigón.

- Sustitución máxima del 20% del árido grueso natural (se entiende, el no reciclado). Este porcentaje del 20% de sustitución es sin duda un porcentaje conservador, a partir del que se puede garantizar que las propiedades del hormigón no se verán alteradas por la introducción del árido reciclado. Se ha comprobado que un porcentaje de sustitución del 30% podría también ser viable, aunque es cierto que porcentajes de sustitución superiores al 50% pueden causar apreciables pérdidas de resistencia mecánica.

- Aplicación en hormigón en masa y armado de $f_{ck} \leq 40$ N/mm$^2$. Esta limitación no debe presentar un obstáculo real para la reutilización de los RDCs puesto que en España los hormigones de resistencias superiores a 40 MPa representan un reducido porcentaje del total.

**Fig. 1 – Demolición de estructuras cuyo tratamiento del residuo produce el árido reciclado procedente de hormigón**

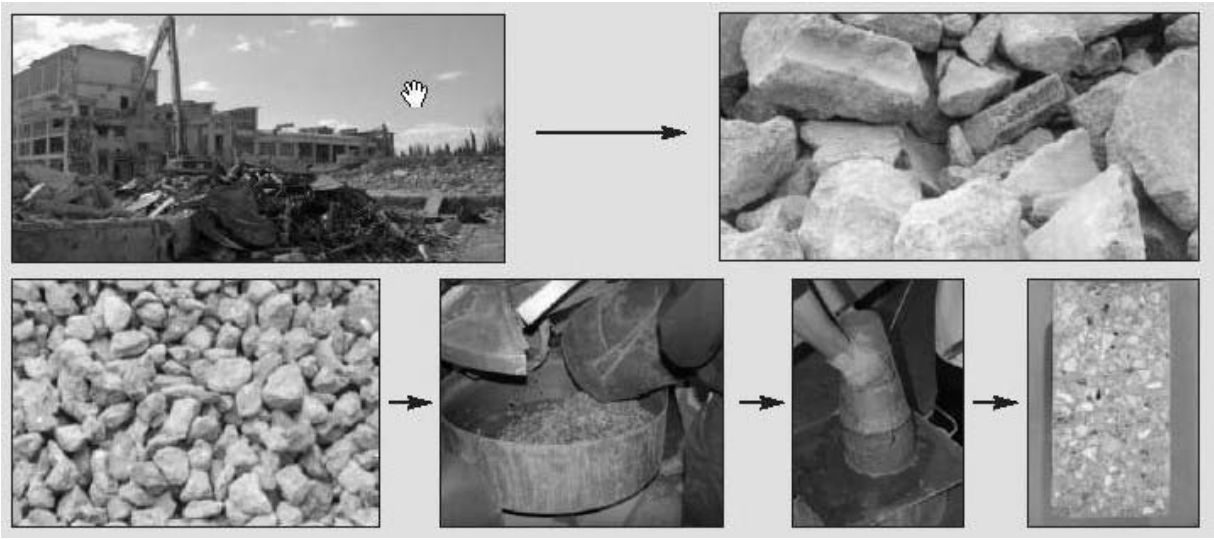


**Fig. 2 – Esquema del proceso de obtención del árido reciclado de hormigón demolido**

## 2.1 Criterios de diseño para el hormigón con árido reciclado

### 2.1.1. Consideraciones previas acerca de los áridos reciclados

Como se ha descrito, el origen mayoritario de los áridos reciclados está en la demolición de estructuras. Por ello, se diferencia si su naturaleza es cerámica o de hormigón.

Los áridos reciclados cerámicos, aunque pueden tener una absorción más moderada, son de naturaleza quebradiza y no ofrecerán nunca el mismo nivel resistente que el árido convencio-

nal. Por otro lado, los áridos reciclados basados en hormigón demolido presentan una elevada absorción debido a que incorporan restos de pasta de cemento. Todos estos condicionantes previos son los que originan limitaciones en el empleo de áridos reciclados en la fabricación de hormigón, pero aun empleando los porcentajes de sustitución recomendados, es necesario considerar ciertos factores en el momento de diseñar el hormigón, como especialmente la elevada absorción del árido reciclado que afecta al mantenimiento de consistencia.

### 2.1.2. Contenido y tipo de cemento

No existe restricción ni condicionante alguno que relacione el tipo de cemento a emplear con la utilización de áridos reciclados. La elección del tipo de cemento deberá obedecer a criterios de aplicación y de calidad de hormigón, siguiendo los mismos criterios que con el hormigón convencional.

Al respeto de la cantidad de cemento a emplear, existen publicaciones que recomiendan incrementar la cantidad de cemento por metro cúbico para obtener las mismas prestaciones debido a que consideran que el árido reciclado es de inferior calidad. La realidad indica que, para porcentajes de sustitución del 20%, con la tecnología de aditivos disponible en la actualidad y con la creciente aparición de empresas especializadas en el reciclado y tratamiento de RDC para lograr unos mejores índices de calidad y regularidad, no es necesario incrementar en la mayoría de casos la cantidad de cemento para obtener idénticas prestaciones cuando se utiliza árido reciclado en porcentajes máximos del 20%.

Si la finalidad de la reutilización de los RDCs como árido reciclado es la mejora medioambiental y la sostenibilidad, no parece lógico recomendar incrementar la cantidad de cemento ahora que los protocolos de Kioto parecen ya obsoletos frente al indiscutible problema medioambiental que nos acecha, especialmente si se considera que existen herramientas alternativas para evitar tal medida.

### 2.1.3. Contenido de agua

El árido reciclado original de residuos de hormigón de demolición tiene una mayor capacidad de absorción de agua que el árido convencional, fundamentalmente debido a que contiene restos de pasta de cemento adheridos. Debido a ello, la demanda de agua del hormigón para obtener una consistencia especificada se incrementa al emplear árido reciclado de forma proporcional con su porcentaje de sustitución y su capacidad de absorción.

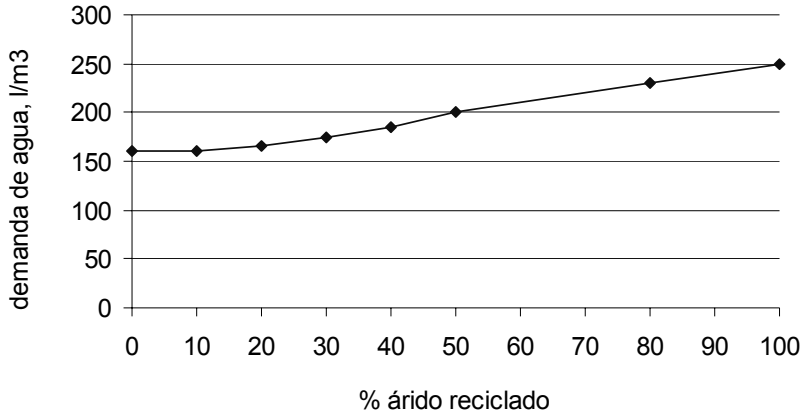



**Fig. 3 – Demanda de agua en HA-25/B con 300 kg/m$^3$ de cemento y diferentes procentajes de sustitución del árido grueso por árido reciclado**

Sin embargo, la "gestión" de esta demanda extra de agua no es sencilla. En el caso de arenas con muchos finos, que también implican una elevada demanda de agua, esta agua adicional es necesaria debido a factores relacionados con la superficie específica de los finos. Esto significa que, en condiciones normales, esta cantidad adicional de agua se hallará retenida por los finos de las arenas durante todo el proceso de transporte y puesta en obra. La diferencia con el hormigón con árido reciclado se encuentra en que la fracción absorbente no es la más fina, sino la de menor superficie específica. Esto implica que la cantidad adicional de agua demandada por su absorción no será fijada inicialmente por la superficie del árido y solamente quedará retenida a medida que progrese la absorción de agua del árido reciclado. Esto significa que inicialmente tendremos una cantidad de agua libre que posteriormente quedará retenida por el árido reciclado.

Esta peculiaridad debe ser considerada de forma importante. Al corregir la absorción del árido (en base al valor obtenido en el ensayo de absorción) incrementando el agua de adición, como inicialmente esta agua no quedará retenida colaborará en la fluidez de la masa, aumentando la consistencia del hormigón justo después de su fabricación. Sin embargo, durante el transporte, a medida que vaya absorbiendo agua el árido reciclado, esta agua adicional quedará retenida y en consecuencia se producirá una pérdida de consistencia del hormigón, abriendo el peligro de la adición de agua en obra, con todos sus efectos negativos asociados.

Este problema, de compleja solución, debe ser especialmente considerado. Si se asume que la pérdida de consistencia del hormigón con árido reciclado puede ser mayor que en el caso del hormigón convencional (mayor cuando mayor sea la capacidad de absorción del árido reciclado), debería reconsiderarse la consistencia adecuada de trabajo para este hormigón. El hormigón de consistencia blanda de por sí ya ofrece serias limitaciones para su correcta aplicación. Entonces, si se fabrica hormigón con árido reciclado de consistencia blanda existe cierta incertidumbre acerca de la consistencia del hormigón en el momento de su recepción en obra, que podría llegar a ser plástica e incluso seca, complicando su ejecución e implicando la adición de agua en obra o el rechazo del camión por no cumplir con la especificación de consistencia.

La consistencia fluida para el hormigón con árido reciclado es mucho más adecuada, pues permite tolerar cierta pérdida de consistencia durante el transporte, además de que el mayor grado de dispersión de la mezcla mejora el mantenimiento de cono de por si. La utilización de consistencias fluidas sin duda representaría un seguro para evitar la adición de agua en obra y reducir el índice de rechazo, mejorando al mismo tiempo las condiciones de aplicación.

Se ha observado trabajando con hormigones de consistencia fluida que la inercia a la pérdida de cono es menor y que incluso no es necesario incrementar la cantidad de agua respeto al caso de no utilizar árido reciclado, manteniendo las propiedades mecánicas.

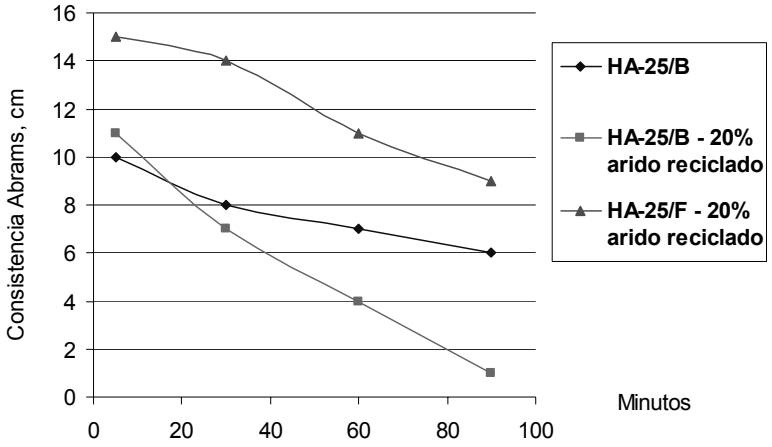
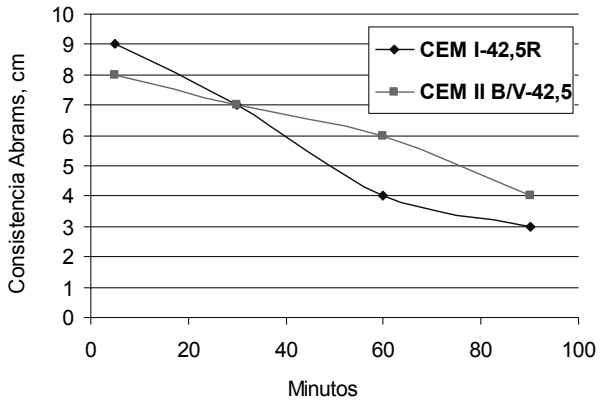



**Fig. 4 – Pérdida de consistencia en hormigones blandos y fluidos con árido reciclado**

Paralelamente, existen también limitaciones en la reducción de agua. Si se fabrica un hormigón con árido reciclado con baja R A/C, aunque gracias al empleo de aditivos reductores de agua puedan alcanzarse elevadas consistencias iniciales, cuando el árido reciclado haya absorbido su proporción de agua apenas quedará agua libre en el hormigón, originando la pérdida inmediata de consistencia por falta de pasta de cemento en el hormigón.

Otra posibilidad alternativa para moderar el efecto de pérdida de consistencia del hormigón con árido reciclado está relacionado con la utilización de cementos con elevado contenido de adición o de baja categoría resistente, que impliquen mayores cantidades por metro cúbico aunque a menor coste y con una menor tasa de $CO_2$ asociada. Al incrementar el contenido de cemento puede aumentarse la cantidad de agua adicionada manteniendo la R A/C. Esta mayor cantidad de agua adicionada permite moderar el efecto negativo de la absorción del árido reciclado.

| Tipo de cemento | CEM I 42,5R | CEM II B/V 42,5 |
|---|---|---|
| kg/m$^3$ de cemento | 275 kg/m$^3$ | 300 kg/m$^3$ |
| Agua de adición | 155 l/m$^3$ | 170 l/m$^3$ |
| R A/C | 0,56 | 0,56 |



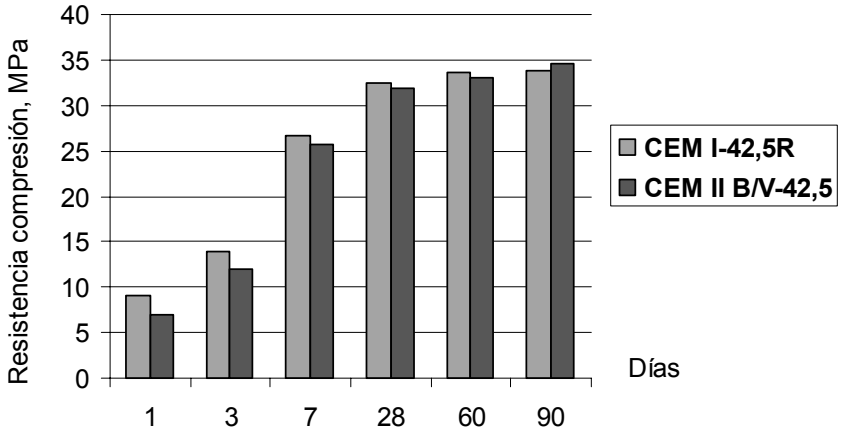




**Fig. 5 – Comparativa del mantenimiento de consistencia y resistencia de hormigones HA-25/B con 20% de árido reciclado y diferentes tipos de cemento**

## 2.1.4. Esqueleto granular

Tratando el árido reciclado como una fracción más de árido grueso, pueden aplicarse los mismo métodos de composición de áridos que en el caso del hormigón convencional (Fuller para curvas compactas, curvas discontinuas, etc). Debe considerarse que el árido reciclado, al ser de origen de machaqueo, será más similar en su forma al árido grueso de machaqueo calizo que al natural rodado, siendo menos esférico que éste y por lo tanto demandando más pasta de cemento para una misma docilidad y consistencia.

Así pues, cuando se sustituya árido natural rodado por árido reciclado, deberá considerarse la demanda extra de pasta para “envolver” eficientemente la superficie del árido. En estos casos,

y como ocurre al emplear árido de cantera de machaqueo calizo, deberán emplearse mayores contenidos de arena, superiores al 50%.

### 2.1.5. Aditivos

Debido a que los factores más determinantes para el rendimiento del aditivo son el cemento, las arenas y la R A/C, puede deducirse que el empleo de áridos reciclados no condiciona en absoluto el uso ni el tipo de aditivos. Todos los aditivos descritos en UNE-EN 934-2 pueden ser usados en el hormigón con árido reciclado con las mismas ventajas y limitaciones que en el hormigón convencional.

Existen en el mercado aditivos moduladores de viscosidad (VMA) que aumentan la viscosidad del agua de amasado y reducen de esta manera su tendencia a ser absorbida. El empleo de estos aditivos en el hormigón con árido reciclado mejora el mantenimiento de consistencia y permite ajustar más correctamente el agua de adición, facilitando además su aplicación por bombeo.

El uso de estos aditivos moduladores de viscosidad del agua es muy común cuando se emplean áridos ligeros para la fabricación de hormigón. Los áridos ligeros son, al igual que el árido reciclado, muy absorbentes, y generan una problemática idéntica a la del árido reciclado que puede resolverse adicionando estos aditivos en el momento de la fabricación del hormigón.

## 3 Aplicaciones estructurales con hormigón con árido reciclado

Durante Enero-Junio de 2006 la empresa productora de hormigón CEMEX realizó un suministro de hormigón fabricado con árido reciclado proveniente de escombros de hormigón demolido para la construcción de una vivienda unifamiliar de dos plantas situada en el Parque Conde de Ordaz (Madrid). El diseño de esta vivienda ya se hizo considerando la utilización de materiales reciclados combinados con elementos naturales.

El hormigón empleado para la cimentación y la estructura (aproximadamente 360 $m^3$) se fabricó con un 10% de árido reciclado procedente de la demolición de hormigón estructural triturado (demolición de zapatas) y procesado en la planta de reciclaje de la empresa TEC REC, para convertirlo de nuevo en un producto granulado listo para su utilización.

**Fig. 6 – Planta de fabricación de árido reciclado de TEC REC**

LOEMCO (Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción) se encargó de la supervisión y el control de la calidad del árido reciclado.

## 3.1 Pruebas previas

Anteriormente a esta aplicación, CEMEX, en colaboración con la ETS de Ingenieros de Minas de Madrid, realizó unas pruebas industriales en las instalaciones de CEMEX – Hormigón con el objetivo de evaluar a escala industrial el comportamiento y las prestaciones del hormigón con árido reciclado en el tiempo, mediante la construcción de diversas estructuras.

### 3.1.1. Caracterización del árido reciclado

Se empleó para esta prueba árido reciclado de la misma empresa y por lo tanto del mismo origen, TEC REC, de fracción 6-20 mm, con las siguientes características:

| Especificaciones Técnicas de la Norma "Áridos Reciclados" (Anexo PNE 146131) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Norma | Ud. | Especificación | TEC REC |
| Caras de Fractura en Rechazo Tamiz 5 UNE | UNE EN 933-5 | % | >50 | Cumple |
| Cernido Tamiz 0,063 UNE | UNE EN 933-1 | % | < 2/3 0,400 mm | 7 |
| Forma Geométrica del Grano (Índice de Lajas) | UNE EN-933-3 | % | <35 | 34 |
| Coeficiente Desgaste "Los Ángeles" | UNE EN-1097-2 | % | <35 | 33 |
| Coeficiente de Limpieza | UNE 146130 | % | >2 | >2 |
| Elementos Contaminantes Incompatibles | Visual | % | <1 | <1 |
| Contenido Materia Orgánica | UNE EN-1744-1 | % | Exento | Exento |
| Equivalente de Arena | UNE EN-933-8 | % | >30 | 87 |
| Índice Plasticidad | UNE 103104 | % | No plástico | No plástico |
| Contenido en Sulfatos Solubles en Ácidos | UNE EN 1744-1 | % | 0,2 - Sin Req. | Cumple |
| Contenido Total de Azufre | UNE EN 1744-1 | % | <1 - Sin Req. | Cumple |

**Tabla 1 – Especificaciones técnicas el árido reciclado empleado**

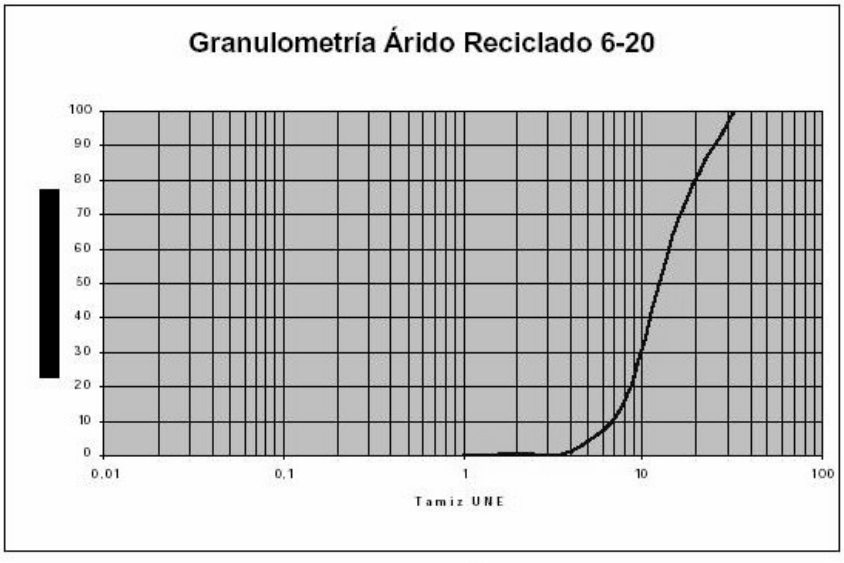



**Fig. 7 – Distribución granulométrica del árido reciclado 6/20 mm**

| Coeficiente de Forma. UNE 7 238:1971 | |
|---|---|
| Retenido en tamiz 4.00 mm | 0.21 |
| Retenido en tamiz 8.00 mm | 0.25 |
| Retenido en tamiz 16.00 mm | 0.27 |

**Tabla 2 – Coeficientes de forma del árido reciclado empleado**

### 3.1.2. Resultados de la prueba industrial

Se hormigonaron con HA-25/B/20 losas de 5,2x3 m con un canto de 20 cm, con mallazo convencional. También se construyó un pilar de sección cuadrada de 2 m de altura y 30 cm de ancho. Se extrajeron testigos de estas estructuras hormigonadas para el control de resistencias, además de las probetas convencionales.

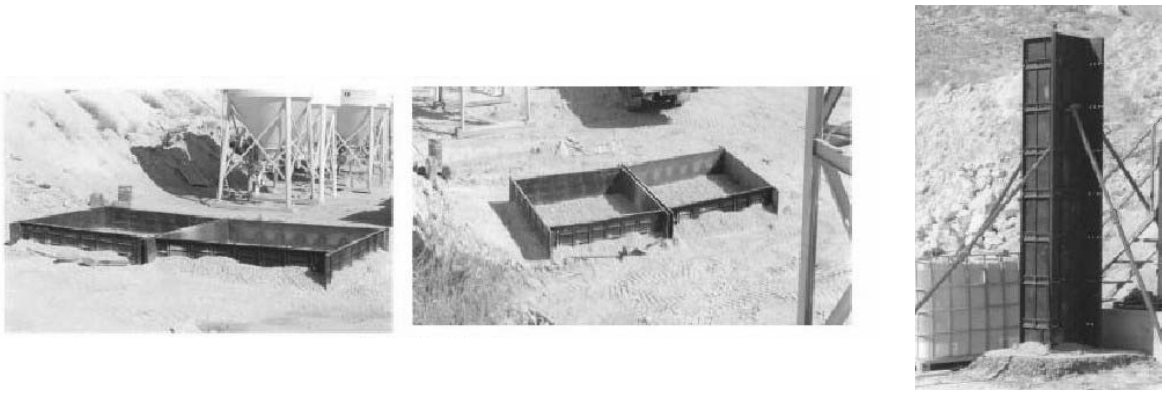


**Fig. 8 – Encofrados de las estructuras hormigonadas en la prueba industrial**

Los resultados obtenidos con el hormigón con árido reciclado se compararon en todo momento con su patrón sin árido reciclado.

El hormigón suministrado se fabricó con un 48% de grava reciclada, con la siguiente dosificación:

| | Hormigón patrón | Hormigón con árido reciclado |
|---|---|---|
| CEM II A/P 42,5R | 320 kg/m$^3$ | 320 kg/m$^3$ |
| Arena 0/6 | 885 kg/m$^3$ | 885 kg/m$^3$ |
| Grava natural | 1000 kg/m$^3$ | 620 kg/m$^3$ |
| Árido grueso reciclado | --- | 480 kg/m$^3$ |
| Agua | 160 l/m$^3$ | 160 l/m$^3$ |
| Aditivo polifuncional | 1,2% spc | 1,2% spc |

**Tabla 3 – Dosificaciones de los hormigones ensayados**

Los resultados de resistencia mecánica obtenidos tanto en las probetas confeccionadas durante la aplicación como en los testigos extraídos mostraron valores muy positivos atendiendo al elevado porcentaje de utilización de árido reciclado.

| Edad | Reciclado | Convencional |
|---|---|---|
| 7 días | 27.4 MPa | 33.4 MPa |
| 28 días | 31.9 MPa | 36.4 MPa |
| 60 días | 34.4 MPa | 38.4 MPa |

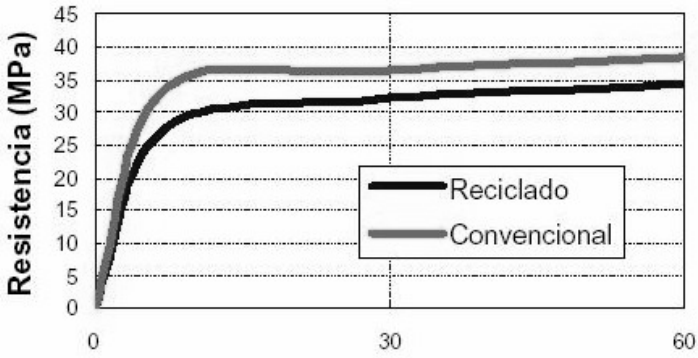



**Fig. 9 – Evolución de resistencias mecánicas en las probetas preparadas**

| Tipo | 28 días | 60 días |
|---|---|---|
| Reciclado (Pilar) | 32.3 MPa | 37.8 MPa |
| Reciclado (Losa) | 35.9 MPa | 37.4 MPa |
| Convenc. | 37.7 MPa | 40.7 MPa |

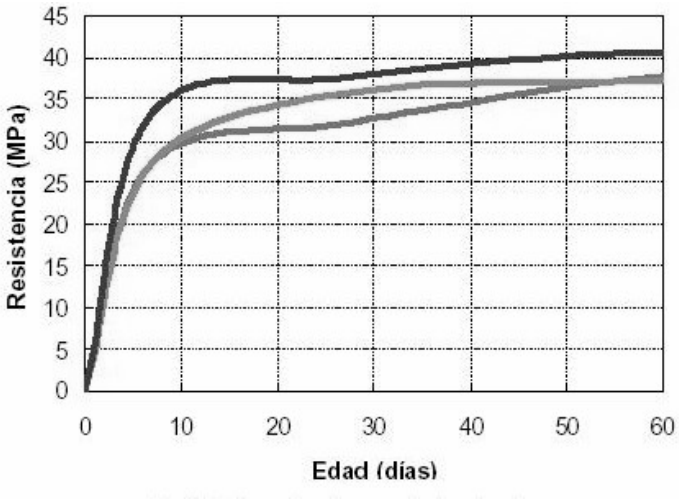



**Fig. 10 – Evolución de resistencias en los testigos extraídos**

## 3.2 Vivienda unifamiliar en el Parque Conde Orgaz (Madrid)

### 3.2.1. Ensayos previos

Los ensayos previos para caracterizar el hormigón con árido reciclado para la obra de la vivienda unifamiliar en el Parque Conde Orgaz fueron realizados por CEMEX – Hormigón y BASF Construction Chemicals. El árido empleado, como se ha comentado, consiste en residuo de demolición de hormigón tratado para tal fin.

**Fig. 11 – Aspecto del árido reciclado empleado para esta obra**

Se estudió la repercusión de la sustitución de un 10% de árido convencional por árido reciclado sobre grava de naturaleza caliza y sobre grava de naturaleza silícea, para HA-25/B/20 y HA-35/B/20, con los siguientes resultados:

| | Árido calizo | | Árido silíceo | |
|---|---|---|---|---|
| | *HA-25/B/20* | *HA-35/B/20* | *HA-25/B/20* | *HA-35/B/20* |
| CEM II A/V 42,5R | 305 kg/m$^3$ | 370 kg/m$^3$ | 305 kg/m$^3$ | 370 kg/m$^3$ |
| Grava 5/20 | 830 kg/m$^3$ | 800 kg/m$^3$ | 830 kg/m$^3$ | 800 kg/m$^3$ |
| Grava reciclada 5/20 | 93 kg/m$^3$ | 95 kg/m$^3$ | 93 kg/m$^3$ | 95 kg/m$^3$ |
| Arena rodada 0/4 | 918 kg/m$^3$ | 970 kg/m$^3$ | 918 kg/m$^3$ | 970 kg/m$^3$ |
| Agua de amasado | 185 l/m$^3$ | 181 l/m$^3$ | 170 kg/m$^3$ | 160 kg/m$^3$ |
| Aditivo polifuncional | 0,8% spc | 0,8% spc | 0,8% spc | 0,8% spc |
| Aditivo superplastificante | 0,6% spc | 0,6% spc | 0,6% spc | 0,6% spc |
| R A/C | 0,60 | 0,49 | 0,56 | 0,44 |
| Consistencia inicial | 7 cm | 7,5 cm | 7,5 cm | 7,5 cm |
| Densidad en fresco | 2348 kg/m$^3$ | 2361 kg/m$^3$ | 2352 kg/m$^3$ | 2371 kg/m$^3$ |
| Resistencia 7 días | 27,1 MPa | 38,3 MPa | 30,3 MPa | 39,0 MPa |
| Resistencia 28 días | 34,3 MPa | 45,7 MPa | 37,5 MPa | 46,0 MPa |

**Tabla 4 – Dosificaciones de los hormigones y resultados en la fase de ensayos de laboratorio**

**Fig. 12 – Ensayos previos de laboratorio con árido reciclado**

### 3.2.2. Hormigones suministrados

Todo el hormigón suministrado para la vivienda construida en el Parque Conde de Ordaz contenía un 10% de árido reciclado, con el cual se hormigonaron todas las estructuras presentes, desde pilares, hasta rampas, por lo tanto, se trabajó con diferentes consistencias adecuadas a cada aplicación:

- HA-25/B para pilares
- HA-25/F para forjados, cimentaciones, zapatas y soleras
- HA-25/P para las rampas

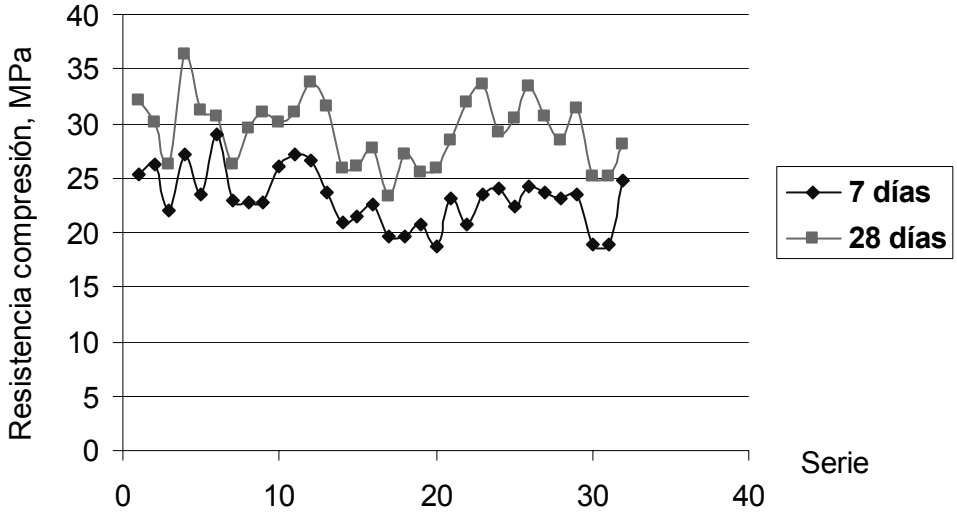
**Fig. 13 – Imágenes durante la aplicación del hormigón con árido reciclado**

El hormigón suministrado estaba fabricado con cemento de CEMEX habitual, CEM II A/V 42,5R y contenía una sinergia de aditivo polifuncional y aditivo superplastificante de la firma BASF Construction Chemicals.

### 3.2.3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en esta aplicación con el hormigón estructural con un 10% de árido reciclado fueron plenamente satisfactorios.

A nivel de acabado superficial no se observaron deficiencias que pudieran ser atribuibles al uso expreso de áridos reciclados, y la estadística de resistencias con los más de 300 $m^3$ suministrados mostró valores del orden del hormigón convencional.




| | |
|---|---|
| Media de resistencias para HA-25 a 28 días | 29,3 MPa |

**Fig. 14 – Registro de resistencias de los diferentes suministros de hormigón con árido reciclado**

Referente a la recomendación que se realizaba acerca de la utilización de consistencias fluidas en lugar de blandas, obsérvese como en esta aplicación real la media de resistencias para el HA-25/F es sustancialmente superior a la del HA-25/B.

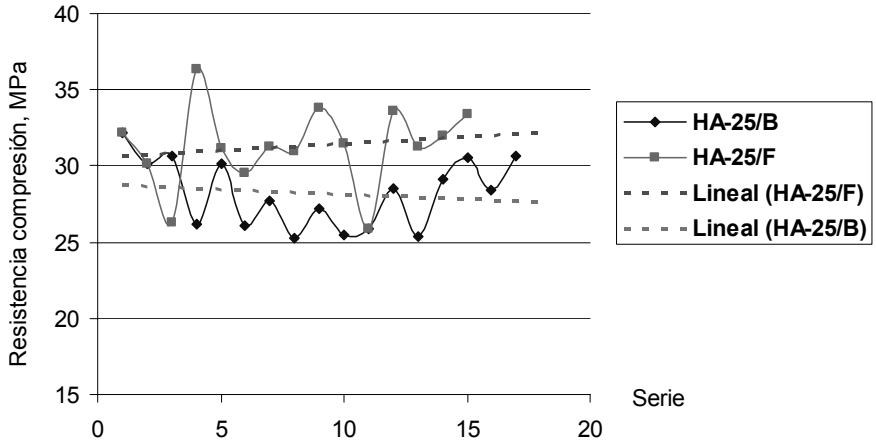



**Fig. 15 – Comparativo de resistencias a 28 días entre los hormigones HA-25 con 10% de árido reciclado de consistencia blanda y fluida**

# 4 Conclusiones

La posibilidad de reutilizar residuos de construcción y demolición como árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural ya ha sido demostrada por varios estudios realizados por centros especializados y mediante la elaboración de diferentes pruebas industriales que han mostrado resultados suficientemente prometedores para potenciar su utilización.

Sin embargo, resulta de crucial importancia la existencia de normalización al respeto que regule por un lado las condiciones de utilización del árido reciclado en el hormigón estructural en base a sus limitaciones y por otro lado que permita potenciar la utilización de este material alternativo dentro del sector de la construcción.

La necesidad del desarrollo sostenible, conjuntamente con el crecimiento económico, hace pensar que pocas opciones existen al respeto, pues el empleo de áridos reciclados en hormigón será una realidad necesaria en un futuro ciertamente próximo ante las ya actuales limitaciones de disponibilidad de árido natural.

# BORRADOR DE NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL ÁRIDO RECICLADO EN HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Grupo "Hormigón Reciclado". Comisión Permanente del Hormigón.

Comisión de Materiales de ACHE

Coordinadora: Pilar Alaejos (CEDEX); Secretaría: Marta Sánchez de Juan (CEDEX); Vocales: Marilda Barra (UPC), Manuel Burón (IECA), Enrique Dapena (UPM), Miren Etxebarría (UPC), Gilbert Francisco (Isolux - Corsan Corvian), Belén González Fonteboa (UDC), Fernando Martínez Abella (UDC), Isabel Martínez Lage (UDC), José Luis Parra y Alfaro (LOEMCO), Juan Antonio Polanco Madrazo (Universidad de Cantabria); Enric Vázquez (UPC

## 1. Introducción

En España, se estima una producción anual de unos 38,5 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición. Aproximadamente un 20% del total corresponde a escombros de hormigón.

Ante esta situación, el Ministerio de Medio Ambiente publicó en el año 2001 un Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD), entre cuyos objetivos se encuentra una disminución de un 10% en la generación de RCD e incrementar el nivel de reciclado hasta el 25% en un período de cinco años. En el momento actual, los niveles de reciclaje de este tipo de residuo en España se sitúan en el 15%.

Para la consecución de estos objetivos, el Plan establece como instrumento necesario "la redacción de una norma técnica de calidades de los materiales reutilizables o reciclables procedentes de los RCDs". Con este propósito se están elaborando Guías Técnicas de Utilización en el campo de las carreteras, y también en la aplicación como árido para hormigón, objeto de esta ponencia. Con este propósito, se constituyó un Grupo de Trabajo de la Comisión Permanente del Hormigón, Órgano administrativo del Estado encargado de la redacción de normativa técnica sobre hormigón estructural. El Grupo de Trabajo ha elaborado un borrador de normativa para regular la utilización del árido reciclado en esta aplicación, que actualmente se encuentra en fase de tramitación, y cuyo contenido se expone en la ponencia.

Para la elaboración del borrador, se ha realizado una revisión pormenorizada de diferentes normativas internacionales: Holanda, Bélgica, Alemania, Gran Bretaña, Japón, Australia y Hong-Kong. Se observa diversidad en los requisitos exigidos al árido reciclado y al hormigón reciclado en diferentes países (Tabla 1 al final del texto), posiblemente debido a los condicionantes locales en cada caso (disponibilidad de recursos naturales, experiencia previa, etc). La normativa redactada en España también tiene sus peculiaridades, que serán desarrolladas en la ponencia.

# 2. Alcance

El borrador de Norma redactado define como hormigón reciclado (HR), el hormigón fabricado con árido grueso reciclado procedente del machaqueo de residuos de hormigón.

Para su aplicación en hormigón estructural, se recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado apenas se ven afectadas en relación a las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación. En el borrador de norma se dan indicaciones sobre algunas de las propiedades del hormigón que pueden verse afectadas con sustituciones superiores al límite indicado.

El árido reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm$^2$, quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.

Quedan fuera de los objetivos de la norma:

- Los hormigones fabricados con árido fino reciclado.
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados de naturaleza distinta del hormigón (áridos mayoritariamente cerámicos, asfálticos, etc).
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de estructuras de hormigón con patologías que afectan a la calidad del hormigón tales como álcali-árido, ataque por sulfatos, fuego, etc.
- Hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de hormigones especiales tales como aluminoso, con fibras, con polímeros, etc.

# 3. Propiedades tecnológicas de los áridos reciclados

La combinación de árido grueso natural y reciclado ha de satisfacer las especificaciones recogidas en la normativa española (ver Tabla 1 al final del texto).

A continuación se comentan aquellos aspectos más relevantes sobre las especificaciones recogidas en dicha Tabla.

## 3.1. Designación y tamaños de áridos

El tamaño mínimo permitido de árido reciclado es de 4 mm. Los áridos reciclados deberán presentar un contenido de desclasificados inferiores menor o igual al 10% y un contenido de partículas que pasan por el tamiz de 4 mm no superior al 5%.

## 3.2. Prescripciones y ensayos

***Condiciones físico-químicas***

El árido reciclado debe cumplir las mismas especificaciones que el árido natural en cuanto al contenido de cloruros, contenido de sulfatos, contenido de partículas de bajo peso específico y contenido de partículas blandas.

En hormigón reciclado con un contenido no superior al 20% de árido reciclado, el contenido de terrones de arcilla de éste no será superior al 0,6%, y el del árido grueso natural no superior al 0,15%. En el caso de utilizar un 100% de árido grueso reciclado, éste debe cumplir la especificación máxima del 0,25% de terrones de arcilla establecida para áridos convencionales.

Los áridos reciclados no presentarán reactividad potencial con los alcalinos del hormigón. Para el caso de los áridos reciclados procedentes de un único hormigón de origen, se deberán realizar las mismas comprobaciones que para los áridos naturales. En el caso de áridos reciclados procedentes de distintos hormigones de origen, éstos deben considerarse potencialmente reactivos.

Se recomienda determinar el contenido de cloruros totales en vez del contenido de cloruros solubles en agua. Esto es debido a la posibilidad de que haya ciertos cloruros combinados que en ciertas circunstancias puedan ser reactivos y atacar las armaduras.

La determinación del contenido de partículas ligeras (UNE-EN 1744-1) presenta diversos problemas cuando se utiliza en áridos reciclados, al enturbiarse la solución con partículas de tierra y variar su densidad, debiéndose proceder a un lavado previo de la muestra y posterior desecado antes de la realización del ensayo.

El límite para el contenido de partículas blandas será el mismo para los áridos reciclados que para los áridos naturales, aunque se deberá adaptar el método de ensayo UNE 7134:58, con el criterio de realizar el ensayo únicamente sobre la parte de árido natural de las partículas y no sobre el mortero adherido.

Los áridos reciclados pueden incorporar impurezas y contaminantes que influyen negativamente en las propiedades del hormigón (plástico, madera, yeso, ladrillo, vidrio, materia orgánica, aluminio, asfalto, etc.). Estas impurezas producen en todos los casos un descenso de resistencia en el hormigón, pudiendo además presentar otros problemas como reacciones álcali-árido (vidrio), ataque por sulfatos (yeso), desconchados superficiales (madera o papel), elevada retracción (tierras arcillosas) o mal comportamiento hielo-deshielo (algunos cerámicos). Para determinar el contenido de impurezas se puede utilizar el procedimiento descrito en la norma prEN 933-11 “Test for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test form the constituents of coarse recycled aggregates”. Los valores máximos admisibles se recogen en la Tabla 2.

*Tabla 2:* **Especificaciones para el contenido de impurezas del árido reciclado**

| Elementos | Max. % de impurezas |
|---|---|
| Material cerámico | 5,0 |
| Partículas ligeras | 1,0 |
| Asfalto | 1,0 |
| Otros materiales (vidrio, plásticos, metales, etc). | 1,0 |

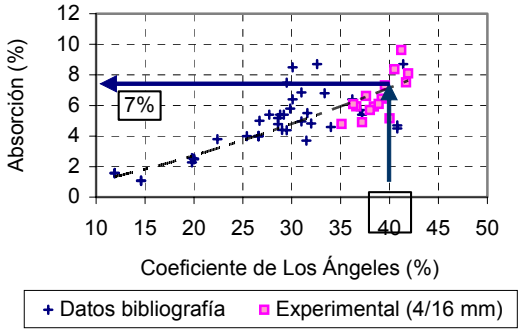



***Figura 1:*** Relación entre el coeficiente de Los Ángeles y la absorción del árido reciclado[9]

### *Condiciones físico-mecánicas*

En el hormigón reciclado con un contenido de árido reciclado no superior al 20%, éste deberá tener una absorción no superior al 7%. Adicionalmente, el árido grueso natural deberá tener una absorción no superior al 4,5%. Con la nueva especificación del 7% se seleccionan áridos reciclados que cumplen la especificación española para el coeficiente de Los Ángeles (<40%), según se observa en la Figura 1.

En el caso de utilizar un 100% de árido reciclado, éste deberá presentar una absorción inferior al 5%, límite que establece la normativa española para los áridos naturales.
Como control rápido en la planta de producción, que permita estimar la absorción del árido reciclado, se puede realizar un ensayo de absorción a los 10 minutos, que debería ser inferior a 5,5% para aplicaciones de árido reciclado no superiores al 20%.

En el caso de hormigones sometidos a ambientes de helada, para determinar la pérdida de peso máxima experimentada por los áridos reciclados al ser sometidos a ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico, se deberá realizar una preparación previa de la muestra, que consistirá en un lavado y tamizado enérgico por el tamiz de abertura 10 mm, para eliminar todas las partículas friables, previamente al procedimiento de ensayo descrito en la norma UNE-EN 1367-2:99 “Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 2: Ensayo de sulfato de magnesio”. El límite al resultado del ensayo que establece la Instrucción para los áridos naturales será también de aplicación para los áridos gruesos reciclados (<18%).

# 4. Suministro y almacenamiento

Las partidas de árido reciclado deben disponer de un documento de identificación de los escombros de origen que incluya los siguientes aspectos: naturaleza del material (hormigón en masa, armado, mezcla de hormigón, etc), planta productora del árido reciclado y empresa transportista del escombro, presencia de impurezas (cerámico, madera, asfalto), detalles sobre su procedencia (origen o el tipo de estructura de la que procede) y cualquier otra información que resulte de interés (causa de la demolición, contaminación de cloruros, hormigón afectado por reacciones álcali-árido, etc).

Se deberán establecer acopios separados e identificados para los áridos reciclados y los áridos naturales. Además, es aconsejable que los áridos reciclados procedentes de hormigones de muy distintas calidades se almacenen separadamente, debido a que la calidad del hormigón de origen influye en la calidad del árido reciclado, obteniéndose áridos con mejores propiedades a partir de hormigones de buena calidad. Una posible distinción puede ser almacenar en acopios separados los escombros procedentes de hormigón estructural o de elevada resistencia y los procedentes de hormigones no estructurales, permitiendo así una mayor uniformidad en las propiedades de los áridos producidos.

# 5. Durabilidad

La durabilidad del hormigón reciclado con un porcentaje de árido reciclado no superior al 20% es similar a la que presenta un hormigón convencional, por lo que son de aplicación las mismas prescripciones exigidas al hormigón fabricad con árido natural.

## 5.1. Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

Para conseguir el mismo grado de durabilidad en un hormigón con un contenido de árido reciclado de hasta el 20%, se pueden adoptar los mismos valores de máxima relación a/c y mínimo contenido de cemento exigidos al árido natural.

Sin embargo, en hormigones reciclados con más de un 20% de árido reciclado, los valores recogidos en la Tabla 3 pueden ser insuficientes, siendo recomendable ajustar la dosificación de forma que se cumplan los requisitos referentes al resultado del ensayo de penetración de agua bajo presión (norma UNE-EN 12390-8), cuyo resultado debe cumplir Pmax $\leq$ 50 mm y Pmed $\leq$ 30 mm, (excepto para las clases de exposición I y IIb).

## 5.2. Requisitos de durabilidad en los distintos ambientes

Para ***ambientes de helada (H ó F) o erosión (E)***, los requisitos que deben cumplir tanto los áridos reciclados, como los hormigones reciclados deben ser los mismos que los que establece la Instrucción para hormigones convencionales.

En el caso de hormigones con más de un 20% de árido reciclado, se deberán realizar ensayos específicos con la dosificación del hormigón reciclado adoptada.

La limitación establecida para el coeficiente de Los Ángeles en ambientes de erosión (≤30%) es difícil de cumplir en los áridos reciclados, ya que éstos suelen presentar un mayor desgaste debido al mortero adherido.

En ambientes en los que se requiera ***resistencia frente al ataque por sulfatos***, la utilización del árido reciclado está condicionada a que se conozca la procedencia del hormigón de origen, debiendo éste haber sido fabricado con cementos resistentes a los sulfatos.

Para evitar la ***reactividad álcali-árido***, en ambientes de exposición húmedos (aquellos distintos al I y IIb), se recomienda utilizar áridos reciclados procedentes
de un único hormigón de origen controlado. En este caso, los ensayos de reactividad se llevarán a cabo sobre la mezcla de árido reciclado y natural que se vaya a utilizar en la obra. En estos ambientes, y en el caso de utilizar áridos reciclados de distintas procedencias, como precaución se tomarán las medidas que establece la Instrucción para la utilización de áridos potencialmente reactivos (empleo de cementos de bajo contenido de álcalis y utilización de adiciones al hormigón).

# 6. Corrosión

Al igual que en otras propiedades, los hormigones con un contenido de árido reciclado no superior al 20% presentan un comportamiento adecuado frente a la corrosión.

Para hormigones con porcentajes de árido reciclado superiores al 20%, la protección frente a la corrosión es inferior que la que ofrece un hormigón convencional con la misma dosificación, por lo que se recomienda la realización de ensayos específicos en cada caso.

# 7. Características del hormigón

Para hormigón reciclado con un porcentaje de árido grueso reciclado no superior al 20% se pueden utilizar las fórmulas del articulado, salvo indicación puntual en contra. Para sustituciones superiores, se dan las siguientes recomendaciones:

**Densidad:** La densidad resultante del hormigón reciclado es inferior a la de un hormigón convencional por la menor densidad que presenta el árido reciclado, a causa del mortero que permanece adherido al árido natural. Para sustituciones totales del árido grueso, los descensos se sitúan entre el 5-15% de la densidad de un hormigón convencional (Figura 2).

***Tabla 3:*** Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

| Parámetro de dosificación | Tipo de hormigón | CLASE DE EXPOSICIÓN | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | IIa | IIb | IIIa | IIIb | IIIc | IV | Qa | Qb | Qc | H | E | F |
| Máxima relación a/c | Masa | 0,65 | - | - | - | - | - | - | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,50 |
| | Armado | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,50 |
| Mínimo contenido de cemento (kg/m3) | Masa | 200 | - | - | - | - | - | - | 275 | 300 | 325 | 275 | 300 | 275 |
| | armado | 250 | 275 | 300 | 300 | 325 | 350 | 325 | 325 | 350 | 350 | 300 | 325 | 300 |

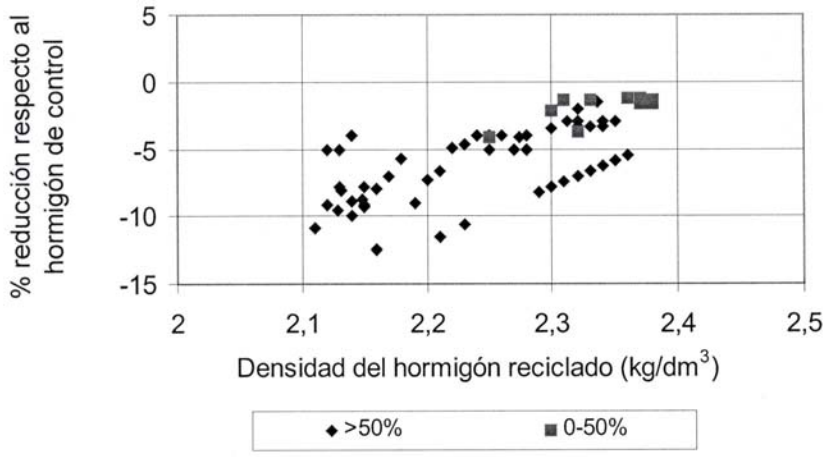



***Figura 2:*** Densidad del hormigón reciclado [9]

**Resistencia a tracción:** En el hormigón reciclado, incluso para porcentajes de sustitución elevados, esta propiedad se ve poco afectada, aunque se recomienda la realización de ensayos en cada caso (Figura 3).

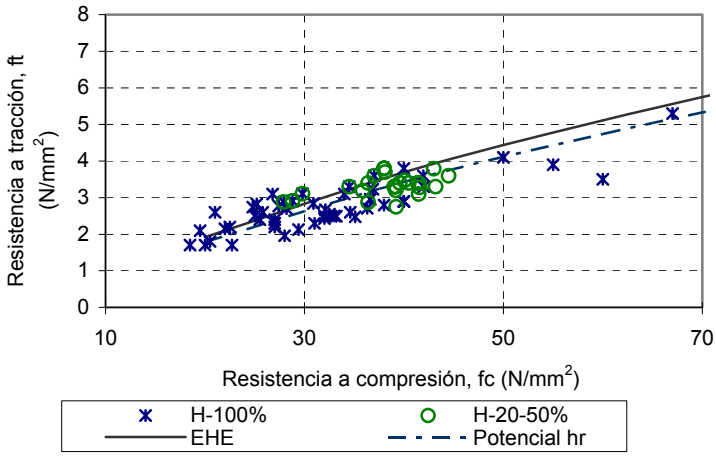



**Figura 3:** Relación entre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción del hormigón (ensayo brasileño) [9]

**Resistencia a compresión:** La resistencia característica del hormigón reciclado está limitada a 40 N/mm$^2$.

**Diagrama tensión-deformación de cálculo:** Hay dos aspectos del diagrama tensión deformación del hormigón reciclado que pueden verse afectados:

- Por una parte se produce un aumento de la deformación en pico $\varepsilon_{c1}$ a medida que aumenta el porcentaje de árido reciclado, debido a la mayor deformabilidad de estos áridos.
- Por otra parte, se pueden acusar mayores pérdidas de resistencia, en comparación con el hormigón convencional, en ensayos bajo cargas sostenidas.

Por tanto, con sustituciones superiores al 20% se recomienda la realización de estudios específicos para fijar el diagrama de cálculo que se debe utilizar.

**Módulo de deformación longitudinal del hormigón:** El módulo de deformación longitudinal disminuye progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado. Como valor orientativo, y para un 100% de árido grueso reciclado, el módulo del hormigón será 0,8 veces el del hormigón convencional. Sin embargo, y debido a la variación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor del módulo (pudiéndose presentar valores incluso inferiores al apuntado), lo que aconseja realizar ensayos en cada caso.

**Retracción:** la retracción aumenta progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado. Como valor orientativo, y para un 100% de árido grueso reciclado, la retracción será 1,5 veces la de un hormigón convencional. Debido a la fluctuación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor de la retracción (pudiéndose presentar valores superiores al indicado), por lo que se aconseja realizar ensayos en cada caso.

**Fluencia:** la fluencia aumenta progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado. En el cálculo de la misma, este efecto se refleja a través de la disminución que experimenta el módulo de deformación longitudinal. Así, como valor orientativo para un 100% de árido grueso reciclado, la fluencia será 1,25 veces la de un hormigón convencional. Debido a la fluctuación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor de la fluencia, pudiéndose presentar valores superiores al indicado, por lo que se aconseja realizar ensayos en cada caso.

En la Tabla 4 se comparan las limitaciones que las distintas normativas imponen sobre la categoría resistente de los hormigones reciclados, así como los coeficientes a aplicar para estimar distintas propiedades de estos hormigones.

# 8. Cálculo de secciones y elementos estructurales

La redacción del articulado correspondiente a este capítulo se mantiene para hormigones con sustituciones de árido reciclado no superiores al 20%. Para sustituciones superiores, se recomienda realizar ensayos previos específicos en cada caso, atendiendo con especial importancia a las siguientes consideraciones del hormigón reciclado:

- Las disminuciones de resistencia bajo carga sostenida pueden ser importantes.
- La separación máxima entre estribos se reduce a valor máximo de 200 mm, con el fin de mejorar la respuesta frente a fisuración bajo esfuerzo cortante.

- En elementos muy sensibles a la deformación y, especialmente, para porcentajes de árido reciclado superiores al 20%, deberían realizarse estudios específicos acerca del comportamiento en estado límite de servicio.
- El hormigón reciclado parece presentar una ligera reducción en la capacidad adherente de las barras corrugadas. A falta de resultados experimentales específicos, se puede adoptar la siguiente expresión para las longitudes básicas de anclaje:

Para barras en posición I:

$$l_{bI} = 1{,}1\ m\ \phi^2 \geq (f_{yk}/20)\ \phi$$

Para barras en posición II:

$$l_{bII} = 1{,}55\ m\phi^2 \geq (f_{yk}/14)\ \phi$$

| PROCEDENCIA | Árido grueso reciclado | Categoría resistente ($N/mm^2$) | Módulo de elasticidad | Retracción | Fluencia |
|---|---|---|---|---|---|
| **España** | **100% RCA** | **40** | **0,80** | **1,5** | **1,25** |
| | **20 % RCA** | **40** | **1,00** | **1,00** | **1,00** |
| Rilem | 100% RCA | 50 | 0,80 | 1,50 | 1,25 |
| | 20 % RCA | Sin límite | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Hong Kong | 100% RCA | 20 | - | - | - |
| | 20 % RCA | 25-30 | - | - | - |
| Bélgica | 100% RCA | 30 | 0,80 | 1,50 | 1,25 |
| | 20 % RCA | - | - | - | 1,00 |
| Holanda | 100% RCA y aumento de cemento en 40 $kg/m^3$ | 17,5-22,5 (cúbica) | - | 1,35 | 1,45 |
| | 100% RCA y aumento de cemento en 50 $kg/m^3$ | 27,5-45 (cúbica) | - | 1,55 | 1,25 |
| | 20% RCA | Sin límite | - | 1,00 | 1,00 |
| Reino unido | 100% RCA | 40 | - | - | - |
| | 20% RCA | Sin límite | - | - | - |
| Japón (obra civil) | I | 18-24 | - | - | - |
| | II | 16-18 | - | - | - |
| | III | <16 | - | - | - |
| Australia (aplicación no estructural) | 100% RCA | 40 | - | - | - |

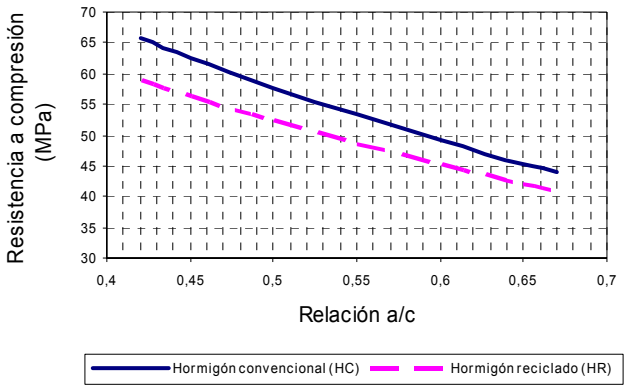
RCA: Árido reciclado procedente de hormigón

***Tabla 4:*** Requisitos establecidos para el hormigón reciclado por distintas normativas

# 9. Fabricación, transporte y puesta en obra

A continuación se dan una serie de recomendaciones referentes a las operaciones de fabricación, transporte y puesta en obra de hormigones reciclados con sustituciones superiores al 20%.

Debido a la menor calidad de los áridos reciclados, para mantener la misma resistencia y durabilidad que un hormigón convencional, el hormigón fabricado con áridos reciclados necesitará un contenido mayor de cemento o una menor relación agua/cemento en su dosificación (Figura 4).




Hormigón árido calizo (HC) $y = 129{,}78*5{,}05^{-A/C}$
Hormigón Reciclado (HR) $y = 109{,}13*4{,}35^{-A/C}$

***Figura 4.*** Dosificación de Hormigón Reciclado. Correlación resistencia a compresión con relación agua/cemento[11].

Igualmente, para conseguir la consistencia deseada, suele ser necesario añadir más agua a la dosificación para compensar la mayor absorción del árido reciclado, o más habitualmente introducir aditivos plastificantes o superplastificantes en la dosificación o presaturar el árido reciclado.

En cuanto a la fabricación del hormigón reciclado deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El hormigón con árido reciclado se deberá fabricar en central amasadora.
- Se deberán establecer acopios separados e identificados para los áridos reciclados y los áridos naturales.
- La absorción de agua del árido grueso reciclado es elevada, por lo que para hormigones con más del 20% de árido reciclado es aconsejable utilizar los áridos en condiciones de saturación. Para mantener la humedad, se pueden instalar en las plantas de dosificación sistemas que humedezcan los áridos en las cintas transportadoras, o aspersores de agua en las tolvas de los áridos.
- El amasado del hormigón con áridos reciclados en estado seco puede requerir más tiempo que el de un hormigón convencional, lo que permite la humectación de los áridos con objeto de evitar que la absorción de agua por parte del árido reciclado afecte a la consistencia del hormigón. No obstante, el tiempo de amasado tampoco debe ser excesivamente prolongado para evitar la generación de finos debido a la friabilidad del mortero adherido del árido reciclado. Se recomienda ajustar el tiempo de amasado realizando ensayos característicos.

En referencia al transporte se deberá tener en cuenta:

- El volumen del hormigón reciclado transportado no excederá en ningún caso los dos tercios del volumen total del tambor del elemento de transporte.
- En hormigones con sustituciones superiores al 20% de árido reciclado, puede ser conveniente la realización de ensayos característicos para evaluar la variación de la consistencia durante el transporte, y compensar dicha variación con la incorporación de aditivo plastificante o superplastificante en obra, siguiendo las indicaciones del fabricante del hormigón.

Finalmente, y en cuanto a la puesta en obra del hormigón reciclado, en el caso de tratarse de hormigón bombeado, puede ocurrir que la presión de bombeo altere la homogeneidad del

hormigón, debido a su influencia sobre la absorción del agua por parte del árido reciclado. Se deberá, por tanto, ajustar la dosificación del hormigón realizando ensayos característicos y tomando muestras a la salida de la tubería.

# 10. Control de calidad

### Control del árido reciclado

Cuando el árido reciclado proceda de un único hormigón de origen, el control requerido será el mismo que establece el articulado para los áridos convencionales.

La mayor heterogeneidad que suelen presentar los áridos reciclados cuando proceden de varios tipos de hormigón de origen, hace necesario un mayor control de sus propiedades, especialmente aquellas que son más desfavorables en este tipo de áridos, como son su absorción, contenido de finos, contenido de desclasificados inferiores y contenido de impurezas.

En este caso, la frecuencia de los ensayos de control de producción, determinada a partir del tiempo o de la cantidad de árido reciclado, vendrá definida por el criterio más conservador de los recogidos en la tabla 5:

***Tabla 5:*** Frecuencia de los ensayos de control de producción

| PROPIEDAD | NORMA | FRECUENCIA | |
|---|---|---|---|
| Granulometría. Desclasificados inferiores | UNE-EN –933-1 | 1/semana | 2000 t. |
| Coeficiente de forma | UNE-EN –933-4 | 1/mes | 10000 t. |
| Contenido de finos | UNE-EN –933-2 | 1/semana | 2000 t. |
| Coeficiente de los Ángeles | UNE-EN –1097-2 | 1/mes | 2000 t. |
| Absorción | UNE-EN 1097-6 | 1/semana | 2000 t. |
| Estabilidad frente a soluciones de $MgSO_4$(*) | UNE-EN 1367-2 | 1/ 6 meses | 10000 t. |
| Partículas blandas | UNE 4134 | 1/ mes | 10000 t. |
| Terrones de arcilla | UNE 7133 | 1/semana | 2000 t. |
| Partículas ligeras | UNE 7244 | 1/ mes | 10000 t. |
| Compuestos de azufre ($SO_3$) | UNE-EN 1744-1 | 1/ 3 mes | 10000 t. |
| Sulfatos solubles en ácido | UNE-EN 1744-1 | 1/ 3 mes | 10000 t. |
| Cloruros totales | UNE-EN 1744-1 | 1/ 3 mes | 10000 t. |
| Impurezas | prEN 933-11 | 1/semana | 2000 t. |

(*) Sólo de aplicación en ambiente de helada o sales fundentes

### Control de la consistencia del hormigón

La incorporación de áridos reciclados en el hormigón puede producir variaciones en la consistencia, incluso cuando se mantiene la misma relación agua/cemento de las diferentes amasadas, debido a la diferente calidad de los áridos reciclados. Este efecto es más pronunciado en mezclas con más del 20% de sustitución por lo que, en tales casos, se recomienda presaturar el árido reciclado o bien ajustar la consistencia en obra mediante la incorporación de aditivos plastificantes o superplastificantes siguiendo las indicaciones del fabricante del hormigón.

### Ensayos previos del hormigón

Los ensayos previos resultan muy recomendables, ya que permitirán analizar la viabilidad y conveniencia de presaturar el árido previamente a su utilización. Asimismo, en la realización de estos ensayos se ajustará el proceso y el grado de saturación a alcanzar para reducir la variación de la consistencia entre amasadas.

En el caso del hormigón reciclado, la resistencia que debe alcanzarse con estos ensayos, para asegurar que la resistencia característica de obra será satisfactoria, puede ser algo superior a la esperada con un hormigón convencional, teniendo en cuenta el aumento en la dispersión de resultados derivada de la falta de uniformidad del árido reciclado empleado. Por tanto, se recomienda que en la realización de los ensayos se utilicen áridos reciclados de diferentes calidades dentro de los límites admisibles.

En elementos especialmente sensibles a la deformación, o cuando se utilicen porcentajes de árido reciclado por encima del 20%, resulta conveniente incluir en el conjunto de los ensayos aquellos que determinen propiedades tales como el módulo de elasticidad, la retracción o la fluencia del hormigón.

### Ensayos característicos del hormigón

Se deben llevar a cabo los ensayos característicos para comprobar las posibles variaciones en los resultados de consistencia y resistencia del hormigón, debidas a la utilización de diferentes partidas de áridos reciclados procedentes de la planta suministradora.

Asimismo, estos ensayos permitirán ajustar el tiempo de amasado, comprobar el efecto del tiempo de transporte sobre la consistencia y evaluar la necesidad de corregir ésta en obra añadiendo aditivos plastificantes o superplastificantes, siguiendo las indicaciones del fabricante.

### Ensayos de control del hormigón

Para hormigones reciclados con más del 20% de árido grueso reciclado no es recomendable utilizar el control a nivel reducido mediante la medida únicamente de la consistencia.

La clasificación de la planta según el coeficiente de variación de su producción, deberá realizarse utilizando únicamente resultados de amasadas de hormigón reciclado.

En elementos de especial responsabilidad, o para el caso de hormigones con más del 20% de árido reciclado, se recomienda aumentar el control, reduciendo los lotes que establece la Instrucción y adoptando los recogidos en la tabla 6:

***Tabla 6:*** Frecuencia de los ensayos de control de producción

| Límite superior | Tipo de elementos estructurales | | |
|---|---|---|---|
| | Elementos comprimidos | Elementos en flexión simple | Macizos |
| Volumen de hormigón | 50 $m^3$ | 50 $m^3$ | 100 $m^3$ |
| Número de amasadas | 25 | 25 | 50 |
| Tiempo de hormigonado | 2 semanas | 2 semanas | 1 semana |
| Superficie construida | 500 $m^2$ | 500 $m^2$ | - |
| Número de plantas | 1 | 1 | - |

En estos casos, el control se realizará determinando la resistencia de N ≥ 6 amasadas por lote.

# Referencias bibliográficas


[1] EHE: Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento. 2000.

[2] *BS 8500-2:2002:* "Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete".

[3] *RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures):* "Specifications for Concrete with Recycled Aggregates". Materials and Structures, Nº27. p.p. 557-559, 1994.

[4] JAPÓN *KASAI; Y:* "Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition. pp. 93-104, 1994.

[5] *VINCKE, J.; ROUSSEAU, E.:* "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition, 1994. pp. 57-69.

[6] *DIN 4226-1:2000: "Concrete Aggregate".*

[7] *SAGOE-CRENTSIL, K.; BROWN, T.:* "Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production". CSIRO, Building, Construction And Engineering. Ecorecycle, Victoria. September 1998.

[8] *HONG KONG:* "Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates". Works Bureau Technical Circular 12/2002.

[9] *SANCHEZ DE JUAN, M.:* "Estudio sobre la Utilización de Árido Reciclado para la Fabricación de Hormigón Estructural". Tesis doctoral. E.T.S:I. Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

[10] *GONZÁLEZ, B.:* "Hormigones con Áridos Reciclados Procedentes de Demoliciones: Dosificaciones, Propiedades Mecánicas y Comportamiento Estructural a Cortante". Tesis doctoral. E.T.S:I. Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica A Coruña, 2002.

[11] *YAGISHITA, F., SANO, M., YAMADA, M.:* "Behaviour of Reinforced Concrete Beams Containing Recycled Coarse Aggregate". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium. Edited by Erik K. Lauritzen p. 331-342. 1993.

[12] *BARRA; M.:* "Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su Aplicación como Hormigón Estructural". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 1996.

| Propiedades | Normativa española | | | Normativa internacional sobre áridos reciclados | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Árido natural | Árido reciclado | Especificación española EHE[1] (*) | BS 206-1[2] | Rilem[3] | | Japón[4] | Bélgica[5] | Alemania[6] | Australia[7] | Hong Kong[8] |
| | | | | | Tipo II | Tipo III | | | | | |
| Absorción (%) | 4,5% | 7% | 5% | - | ≤ 10 | ≤ 3 | ≤ 7 | < 9 | ≤ 10 | < 6 | <10 |
| Densidad (kg/m$^3$) | > 2000 | | | - | ≥ 2000 | ≥ 2400 | ≥ 2200 | > 2100 | ≥ 2200 | > 2100 | > 2000 |
| Coeficiente de Los Ángeles (%) | < 40 | | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Contenido de material de densidad <2200 kg/m$^3$ (%) | - | - | - | - | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10(**) | ≤ 10(***) | - | - | - |
| Contenido de materia de densidad <1800 kg/m$^3$ (%) | - | - | - | - | ≤ 1 | ≤ 1 | - | ≤ 1 | - | - | - |
| Contenido de materia de densidad <1000 kg/m$^3$ (%) | < 1 | | - | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | - | ≤ 0,5 | - | - | ≤ 0,5 |
| Contenido de materiales extraños (metales, vidrios, materiales blandos, betún) (%) | - | < 1 | - | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | - | ≤ 1 | - | < 2 (incluido ladrillo) | ≤ 1 |
| Índice de lajas (%) | 35% | | | - | - | - | - | - | - | - | ≤ 40 |
| Contenido de metales (%) | - | - | - | - | ≤ 1 | ≤ 1 | - | - | - | - | - |
| Contenido de materia orgánica (%) | - | - | exento | - | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | - | < 0,5 | - | - | - |
| Contenido de finos (<0,063mm) | < 2 (árido calizo) | | | ≤ 5 | ≤ 2 | ≤ 2 | - | < 3 | < 4 | < 1% | ≤ 4 |
| Contenido de terrones de arcilla | <0,15 | < 0,60 | < 0,25 | | | | | | | | |
| Partículas blandas (%) | < 5 | | | | | | | | | | |
| Pérdida por lavado (%) | - | - | - | - | - | - | ≤ 1 | - | - | - | - |
| Resistencia a la helada (%) | < 18 | < 18 | < 18 | - | - | - | ≤ 12 | - | - | - | - |
| Contenido de arena (<4mm) (%) | < 10 | < 5 | < 10 | - | ≤ 5 | ≤ 5 | - | - | - | - | ≤ 5 |
| Contenido de sulfatos ($SO_3$) (%) | < 0,8 | | | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | - | < 1 | - | - | ≤ 1 |
| Contenido de cloruros (%) | < 0,05 | | | - | - | - | - | < 0,06 | < 0,04 | - | - |

(*) La mezcla de árido natural y reciclado debe cumplir estas especificaciones
(**) Porcentaje de material de densidad inferior a 1950 kg/m$^3$
(***) Porcentaje de material de densidad inferior a 2100 kg/m$^3$

*Tabla 1:* **Especificaciones internacionales para los distintos tipos de áridos reciclados**

# HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

David Revuelta Crespo
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1. Introducción

El uso de fibras en materiales de matriz frágil es una técnica que se remonta en el tiempo. Diversos hallazgos arqueológicos, algunos de más de 3500 años de antigüedad, muestran cómo diversas culturas empleaban ladrillos de adobe reforzados con paja para conseguir construcciones ciertamente imponentes. Como ejemplo, el zigurat de Aqar Quf se eleva a más de 57 metros de altura gracias al empleo de esta técnica.

**Figura 1.1. Zigurat en Aqar Quf, a escasos 30 Km. de Bagdad.**

En tiempos ya más recientes, las fibras de amianto como refuerzo de productos de cemento han venido empleándose desde hace unos cien años, hasta que consideraciones sanitarias las han descartado. Las fibras de celulosa se han venido empleando durante más de 50 años, y el acero, el polipropileno y las fibras de vidrio irrumpieron

en la tecnología del hormigón hace al menos 30 años. Los principales objetivos que se persiguen con la incorporación de fibras al hormigón son los siguientes:

Mejorar las propiedades del hormigón durante las primeras horas tras su puesta en obra, mediante la disminución del riesgo de fisuración en estado plástico.

Mejorar la resistencia a la flexión o a la tracción del hormigón.

Mejorar la resistencia al impacto.

Controlar la fisuración y los modos de fallo del hormigón aportando ductilidad al hormigón.

En la tecnología actual, es un hecho aceptado que la incorporación de fibras al hormigón en los volúmenes habituales de empleo no varía significativamente la carga límite a la que se produce la fisuración en el hormigón endurecido. Por tanto, en el hormigón endurecido el efecto de la inclusión de fibras se refiere al comportamiento del elemento tras haberse producido la fisuración. En este sentido, conviene comprender plenamente el significado de la palabra “refuerzo”. Si se asume que cualquier material capaz de soportar una carga mayor que cero constituye un refuerzo, entonces cualquier tipo de fibra añadida a cualquier proporción reforzaría el hormigón endurecido. Sin embargo, si definimos un “refuerzo” como aquel material añadido en proporción suficiente como para soportar una fuerza por encima de la carga requerida para fisurar el hormigón, entonces nos encontramos con que la adición de fibras cortas aleatoriamente distribuidas en proporciones menores que el 0,4% en volumen raramente proporcionará una capacidad extra más allá de la carga de rotura del hormigón en elementos sometidos a flexión tales como vigas o losas; si lo que se busca es incrementar la resistencia a la tracción uniaxial, entonces se requerirá al menos dos o tres veces más fibra.

## 2. Propiedades de fibras y matrices

La aproximación al estudio del hormigón reforzado con fibras puede hacerse desde la óptica de la ciencia de materiales compuestos. Las prestaciones de un material compuesto están controladas por el volumen de fibra, las propiedades físicas de la fibra y la matriz, y la adherencia entre ambas.

Los valores de adherencia entre la fibra de acero recta de sección circular y el hormigón rara vez exceden los 4 MPa, pero ciertos fenómenos de deformación de la fibra pueden contrarrestar el deslizamiento fibra-matriz, resultando en un modo de fallo dominado por la rotura de la fibra. En el rango de modos de rotura existente entre deslizamiento de la fibra y la rotura de la misma concurren una gran variedad de fenómenos de deformación de la fibra y de mecanismos de deslizamiento que dependen de la forma de la fibra y de la resistencia del hormigón, por lo que no es posible el proporcionar un valor general que pudiera emplearse como “adherencia” a la hora de diseñar el hormigón reforzado. En el caso de fibras poliméricas, la tensión de adherencia es generalmente inferior a los 2 MPa, y debido al pequeño diámetro de las fibras rara vez se producen deformaciones mecánicas importantes. Otro factor a tener en cuenta es que las tensiones de adherencia cambian también con el tiempo y con las condiciones de conservación, que pueden provocar una densificación de la zona de interfase por los fenómenos de hidratación continua.

La Tabla 2.1 muestra los rangos típicos de algunas propiedades físicas de fibras y matrices. Es fácil comprobar cómo la deformación de rotura de todas las fibras es dos o tres órdenes de magnitud mayor que la de la matriz, y por tanto la matriz se fisurará por lo general mucho antes de que las fibras alcancen su tensión de rotura. Este hecho constituye la razón por la que el tratamiento teórico del hormigón reforzado con fibras hace énfasis en el comportamiento post-fisuración.

En cuanto al módulo elástico, los bajos contenidos de fibra hacen que el módulo del material compuesto hormigón-fibra no sea apenas diferente del de la matriz por sí sola.

Por tanto, el principal beneficio que puede obtenerse de la inclusión de fibras en hormigón endurecido se consigue una vez fisurado el hormigón, momento en el que las fibras actúan como puentes entre las fisuras contribuyendo a incrementar la resistencia, la deformación de rotura y la tenacidad del material compuesto.

**Tabla 2.1. Propiedades habituales de matrices con base cemento y de fibras.**

| Material | Densidad relativa | Diámetro o espesor (μm) | Longitud (mm) | Módulo elástico (GPa) | Tensión de rotura (MPa) | Deformación de rotura (%) | Volumen en el material compuesto (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Matriz de mortero | 1,8 – 2,0 | 300 – 5000 | - | 10 – 30 | 1 – 10 | 0,01 – 0,05 | 85 – 97 |
| Matriz de hormigón | 1,8 – 2,4 | 10000 – 20000 | - | 20 – 40 | 1 – 4 | 0,01 – 0,02 | 97 – 99,9 |
| Amianto | 2,55 | 0,02 – 30 | 5 – 40 | 164 | 200 – 1800 | 2 – 3 | 5 – 15 |
| Carbono | 1,16 – 1,95 | 7 – 18 | 3 – continua | 30 – 390 | 600 – 2700 | 0,5 – 2,4 | 3 – 5 |
| Celulosa | 1,5 | 20 – 120 | 0,5 – 5,0 | 10 – 50 | 300 – 1000 | 20 | 5 – 15 |
| Vidrio | 2,7 | 12,5 | 10 – 50 | 70 | 600 – 2500 | 3,6 | 3 – 7 |
| Polipropileno | 0,91 | 20 – 100 | 5 – 20 | 4 | - | - | 0,1 – 0,2 |
| Acero | 7,86 | 100 – 600 | 10 – 60 | 200 | 700 – 2000 | 3 – 5 | 0,3 – 2,0 |

# 3. Teoría de comportamiento post-fisuración. Modelo de material compuesto

## 3.1 Comportamiento ante tensión uniaxial

### 3.1.1 Forma característica de las curvas tensión-deformación

Aunque la aplicación óptima de los hormigones reforzados con fibras es en elementos que soportan cargas de flexión o de impacto, el análisis teórico de los mecanismos de refuerzo en estos sistemas es por lo general complejo. Un sistema de tensión uniaxial directa más fundamental es más fácilmente comprensible, y el conocimiento del comportamiento de las fibras en ese sistema constituye una buena base por la que un ingeniero puede juzgar los beneficios potenciales de un material compuesto fibra-hormigón para una aplicación determinada.

Existen dos tipos básicos de comportamiento tensión uniaxial-deformación del hormigón reforzado con fibras, que se muestran en la Figura 3.1. El segmento OX define el módulo elástico del material compuesto antes de la fisuración ($E_c$), fisuración que tiene lugar al alcanzar la tensión máxima de fisuración, $\sigma_c$. La curva A define el comportamiento de un material con un volumen de fibra muy bajo, o con una adherencia tan buena entre las fibras y la matriz que la mayor parte de ellas se rompen en el momento en que se fisura el hormigón. La curva B es el caso habitual de comportamiento de hormigones con alto contenido en fibra, que se deslizan antes de romperse. El área por debajo de las curvas define la tenacidad del hormigón reforzado, y por lo general es mucho mayor que el área contenida por OX.

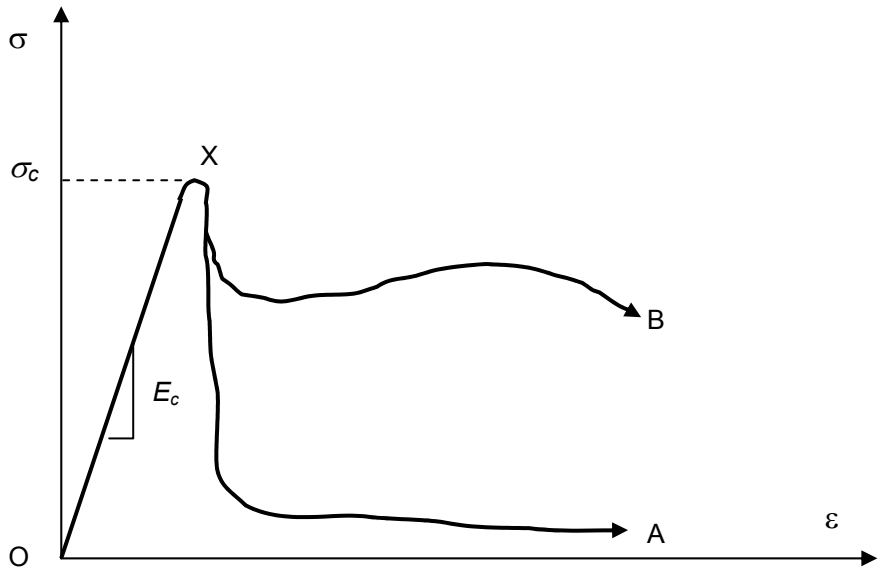



**Figura 3.1. Curvas típicas tensión-deformación para un hormigón reforzado con fibra corta aleatoriamente distribuida.**

### 3.1.2 Volumen crítico de fibras en tensión uniaxial

El volumen crítico de fibras ($V_{fcrit}$) es el contenido en fibras para el que, tras producirse la fisuración de la matriz, las fibras soportan la carga que soportaba el material compuesto antes de la fisuración. Esta definición ha de tomarse con cierta precaución, ya que un hormigón con un contenido de fibras menor que el volumen crítico de la fibra en tensión (curva OXB) puede resultar reforzado ante cargas de flexión. Sin embargo, se asume que la definición anterior de volumen crítico se refiere únicamente al caso de tensiones uniaxiales.

Para el caso más simple, en el que todas las fibras están alineadas paralelamente a la dirección de aplicación de la tensión, tendríamos que tras la fisuración, las fibras recibirían el total de la tensión. Si se supone que existe la cantidad justa de fibras como para soportar estas tensiones, es decir, el volumen de fibra es el volumen crítico, entonces tenemos que:

$$\sigma_c = \sigma_f V_{fcrit} \qquad \text{Ec. 1}$$

$$V_{fcrit} = \sigma_c / \sigma_f \qquad \text{Ec. 2}$$

En donde

$\sigma_c$ = tensión de fisuración del material compuesto

$V_{fcrit}$ = volumen crítico de fibras

$\sigma_f$ = resistencia a tracción de la fibra o tensión media de arrancamiento de la fibra dependiendo de si las fibras se rompen o deslizan tras producirse la fisura.

Por ejemplo, si $\sigma_c$ = 3 MPa y $\sigma_f$ = 300 MPa, entonces $V_{fcrit}$ = 0,01 o 1%.

Conviene destacar dos aspectos de la Ec. 2:

El volumen crítico puede reducirse disminuyendo $\sigma_c$

Una mala adherencia puede hacer disminuir $\sigma_f$ al producirse el arrancamiento a una fracción de la tensión de rotura de la fibra.

### 3.1.3 Modelo considerando deslizamiento de las fibras

La estimación realista del volumen crítico de fibras, $V_{fcrit}$, y de la resistencia del hormigón reforzado tras la fisuración inicial ha de tener en cuenta dos factores: 1) el número de fibras que "cosen" la fisura, y 2) la adherencia fibra-hormigón y la carga de deslizamiento o de fractura de la fibra.

Número de fibras a través de la fisura

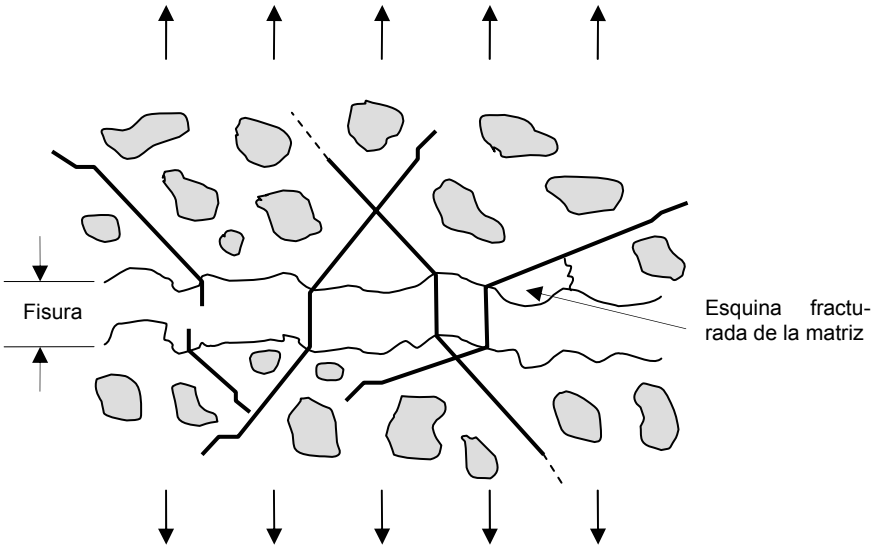



**Figura 3.2. Material compuesto fisurado hormigón-fibra corta, que contiene *N* fibras por unidad de área, y que muestra cambios en la orientación de la fibra en la fisura.**

La situación tras producirse la fisuración de un material compuesto hormigón-fibra se representa en la Figura 3.2. Parte de las fibras pueden haberse fracturado, mientras que otras habrán deslizado dependiendo de la longitud de anclaje y de la forma de la fibra. Datos empíricos muestran que la longitud promedio de deslizamiento es ¼ de la longitud de la fibra si en el modo de fallo del material compuesto predomina el arrancamiento de las fibras. En los estados iniciales en los que la abertura de fisura es pequeña, puede obtenerse una estimación realista de la carga soportada por el material tras la fisuración multiplicando el número de fibras a través de la fisura por unidad de área por la fuerza promedio soportada por la fibra.

El número de fibras, *N*, por unidad de área puede calcularse del siguiente modo:

Fibras alineadas en una dirección:

$$N = \frac{V_f}{A_f} \qquad \text{Ec. 3}$$

Fibras aleatoriamente distribuidas en dos dimensiones:

$$N = \frac{2}{\pi}\frac{V_f}{A_f} \qquad \text{Ec. 4}$$

Fibras aleatoriamente distribuidas en tres dimensiones:

$$N = \frac{1}{2}\frac{V_f}{A_f} \qquad \text{Ec. 5}$$

En donde

$V_f$ = volumen total de fibra por unidad de volumen del material

$A_f$ = área de una fibra

Resistencia del material tras la fisuración

La fuerza media de arrancamiento (rotura) por fibra (*F*) viene dada por:

$$F = \sigma_f A_f \qquad \text{Ec. 6}$$

En donde $\sigma_f$ es la tensión de arrancamiento (rotura). La tensión última capaz de soportar el material compuesto ($\sigma_{cu}$) tras la fisuración es por tanto *N* veces *F*, es decir:

$$\sigma_{cu} = N \cdot \sigma_f A_f \qquad \text{Ec. 7}$$

Sustituyendo *N* de las Ec. 3 a Ec. 5 en la Ec. 7 se obtiene:

Fibras alineadas en una dirección:

$$\sigma_{cu} = \sigma_f V_f \qquad \text{Ec. 8}$$

Fibras aleatoriamente distribuidas en dos dimensiones:

$$\sigma_{cu} = 2\sigma_f V_f / \pi \qquad \text{Ec. 9}$$

Fibras aleatoriamente distribuidas en tres dimensiones:

$$\sigma_{cu} = \sigma_f V_f / 2 \qquad \text{Ec. 10}$$

Por tanto, el hormigón reforzado con fibras aleatoriamente distribuidas en la masa de hormigón tiene aproximadamente la mitad de resistencia tras la fisuración que el material compuesto con fibras alineadas.

El volumen crítico de fibra se obtiene directamente de la Ec. 10:

$$V_{fcrit} = 2\sigma_c / \sigma_f \qquad \text{Ec. 11}$$

El valor promedio de la resistencia de la fibra, $\sigma_f$, para el valor máximo de tensión post-fisuración varía en función de la resistencia de la matriz de hormigón, de las dimensiones de la fibra y de los mecanismos de anclaje, y sólo puede determinarse experimentalmente. Si la forma de anclaje de las fibras es tal que la adherencia es tan grande como para producir la rotura de las mismas, entonces $\sigma_f$ es igual a la resistencia a tracción de la fibra, pero aun así algunas de las fibras sufrirán arrancamiento debido a que la longitud de anclaje es insuficiente o a que el hormigón se fractura localmente. Bajo todas estas circunstancias, la resistencia media $\sigma_f$ de las fibras de acero puede considerarse en el rango entre los 300 y los 500 MPa, mientras que para fibras de polipropileno está entre los 200 y los 300 MPa.

## 3.2 Principios del refuerzo con fibras de estructuras sometidas a flexión

### 3.2.1 Necesidad de modelos teóricos

En la mayoría de las estructuras, los materiales compuestos hormigón-fibra van a estar sometidos a esfuerzos de flexión más que a tensiones directas de tracción, y por tanto el comprender los mecanismos de refuerzo a flexión es tan importante como el análisis de la tensión uniaxial.

La necesidad de un tratamiento teórico especial para la flexión deriva de las grandes diferencias observadas experimentalmente entre la resistencia post-fisuración del

hormigón a flexión y la resistencia post-fisuración bajo cargas uniaxiales de tracción, tanto en fibro-cemento con refuerzo de fibra de vidrio como en el hormigón reforzado con fibras de acero. En ambos materiales la resistencia a la flexotracción puede ser mucho mayor que la resistencia a la tracción aunque, según la teoría elástica, deberían tener el mismo valor nominal. En el hormigón sin refuerzo se observa el mismo fenómeno, aunque a una escala más reducida.

La principal razón de esta discrepancia es que, en el hormigón reforzado con fibra, las curvas tensión-deformación XA y XB de la Figura 3.1 de la zona de tracción en una viga son muy diferentes de las ramas de compresión y, por lo tanto, la teoría clásica de vigas resulta inadecuada. El mecanismo de refuerzo que experimenta una viga sometida a flexión de hormigón reforzado con fibras depende principalmente del comportamiento cuasi-plástico del material compuesto, como resultado de los fenómenos de deslizamiento o de extensión elástica que sufren las fibras tras producirse la primera fisuración.

Las Figuras 3.3(a) y 3.3(b) muestran una viga de hormigón reforzado con fibra ya fisurada. La deformación es lineal a lo largo del canto, y la línea neutra se desplaza hacia la zona comprimida. En la fisura, las fibras “cosen” la grieta, proporcionando puntos singulares de transmisión de la carga que mantienen la sección unida (Figura 3.3(c)). El valor exacto de la tensión soportada por cada fibra es casi imposible de conocer por la multitud de factores que intervienen, por lo que se asume un comportamiento equivalente del material como un todo (material compuesto), estimando una distribución equivalente de la tensión como la que se muestra en la Figura 3.3(d). La forma de esta distribución depende de la anchura de la fisura, del volumen de fibra, de la adherencia, de la orientación, y de factores tales como la longitud eficiente de deslizamiento. Aun a pesar de la aproximación como material compuesto el sistema es un problema formidable, pero puede simplificarse mediante una aproximación sencilla como la que se expone a continuación, aproximación que da buenos resultados para la mayoría de los casos prácticos.

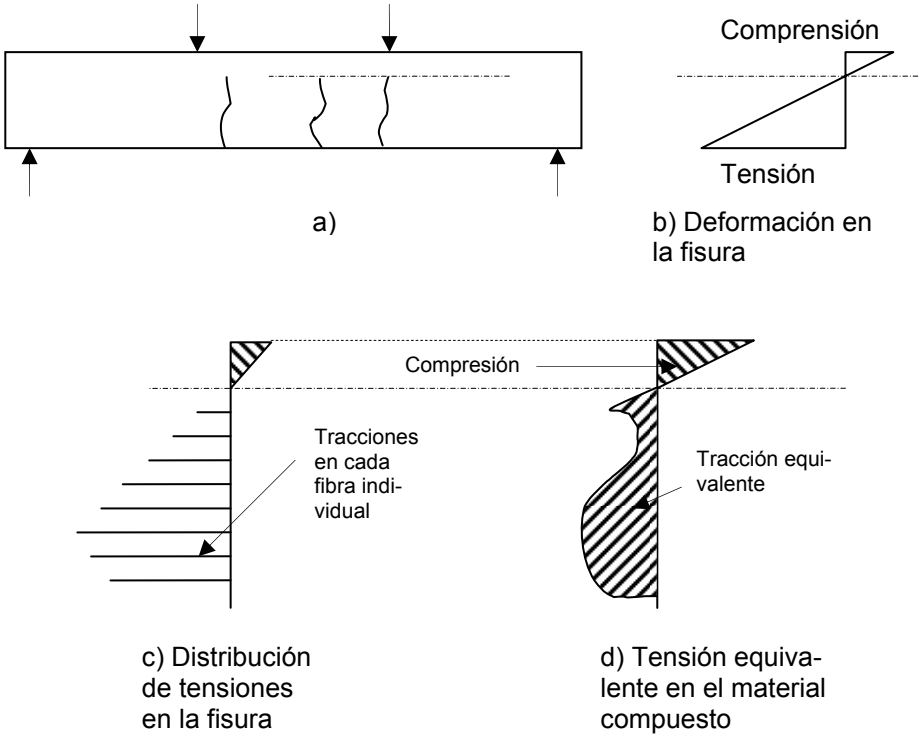



**Figura 3.3. Distribución de deformaciones y tensiones en una viga fisurada de hormigón con fibra. (Nota: las escalas de (c) y (d) son diferentes).**

### 3.2.2 Análisis empleando una distribución de tensiones uniforme en la capa de tracción

Tal como se ha comentado en el apartado anterior, es muy difícil calcular la forma exacta de la distribución de tensiones en la capa de tracción de una viga. Si asumiéramos un comportamiento perfectamente elástico Figura 3.4(a), podría obtenerse un valor de la resistencia a flexión ($\sigma_{fl}$), aunque este valor se aleja bastante del comportamiento real de un material compuesto cuasi-dúctil.

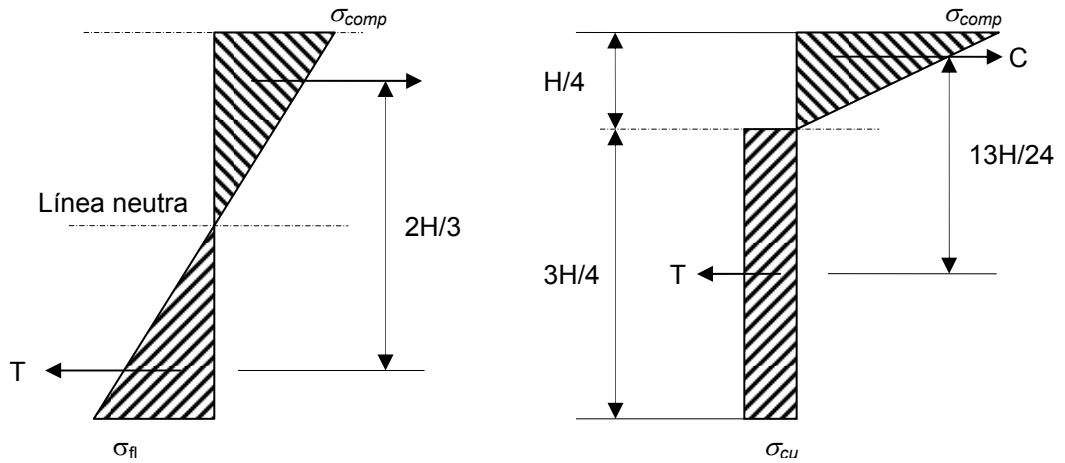



**Figura 3.4. Diagrama de tensiones en la flexión. (a) Comportamiento elástico a tracción y compresión. (b) Comportamiento elástico a compresión, plástico a tracción.**

La Figura 3.4(b) es una simplificación de la distribución de tensiones del caso de la Figura 3.3(d), asumiendo que las fibras se estiran o deslizan para una fuerza aproximadamente constante a través de una grieta estrecha (~ 0,5 mm). La resistencia a tracción del material compuesto tras la fisuración es $\sigma_{cu}$, y $\sigma_{comp}$ es la tensión a compresión en la cara superior de la viga. La distancia de la línea neutra a la cara superior de la viga se estima conservadoramente como H/4, y empleando esta aproximación se pueden comparar los momentos resistentes de las dos distribuciones de tensiones:

$$M = \frac{1}{6}\sigma_{fl} H^2 \text{ para la Figura 3.4(a)} \qquad \text{Ec. 12}$$

$$M = \frac{13}{32}\sigma_{cu} H^2 \text{ para la Figura 3.4(b)} \qquad \text{Ec. 13}$$

Suponiendo que las dos vigas de la Figura 3.4 soportan la misma carga e igualando los momentos resistentes, se obtiene:

$$\frac{1}{6}\sigma_{fl} H^2 = \frac{13}{32}\sigma_{cu} D^2 \qquad \text{Ec. 14}$$

$$\sigma_{fl} = 2{,}44\ \sigma_{cu}$$

La Ec. 14 implica que un hormigón con menos de la mitad del volumen crítico de fibra, tal como se muestra en la Figura 3.5, no mostrará una disminución en la capacidad de soportar cargas de flexión inmediatamente después de producirse la aparición de las fisuras, lo que implicaría que el volumen crítico de fibra se habría alcanzado.

Este tipo de análisis simplificado explica por qué la resistencia a flexión tras la fisuración de un hormigón con refuerzo de fibras puede considerarse como el doble de la resistencia del hormigón a la tracción. Por esa misma razón, conviene evitar en la medida de lo posible el realizar ensayos de flexión sobre hormigones con fibra cuando lo que se pretende es determinar la resistencia a la tracción con fines de obtener un valor de diseño.

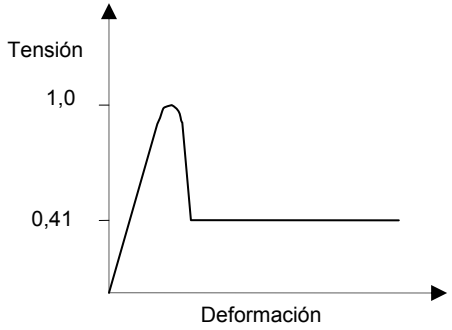



**Figura 3.5. Curva tensión-deformación para tracción uniaxial. Este comportamiento no produce disminución de la carga a flexión tras la fisuración.**

# 4. Hormigón reforzado con fibra de acero

El hormigón reforzado con volúmenes de fibra corta de acero por lo general menores al 1% se comporta a tracción siguiendo una curva tensión-deformación como la OXB de la Figura 3.1. La razón de este comportamiento es que es físicamente muy difícil el incluir en la mezcla la suficiente cantidad de fibra como para superar el volumen crítico de fibra que, tal como habíamos visto, para una distribución tridimensional aleatoria está dada por la Ec. 11.

En el caso de fibras cortas de acero, el volumen crítico excede por lo general el 1%. Aparte de por razones económicas, físicamente es muy difícil el incluir volúmenes de fibras que tengan una esbeltez mayor de 50, ya que en un hormigón el contenido en volumen de árido grueso, en torno al 70%, es tan alto que no permite la distribución de las fibras. Además, es difícil orientar las fibras al mezclarlas en una amasadora rotativa, lo que complica el empleo en el caso de que se pretenda reforzar una dirección determinada sometida a la tracción. Aun así, diversas aplicaciones han conseguido aprovechar las propiedades del material compuesto resultante.

Existen en el mercado una gran variedad de fibras de acero, de distinta forma y longitud dependiendo del proceso de fabricación (Figura 4.1). La sección de la fibra puede ser circular (varillas estiradas), rectangular (a partir de acero laminado) o incluso semi-circulares; las fibras pueden haber estado sometidas a procesos de mecanización, con objeto de dotarlas de formas que mejoren la adherencia al hormigón. El rango de longitudes de fibra más utilizado va desde los 10 a los 60 mm, con diámetros equivalentes entre los 0,5 y los 1,2 mm. Así mismo, existen en el mercado fibras de acero templado, de acero de alta resistencia, e incluso de acero inoxidable.

Es necesario destacar que la longitud media de arrancamiento de la fibra recta es de l/4, lo que, para una fibra de 60 mm, resulta en sólo 15 mm. Esta longitud es insuficiente para permitir un aprovechamiento eficiente de las altas resistencias a la tracción de los aceros estirados, a menos que se mejore la adherencia mediante el doblado de la fibra o el aplastamiento de los extremos.

**Figura 4.1. Diversos tipos de fibra de acero (B. Weiler, C. Grosse).**

## 4.1 Diseño de mezcla y fabricación

Las mezclas recomendadas para la fabricación de hormigón reforzado con fibras de acero emplean por lo general fibras con una relación de aspecto longitud/diámetro de 80 ó menos, con contenidos en fibra entre los 20 kg/m$^3$ y los 60 kg/m$^3$. Estos pesos equivalen a volúmenes de fibra entre el 0,25% y el 0,76%.

Es recomendable emplear en la mezcla un contenido de finos relativamente alto, por ejemplo una mezcla típica puede contener unos 800 kg/m$^3$ de arena y unos 300–350 kg/m$^3$ de cemento. En general, no es aconsejable el empleo de áridos con un tamaño máximo superior a 20 mm, siendo preferible el limitar la fracción de árido superior a 14 mm al 15-20%. Las relaciones agua-cemento de menos de 0,55 son las más recomendables, alcanzando la trabajabilidad necesaria mediante el empleo de plastificantes o superplastificantes, con asentamientos superiores a 100 mm.

Fibras más largas mejoran el refuerzo pero reducen la trabajabilidad, por lo que se debe alcanzar un compromiso que por lo general se encuentra para relaciones de aspecto l/d equivalentes entre 40 y 80, con longitudes de fibra entre 20 y 60 mm.

En cuanto a la secuencia de mezclado, las fibras se añaden por lo general en último lugar, poniendo cuidado en asegurar que se añaden uniformemente, y que pasan rápidamente a la mezcla desde el punto de entrada. También pueden añadirse sobre las cintas de transporte de materiales. En camiones amasadora, existen sistemas de aire a presión que introducen las fibras a gran velocidad en el fondo de la cuba. Las presentaciones de la fibra en “peines” pegados mediante una cola soluble en agua ayudan considerablemente a las operaciones de mezclado. Estas presentaciones pueden venir a su vez empaquetadas en sacos de celulosa también solubles en agua, que pueden añadirse directamente a las cubas de los camiones amasadora.

Dos procesos en los que se emplea con éxito el refuerzo con fibras metálicas son el revestimiento de túneles y la estabilización de rocas y suelos mediante hormigón proyectado. Las longitudes típicas de las fibras varían entre los 25 y los 40 mm. Al igual que en las aplicaciones con hormigón convencional, a mayor relación de aspecto de la fibra y mayor volumen de las mismas, se obtienen mejores prestaciones, pero aumenta la dificultad de mezclado y proyección. Las mezclas para proyección por lo general tienen un tamaño máximo de árido de 10 mm, con contenidos de cemento por encima de los 400 kg/m$^3$ y contenidos de fibra entre los 30 y los 80 kg/m$^3$.

Por último, destacar aplicaciones recientes de elementos prefabricados con contenidos en volumen superiores al 20%, en las que la fibra se coloca previamente en el molde antes del hormigonado, para posteriormente inyectar una pasta constituida por cemento y un árido muy fino. Esta aplicación permite obtener altas resistencias y tenacidades en regiones muy localizadas. Con este sistema se han obtenido resistencias a la flexión de hasta 60 MPa y de hasta 16 MPa a la tracción.

## 4.2 Propiedades

Para las proporciones empleadas habitualmente que son compatibles con las condiciones de trabajabilidad requerida para la correcta colocación del hormigón, la adición de fibras de acero no proporciona un incremento apreciable de las resistencias del hormigón tanto a tracción como a compresión uniaxiales. El principal beneficio a tracción uniaxial resulta del control de la abertura de fisuras debidas a la retracción o a la contracción térmica, en elementos tales como losas y revestimientos de túneles, siendo este parámetro difícilmente cuantificable, aunque está relacionado con las fuerzas de arrancamiento o de fractura tras la fisuración. Para los volúmenes habituales, es posible alcanzar resistencias a la tracción uniaxial de 0,5 – 1,5 MPa, para anchos de fisura de hasta 2 mm. Con volúmenes pequeños de refuerzo, la resistencia a la flexión tras la fisuración calculada con la teoría elástica es por lo general inferior que la resistencia a la fisuración de la matriz, pero sin embargo es mayor que la resistencia a la tracción tras la fisuración como resultado del incremento del área a tracción de la distribución de tensiones que se mostraba en las Figuras 3.3 y 3.4.

Las prestaciones tras la fisuración del hormigón con fibra bajo cargas de flexión constituyen una de las ventajas más importantes en los usos comerciales del hormigón reforzado, permitiendo la reducción de los espesores de secciones sometidas a flexión o a cargas puntuales.

La Figura 4.2 muestra una curva típica tensión-flecha de una viga de hormigón con un alto volumen de fibra, en la que se puede apreciar el comportamiento a flexión tras la fisuración que resulta de las características de ductilidad que presenta la parte de la viga sometida a la tracción, aunque el volumen de fibra sea menor que el volumen crítico de fibra a la tracción. Las resistencias al impacto y la tenacidad, definidas como energía absorbida hasta la rotura, se incrementan considerablemente. El incremento en la tenacidad se debe al aumento del área comprendida por la curva tensión-flecha. La bibliografía propone un amplio número de índices para medir la tenacidad, dependiendo de la flecha elegida para representar el límite en servicio de la viga.

Algunos autores también han dado argumentos para sostener que la incorporación de fibras mejora la resistencia a fatiga del hormigón, pero esta resistencia depende de un número muy elevado de factores tales como el tipo de fibra y el volumen, por lo que no puede asumirse como una mejora en general.

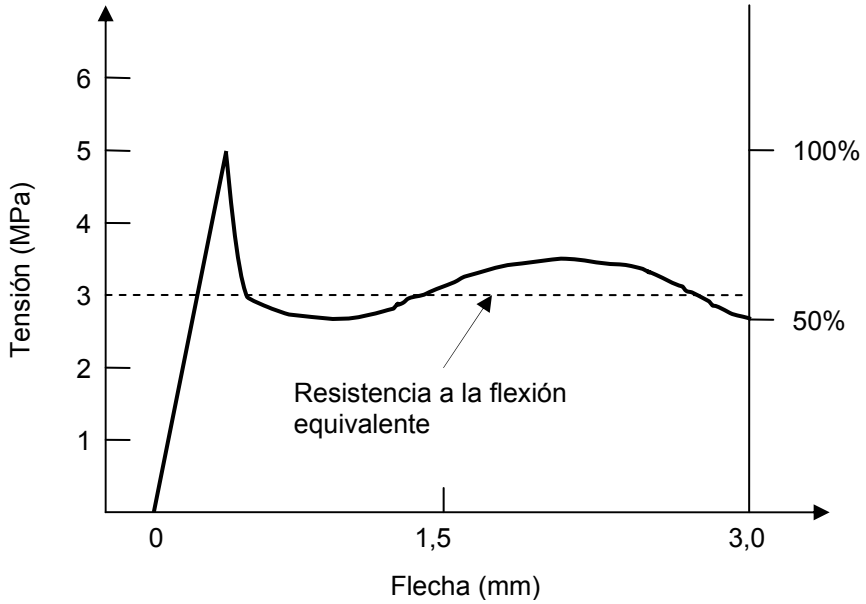



**Figura 4.2. Curva tensión-flecha característica de un hormigón reforzado con fibra de acero, empleada para determinar la resistencia equivalente a la flexión tras la fisuración.**

En cuanto a la durabilidad, antes de la fisuración las fibras de acero están por lo general bien protegidas por la matriz, en la que la alta alcalinidad proporciona una capa de protección pasiva

en la superficie de la fibra. Pero incluso para el caso en que las fibras se encuentran cerca de la superficie, en zonas rápidamente carbonatadas, la aparición de la corrosión tarda por lo general varios años en aparecer, y muy raras veces se producen desprendimientos de hormigón. El principal problema de durabilidad que se ha presentado en el uso de fibras ha consistido en la corrosión rápida de fibras de acero con alto contenido en carbono que han resultado expuestas a cloruros en secciones fisuradas. Bajo estas condiciones, se recomienda el empleo de fibras de acero inoxidable.

## 4.3 Aplicaciones

El principal uso de fibras de acero consiste en el empleo de las mismas para la sustitución de mallazos tradicionales de barras corrugadas de acero en losas de pavimentos industriales. Las proporciones empleadas más habitualmente varían entre 15 y 60 kg/m$^3$, en losas de espesores entre los 120 y los 200 mm. En el caso de losas de gran tamaño que requieren el hormigonado de grandes masas de hormigón (>1000 m$^2$/día), el empleo de fibras es particularmente beneficioso, especialmente si se emplean enrasadoras láser, ya que el proceso constructivo puede realizarse de manera continua evitando interrupciones debidas a las operaciones de colocación de juntas de hormigonado prefabricadas y de la malla de refuerzo. Las juntas de retracción son por lo general aún necesarias, y debe aserrarse aproximadamente ¼ del canto de la losa dentro de las primeras 24 horas tras el hormigonado, a distancias de entre 5 y 10 m.

Una vez se crea la fisura en la junta, las fibras restringen la apertura de la misma, con lo que se mantiene el engranamiento entre las caras de la fisura, contribuyendo a la transmisión de esfuerzos cortantes.

El esfuerzo de tracción soportado por una junta tras la fisuración puede calcularse a partir de la Ec. 10. Por ejemplo, para un contenido en fibras de 30 kg/m$^3$, (0,38% en volumen), de 60 mm de largo y 1 mm de diámetro, con una resistencia media de 400 N/mm$^2$, la tensión máxima que puede soportar el hormigón tras la fisuración, $\sigma_{cu}$, será:

$$\sigma_{cu} = \sigma_f V_f / 2 = 400 \cdot 0{,}0038 / 2 = 0{,}76 \text{ N/mm}^2$$

Esta resistencia aparente del material compuesto tras la fisuración es equivalente a una fuerza en torno a los 114 kN/m (11,4 T/m) en una losa de 200 mm de canto sobre la que se ha cortado una junta de 50 mm para inducir la fisuración.

En sistemas muy especiales con altos contenidos en fibra de 60 kg/m$^3$ o más se elimina incluso la necesidad de juntas aserradas, llegándose a pavimentar hasta 2000 m$^2$ de losa sin una sola junta, con lo que se evitan problemas posteriores de pandeo de las losas. Eso sí, las condiciones de curado en estos casos han de estar muy controladas, limitándose esta aplicación a pavimentos protegidos de la intemperie.

El uso de fibras se ha empleado también con éxito en losas apoyadas, aunque en estas aplicaciones es recomendable completar el empleo de fibras con sistemas tradicionales de refuerzo, especialmente en las áreas de concentración de tensiones como las cabezas de pilares.

El empleo de fibras de acero también contribuye ligeramente a la mejora de la resistencia a la abrasión. En cualquier caso, la resistencia a la abrasión depende principalmente de la resistencia del hormigón y del proceso de curado al que ha sido sometido, por lo que el uso de fibras no es condición suficiente para asegurar una adecuada resistencia al desgaste en pavimentos con requerimientos de este tipo.

Con objeto de reducir la cantidad de fibras que tras la colocación quedan directamente sobre la superficie, se recomienda el uso de algún tipo de producto de terminación en seco.

Otra aplicación importante de las fibras consiste en el empleo para la sustitución de armadura en recubrimientos de túneles o estabilización de suelos mediante gunitado. También se han empleado con éxito en dovelas prefabricadas.

Una de las aplicaciones más exitosas de fibras de acero inoxidable ha sido en hormigones refractarios, logrando materiales que resisten hasta 1500ºC. Estos productos están generalmente constituidos por cemento de aluminato de calcio, y el coste inicial de la materia prima no es un factor importante si se consigue aumentar la vida útil de los elementos digamos en un 100%.

# 5. Hormigón reforzado con fibra de polipropileno

En los últimos años, diversas aplicaciones han venido empleando la adición de pequeñas cantidades (0,1% en volumen) de fibras cortas (<25 mm) de polipropileno fibrilado (Figura 5.1) con objeto de alterar las propiedades del hormigón en el estado fresco, en concreto para reducir la aparición de fisuras por retracción plástica. El polipropileno tiene un efecto reducido sobre las propiedades del hormigón en el estado endurecido, por lo que nunca deben usarse como reemplazo de las barras de refuerzo.

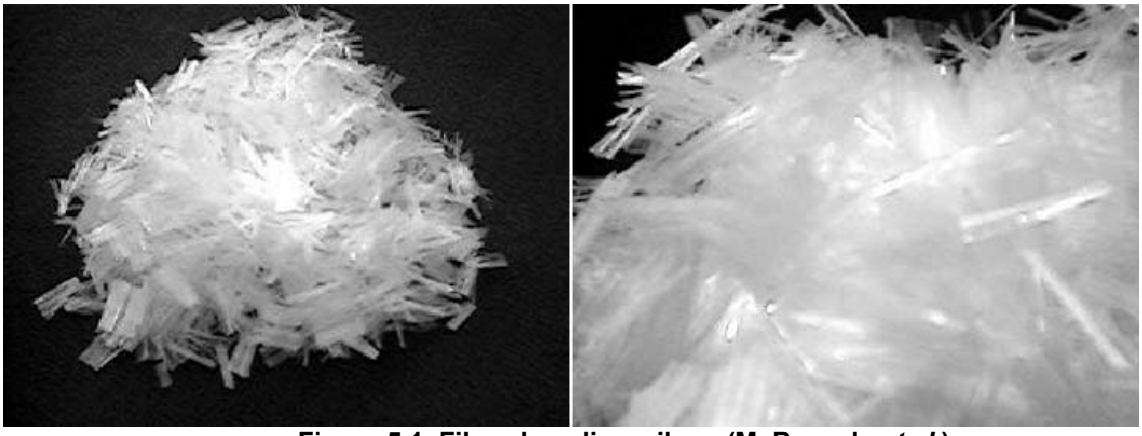


**Figura 5.1. Fibra de polipropileno (M. Barreda *et al.*).**

## 5.1 Diseño de mezcla y fabricación

En las mezclas más habituales (0,1% de fibra en volumen) el volumen de fibra es tan bajo que no se requiere ninguna modificación de los medios y secuencias de mezclado empleados habitualmente. Por lo general las fibras vienen envasadas en sacos de papel soluble en agua que pueden añadirse directamente a la cuba hormigonera. Durante el transporte y mezclado, las fibras se liberan y se dispersan en la masa de hormigón.

## 5.2 Propiedades en estado fresco

Un hormigón de mala calidad y con un deficiente proceso de curado incrementa el riesgo de que se produzca la sedimentación de las partículas de árido más pesadas, con la subsiguiente exudación del agua a la superficie superior del elemento hormigonado. En condiciones de exposición al sol o de fuerte viento, el agua se evapora velozmente, lo que genera una rápida retracción del hormigón que puede dar origen a fisuras de tamaño considerable que se manifiestan con el hormigón todavía en estado fresco, lo que se conocen como fisuras por retracción plástica. La adición de pequeñas cantidades de fibras de polipropileno incrementa la cohesión de la mezcla y previene la sedimentación de las partículas más gruesas, al formar una red entrelazada. Como resultado, en muchos de los casos se reduce el agua de exudación, lo que puede ayudar a limitar la aparición de fisuras por retracción plástica.

La fisuración en el estado plástico constituye un fenómeno tan complejo que los científicos especialistas en hormigón ni siquiera han encontrado una explicación plenamente satisfactoria para el hormigón convencional, no digamos para el efecto de la adición de fibras. Existen, sin embargo, distintas posibilidades.

Para que se produzca la aparición de fisuras plásticas, la tensión a la que está sometido el hormigón ha de superar la resistencia a la tracción del mismo, que es muy baja durante las primeras cuatro horas. Un hormigón típico puede tener una resistencia a la tracción de 0,02 $N/mm^2$ a las cuatro horas. Para que esa tensión de 0,02 MPa pueda ser soportada por un 0,1% de fibras añadidas, las fibras han de tener una resistencia que se puede calcular de la Ec. 10 como:

$$\sigma_f = 2\ \sigma_{cu} / V_f = 2 \cdot 0{,}02 / 0{,}001 = 40\ N/mm^2$$

La adherencia entre el polipropileno y el hormigón durante las primeras 4 horas es lo suficiente como para permitir que las fibras adquieran esa tensión, con lo que la anchura de las fisuras será limitada por las fibras. Así mismo, las fibras dotan al hormigón con algo de ductilidad y mayor capacidad de deformación en estas tempranas edades.

## 5.3 Propiedades del hormigón endurecido

Las fibras de polipropileno añadidas en una proporción del 0,1% en volumen al hormigón tienen muy poco efecto en la resistencia a la tracción o a la flexión del hormigón endurecido, lo cual puede demostrarse fácilmente de manera teórica. Por tanto, las fibras de polipropileno no pueden considerarse como un refuerzo activo. La estimación más optimista del volumen crítico de fibras a partir de la Ec. 11 es para el caso poco probable de que todas las fibras se rompan (en vez de deslizar) alcanzando la tensión máxima de 400 $N/mm^2$. Por tanto, para una resistencia a la tracción típica de 3 $N/mm^2$,

$$V_{fcrit} = 2\ \sigma_c / \sigma_f = 2 \cdot 3 / 400 = 1{,}5\%$$

Una aproximación más realista es $\sigma_f \sim 200\ N/mm^2$ y por lo tanto $V_{fcrit} \sim 3\%$.

La tensión tras la fisuración para un volumen de 0,1% dependerá de la adherencia fibra-hormigón. Asumiendo que la fibra puede soportar una tensión media de 200 $N/mm^2$ entonces:

$$\sigma_{cu} = \sigma_f\ V_f / 2 = 200 \cdot 0{,}001 / 2 = 0{,}1\ N/mm^2$$

ó, para el caso más optimista de que las fibras rompen a 400 $N/mm^2$ se alcanzaría un máximo de 0,2 $N/mm^2$, lo cual es sin duda un valor muy bajo.

Esta estimación se ve corroborada por evidencias experimentales, en las que la fuerza máxima de arrancamiento obtenida en fisuras pre-establecidas fue de 0,15 $N/mm^2$. En una losa de las mismas dimensiones que la descrita para el caso de fibra de acero resultaría en una fuerza de sólo 22,5 kN/m (2,25 T/m), mucho menor que en el caso de la fibra metálica.

## 5.4 Aplicaciones

La fibra de polipropileno se usa principalmente en la construcción de losas. Usos más específicos incluyen su empleo en proyección, productos prefabricados y situaciones en los que es importante la resistencia frente al fuego. Esta última ventaja se debe a que, para altas temperaturas, las fibras se funden, lo que produce canales dentro de la estructura por los que escapa el vapor producido por la evaporación del agua contenida en el hormigón que permiten aliviar las presiones, por lo que se reduce el descascarillamiento típico.

# EL DIQUE FLOTANTE DE MÓNACO. APLICACIÓN DEL HORMIGÓN A UNA OBRA INNOVADORA.

Luis Peset González
Departamento de Estructuras, Geotecnia y Obras Marítimas
Dirección Técnica de Dragados

## Introducción

La ampliación del Puerto de La Condamine, puerto principal del Principado de Mónaco, requiere la realización de un dique exterior de abrigo. La configuración geográfica, una ensenada entre dos macizos rocosos que se introducen en el mar con gran pendiente, no permite adoptar soluciones tradicionales de cajones apoyados en el fondo. Ha sido preciso diseñar una solución innovadora para el dique: un cajón semiflotante de dimensiones extraordinarias, unido mediante una rótula a otro cajón fondeado que forma el estribo. Con esta ampliación se aumentarán los atraques para embarcaciones de recreo y además se dispondrá de un largo muelle, con un calado suficiente para que cruceros de 30.000 t de desplazamiento y de más de 200 m de eslora puedan atracar dentro del puerto

**Figura 1. Vista aérea de la ampliación del Puerto de Mónaco**

El diseño permanentemente flotante facilitaba su construcción en un lugar adecuado situado en la costa, aunque fuera a mucha distancia, y remolcarlo después hasta Mónaco para su unión a tierra, pues en el principado no lo hay, al ser un lugar tan reducido y congestionado. Este sistema se utiliza normalmente en plataformas petrolíferas de hormigón, tanto flotantes como fondeadas. Dos de las mayores empresas constructores españolas: DRAGADOS y FCC Construcción, han construido en España e instalado en Mónaco este dique-muelle flotante, el mayor del mundo, estructura principal del dique de abrigo del nuevo Puerto de La Condamine.

La excepcionalidad de la obra por su función, magnitud y coste, unida a la gran dificultad de su reparación, requerían también una durabilidad extraordinaria, mucho más larga de lo común. La vida útil prevista para toda la obra es de 100 años, cifra inusual que ha condicionado en gran medida los criterios de diseño, de materiales empleados y de sistemas de construcción, lo que se ha reflejado en exigentes especificaciones para los suministros de estos materiales y de los procesos empleados para su realización.

## Breve descripción del dique

El dique es un cajón de doble pared de hormigón armado y pretensado, con un desplazamiento total en servicio de 166.000 t, una eslora de 352 m, una manga de 28 m, 44 m en la losa inferior, y un puntal de 19 m hasta la losa superior y de 24,5 m incluyendo las superestructuras. Además de dar abrigo al puerto y servir de muelle de atraque por ambos lados, el interior del dique servirá de aparcamiento para casi 400 vehículos en cuatro niveles, en la mitad próxima al estribo, y de almacén de mercancías y pequeñas embarcaciones en dos niveles, en la otra mitad, tendrá un faro en su extremo y sobre él irá la futura estación marítima, distintos paseos peatonales y calzadas para la circulación rodada. Un muro exterior con forma almenada protegerá a personas y vehículos del oleaje.

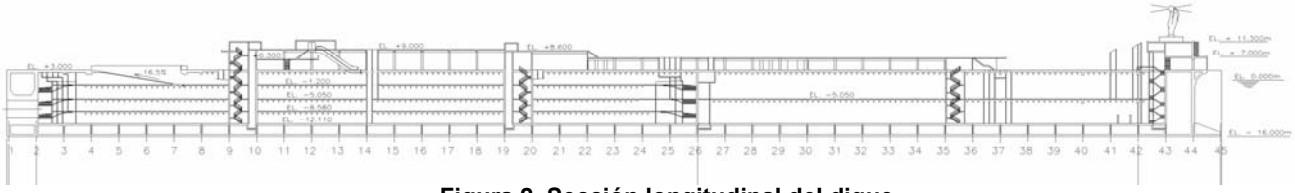


**Figura 2. Sección longitudinal del dique**

Para limitar los movimientos causados por las mareas y el oleaje y evitar una conexión a tierra firme muy flexible, pero complicada, que permitiera estos movimientos, el dique se diseñó como semiflotante, uniéndolo al cajón del estribo mediante una rótula de articulación, de forma que la flotación no sea libre. Así se puede amortiguar la energía del oleaje sin que se produzcan movimientos importantes en el dique. En el extremo opuesto a tierra se fija mediante 8 cadenas sujetas a pilotes metálicos de diámetro entre 1 y 2 m, hincados a profundidades entre 50 y 80 m.

La rótula esférica tiene un diámetro de 2,60 m y está colocada en el extremo de una pieza de forma troncocónica unida al dique flotante mediante barras de pretensado. La pieza de asiento se apoya en una brida y las barras de pretensado se anclan en una contrabrida. Brida y contrabrida, ambas de 7,00 m de diámetro, están unidas por un tubo de 3,00 m de diámetro, con dos esclusas para acceso al interior de la rótula. El espesor de esta zona de hormigón es de 9,00 m

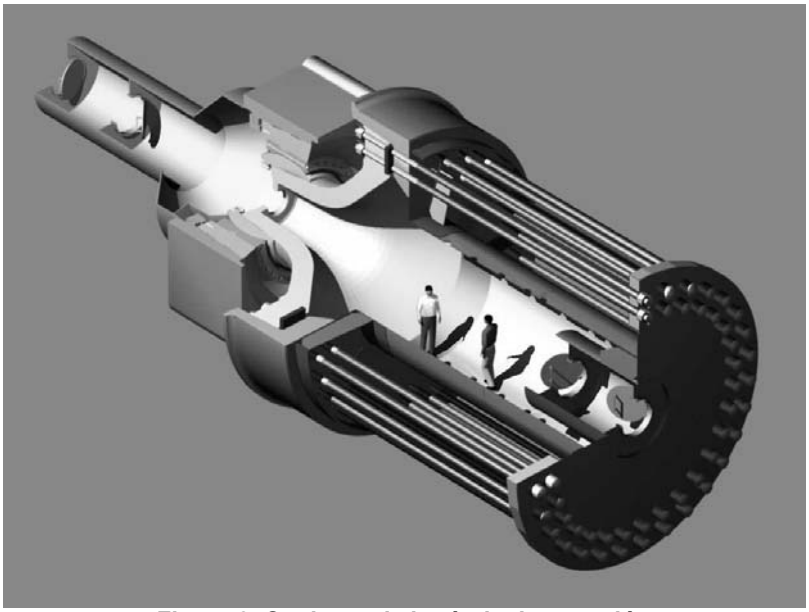


**Figura 3. Conjunto de la rótula de conexión**

Para compensar la disposición irregular de los pesos propios y cargas permanentes y parte de las sobrecargas de explotación (aparcamiento, estación marítima y almacenamiento), el dique tiene un sistema de lastrado que permite hacer correcciones de nivelación en la puesta inicial del dique e incluso en el futuro. Una doble pared exterior y una cámara inferior permiten disponer un lastre sólido fijo para equilibrio general teórico del dique y un lastre líquido, desplazable con bombas entre cámaras, para las correcciones. El dique está dividido longitudinalmente en seis zonas estancas independientes y transversalmente en dos, una vertical y otra uniendo la vertical y la horizontal inferior. En total el dique tendrá un lastre sólido de 6.700 t y un lastre líquido de 40.200 t. Para garantizar la estanqueidad, las losas y muros que forman el doble casco del dique están pretensados en las dos direcciones perpendiculares.

**Figura 4. Sección transversal del dique flotante**

## Materiales empleados en la construcción del dique

Las importantes condiciones de durabilidad tenían que empezar a cumplirse con el material que se debía utilizar en la construcción del dique. El acero naval, usual en los barcos, requiere un mantenimiento imposible de realizar en este dique, que es fijo en la práctica, aunque tenga una pequeña libertad de movimientos controlados. El hormigón tiene una densidad que es la tercera parte de la del acero, pero su muy inferior resistencia, especialmente a tracción, exige un espesor de pared mucho más elevado, que reduce la capacidad de flotación y por lo tanto la sobrecarga que puede tener a flote.

Además, también la acción de los cloruros del agua de mar perjudica al hormigón, en especial atacando a las armaduras, tanto activas como pasivas. Por ello la elección se debía dirigir a un hormigón, que tuviera mayor resistencia frente al ataque marino y, además, fuertemente pretensado en dos direcciones perpendiculares en el doble casco exterior y con la armadura pasiva necesaria para controlar y reducir adecuadamente la figuración. La resistencia de este hormigón también debía ser elevada para permitir una fuerte compresión debida al pretensado y a las flexiones.

El hormigón se especificó con aportación de humo de sílice para asegurarle esta durabilidad de 100 años. También se exigía que esta aportación estuviera distribuida con gran uniformidad en el hormigón. Normalmente se añade microsílice en slurry en la amasadora, en lugar de utilizar microsílice densificada en polvo, para favorecer esta distribución uniforme. La dirección de obra consideró que de esta manera la uniformidad no estaba suficientemente asegurada y exigió que la microsílice se añadiera durante la fabricación del cemento, en la molienda del clínker, para poder comprobar mediante ensayos, previamente al amasado, esta distribución homogénea en el cemento.

**Figura 5. Construcción del dique**

El suministrador tuvo que hacer el esfuerzo de fabricar, por primera vez en España, este cemento especial, realizando pruebas de puesta a punto del proceso, hasta obtener la homogeneidad requerida, produciendo después, durante la construcción del dique, partidas de 1.000 t exclusivas para la obra, con una vida útil de 50 días, que tenían que superar los estrictos controles de suministro, que duraban unos 10 días, antes de poder ser utilizado. Toda esta producción se almacenaba en grandes silos en la obra, después de superar los controles de producción.

Evidentemente el cemento tenía además que ser resistente al agua de mar y a los sulfatos. Los constituyentes puzolánicos estaban limitados al 15% en peso de cemento y la microsílice al 8%, teniendo un mínimo del 85% de $SiO_2$. Los áridos podían ser naturales o de machaqueo. El contenido en cloruros solubles de los áridos gruesos y finos estaba limitado el 0,05% y el coeficiente de absorción de agua al 2%. En los gruesos el ensayo de Los Ángeles estaba limitado a 25, el coeficiente de aplastamiento al 20% para gravas superiores a 10 mm y al 25% para gravas iguales o inferiores a 10 mm y debía superar el ensayo de

reacción árido-álcali. En los áridos finos el ensayo de friabilidad estaba limitado a 40, el valor del ESV a 80 y el del ESP a 75.

La dosificación de la mezcla de hormigón tenía limitada la relación agua-cemento a 0,35 y la cantidad de cemento + adiciones + microsílice era de 425 kg/m$^3$, con un contenido en microsílice comprendido entre el 5% y el 8%. El hormigón fresco debía tener una consistencia que garantizase su colocación como mínimo una hora después de su amasado. Debido a su fluidez la consistencia se medía con mesa de sacudidas en lugar de utilizar el cono de Abrams. También se comprobaba la ausencia de segregación y de exudación. Mediante ensayos se realizó un seguimiento del desarrollo de las resistencias a compresión y tracción, del módulo de elasticidad, del calor de hidratación, de la permeabilidad y de la resistencia a la penetración de cloruros.

Antes del comienzo de la construcción del dique se realizó una campaña de ensayos para comprobar el cumplimiento de todas estas condiciones en condiciones reales de fabricación, utilizando a pleno rendimiento las plantas de hormigonado. Finalizada esta primera etapa de ensayos se hizo un ensayos final a escala real, hormigonando un elemento que reproducía un nudo de encuentro entre losa de fondo, pared principal longitudinal y rigidizadora transversal, con un cajetín de anclajes de pretensado y una ventana de paso entre celdas, todo ello con su correspondiente armadura pasiva y con los tubos curvados que formaban las vainas de pretensado. Con este ensayo se comprobó la fabricación, transporte, vertido, compactado y curado del hormigón.

También se hicieron ensayos a escala real de diversos tratamientos de las juntas de construcción, sacando después testigos paralelos y perpendiculares a la junta, que se ensayaban para comprobar la pérdida de resistencia y si el fallo se producía por la junta.

Se ensayaron cuatro dosificaciones distintas, eligiendo la formada en cada metro cúbico de hormigón fresco por 425 kg de cemento II A-S 42,5 SR + microsílice, 341 kg de árido fino calizo natural 0/2 mm, 497 kg de árido fino calizo de machaqueo 0/5 mm, 411 kg de árido grueso 5/10 mm y 617 kg de 10/16 mm, ambos calizos de machaqueo, 6,4 kg de aditivo superfluidificante de nueva generación, 0,85 kg de aditivo retardante y 148 l de agua.

El hormigón principal es de 54 MPa de resistencia característica a compresión y 3,84 MPa a tracción y el secundario 40 MPa y 3 MPa respectivamente. Para la fabricación del hormigón se utilizaron dos plantas SKAKO de 60 m$^3$/h de capacidad, con amasadora de eje vertical contracorriente de 2 m$^3$. Disponían de 4 tolvas de 30 m$^3$ de capacidad y 2 silos de cemento de 85 t. Esta planta garantizaba una tolerancia de pesada muy estricta y una homogeneidad excelente de la amasada.

**Figura 6. Vista de las dos plantas de hormigonado y de los silos de cemento**

Las losas y muros que forman el doble casco del dique están pretensados en las dos direcciones, por lo que el dique lo está en las 3 direcciones (sentido transversal, vertical y longitudinal) por un total de 3.150 t de acero activo en cables. A este pretensado, se suma otro mediante barras rígidas en ciertos elementos de la obra: rigidizadores laterales y muros estancos (150 t). Los cables están colocados en el interior de tubos de acero de diámetros entre 7 y 14 cm y espesores entre 1,5 y 3 mm en lugar de las usuales vainas de fleje helicoidal, para proteger mejor el pretensado frente a la corrosión. Las unidades utilizadas están comprendidas entre 7T15 y 31T15. La complejidad de la secuencia de tesado, con cables de más de 240 m de longitud y bucles verticales de 20 m, requirió recalcular el dique para validar los métodos de ejecución. Para el pretensado rígido se utilizaron barras tipo Macalloy de 50 mm de diámetro. Las tolerancias de colocación de armaduras y tubos, especialmente en recubrimiento fueron muy estrictas y los separadores se fabricaron con el mismo cemento y áridos del hormigón. En la construcción del dique se emplearon 44.000 $m^3$ de hormigón, 3.300 t de acero de pretensado y 10.000 t de acero de armar.

## ENSAYOS Y CONTROLES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE

### MATERIALES CONSTITUYENTES

**Áridos**: Diariamente se realizaban granulometrías, de las cuatro fracciones de áridos recibidos en obra, rechazando aquellos cuyos ensayos quedaban fueran del huso predeterminado como tolerancia para esta obra. Para los tamaños gruesos se realizaba el ensayo de limpieza superficial, eliminándose todas las partidas que superaran el 2%. Otra prueba, de control en obra, realizada sobre el árido fino, era el equivalente de arena, con un valor mínimo de 80. Para valores inferiores se realizaba el ensayo del azul de metileno, que permitía determinar la naturaleza de los finos en las arenas ensayadas, rechazando definitivamente el material si el resultado del ensayo era negativo.

**Cemento**: Se merece una mención especial los ensayos que se realizaron sobre todas y cada una de las fabricaciones de cemento empleadas en la obtención del hormigón, utilizado en los elementos estructurales del dique, no por los ensayos en sí, sino por su cantidad. Como datos más relevantes destacan los siguientes:

Como control de rutina de la producción, se realizaba un ensayo por cada 80 toneladas, en lugar de uno por cada 230 toneladas de cemento fabricado (un 290% más), como el plan de inspección, de la fábrica de Holcim en Jerez, tenía estipulado, al no existir ninguna normativa española ni europea en cuanto a la frecuencia de aquellos. Sin embargo, para las muestras de expedición, si existía una exigencia definida, sobre la frecuencia de inspección, recogida en las normas UNE 80301, EN 197-1 y en la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-97).

Como control diario se realizaba un ensayo por cada 160 toneladas en lugar de uno por cada 2760 lo que suponía un incremento del 1575 %.

Por último y referente a ensayos de expedición se efectuaba uno por cada 125 toneladas, en lugar de uno por cada 6250, lo que superaba en un 5000 % lo que marcaba la normativa citada anteriormente.

Se realizaron un total de veintiséis fabricaciones de cemento, con una cantidad media de 1.000 toneladas. Al llevar incorporado humo de sílice, se tomaban dos tipos de muestras de cada una de las fabricaciones anteriormente citadas. Una de ellas sin microsílice, de la que se hacían dos tomas, una previa y otra posterior a la adición del. La otra estaba formada exclusivamente por cemento con microsílice, efectuándose pruebas por cada 200 toneladas fabricadas.

Las muestras eran ensayadas, en la propia fábrica de cemento y en dos laboratorios acreditados, para recibir la aprobación por parte de la dirección facultativa para su utilización.

Los ensayos más restrictivos, que servían para validar las fabricaciones de cemento, así como sus tolerancias eran los siguientes:

Resistencias a compresión superiores a 35 Mpa a la edad de 7 días, ensayadas en el laboratorio de Holcim (cementera), CEBTP y Geocisa. Con el avance de la obra y con el fin de acortar el periodo de aprobación, se realizó este ensayo a la edad de 5 días con la misma exigencia (35 Mpa) obteniéndose resultados satisfactorios en todas las muestras.
De tipo físico destacan, el principio de fraguado, superior a 60 minutos; la estabilidad de volumen inferior a 5 mm; la determinación de la finura (ensayo Blaine) en los laboratorios de Holcim y CEBTP y el tiempo de fluidez de lechada preparada con una relación a/l de 0,41 y un tiempo de 15 ±3 s, realizados en Geocisa. Adicionalmente y en obra se realizaba un ensayo Blaine, por cada cisterna recibida, rechazando aquellas cuyos resultados quedaban fuera de tolerancia.

En cuanto a ensayos químicos destacan, el contenido en sulfatos, comprendido entre 2 y 3% y el de microsílice, entre el 5 y 8 %

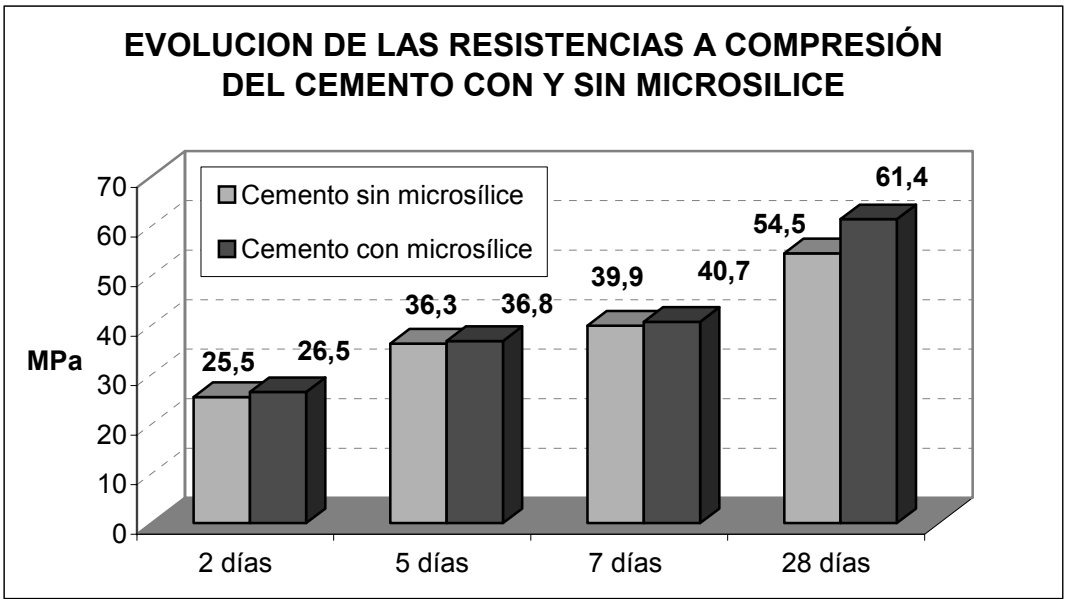



**Figura 7. Evolución de las resistencias a compresión del cemento**

**Microsílice:** Se realizaban ensayos químicos mensuales, del humo de sílice, en dos laboratorios acreditados.

**Aditivos:** De cada cisterna recibida en obra se tomaba una muestra para realizar los ensayos de pH, densidad y residuo seco, esperando el camión, antes de descargar, en los depósitos de las plantas los resultados de los mismos.

**Agua de amasado:** Semanalmente se analizaban dos tomas, una por planta de hormigón, realizándose los ensayos de pH, cloruros, sulfatos, aceites y grasas y sólidos en suspensión.

## HORMIGON

Como ensayo de control del hormigón fresco se realizaba, el de la tabla DIN, con una frecuencia superior al 33 %, a la salida de la central, y del 100 % a la entrada de la bomba en la mayor parte de los hormigonados

Respecto al producto endurecido, dos son los parámetros que se controlaban, por un lado las resistencias tanto a compresión como a tracción indirecta y por otro la durabilidad, mediante el ensayo de resistencia a la penetración de cloruros ASTM C 1202.

Para el control de resistencias se fabricaron un total de 10076 probetas cilíndricas de 16x32 cm, ensayadas a compresión a las edades de 7 y 28 días y a tracción indirecta (Brasileño) a la edad de 28 días. Destaca el valor medio de resistencia a compresión a 7 días (60 Mpa), que supera al exigido por el Pliego de condiciones a la edad de 28 días (54 MPa). También cabe destacar valores de resistencias a compresión, superiores a 90 MPa, obtenidos en alguno de los elementos del dique.

**Figura 8. Probeta cilíndrica 16 x 32 cm después del ensayo a compresión**

En cuanto a la durabilidad del hormigón, los resultados pueden calificarse como excelentes, en el rango de “very low” según la norma de ensayo ASTM C 1202. Todos los ensayos realizados, de resistencia a la penetración de cloruros, demuestran que el hormigón, fabricado y vertido en el cajón, es prácticamente impermeable al ataque de dicho ión, protegiendo la estructura metálica y favoreciendo la durabilidad de 100 años exigida. En las tablas adjuntas se muestran los resultados medios alcanzados en los 41845 m3 fabricados.

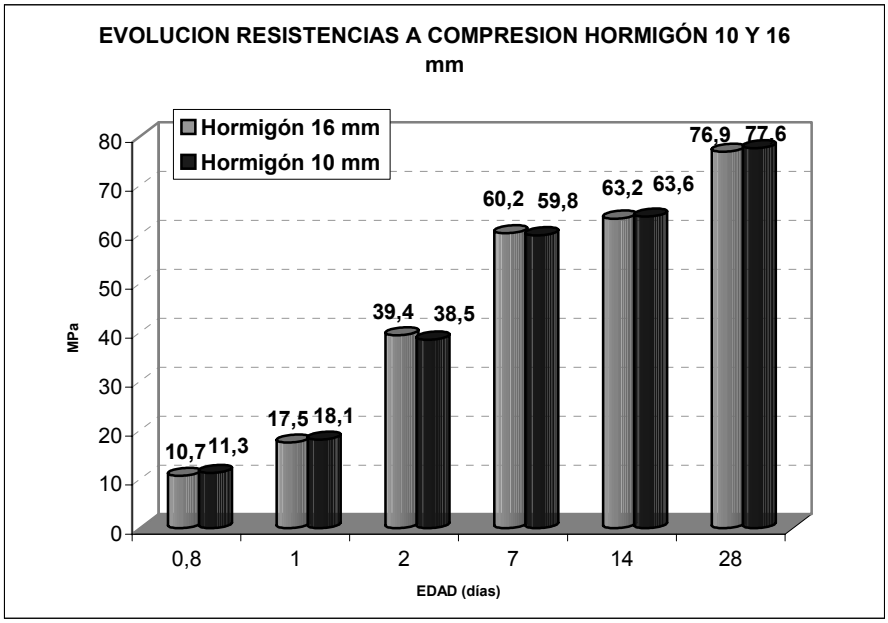



**Figura 9. Gráfico de evolución de resistencias a compresión del hormigón**

# OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN "IN SITU" EMPLEANDO HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

**Antonia Pacios Álvarez**

Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales, ETSII (UPM)

## 1 EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Según el último informe de la asociación SEOPAN, en el año 2005 la construcción supuso un 10.4% del VAB total en términos nominales, algo que no es nuevo, porque desde 1997, el sector ha crecido. Dicho protagonismo es causa y consecuencia del prologado ciclo expansivo de la economía española. La producción interna de construcción en términos reales creció un 6% en 2005, que supone una aceleración respecto al 4% obtenido los tres años anteriores. Para calcular este crecimiento se consideran englobados los diferentes subsectores que configuran la industria de la construcción, y que se pueden agrupar en dos grandes áreas: edificación y obra civil.

Aunque las dos áreas están muy relacionadas entre sí por compartir a menudo el uso de los mismos factores productivos, se suelen analizar por separado. Así, el componente de la obra civil se muestra como el más dinámico, con un crecimiento del 8,5%, superando así el 6% del año 2004, lo que indica un repunte de su actividad frente a la ralentización vivida en los años anteriores. Por su parte, la edificación continuó su aceleración de los últimos ejercicios y experimentó un crecimiento del 5% (3,2% en 2004).

Dentro de la edificación se distinguen tres grupos: la edificación residencial, la rehabilitación y mantenimiento, y la edificación no residencial. En el caso de la edificación residencial, se produjo una aceleración del 9% (5% en 2004). La rehabilitación y mantenimiento también aceleró su crecimiento y se situó en un 4% (2,5% en 2004) (ver Tabla 1).

**Tabla 1. Tasa de variación interanual por subsectores**

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EDIFICACIÓN | 3,7 | 3,5 | 6,2 | 8,5 | 6,2 | 4,4 | 3,1 | 2,8 | 3,2 | 5,0 |
| Residencial | 7,5 | 4,0 | 11,0 | 14,0 | 9,0 | 4,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 9,0 |
| Rehab. y mant. | 5,0 | 4,0 | 2,5 | 4,0 | 2,5 | 4,5 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 4,0 |
| No residencial | -3,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 6,5 | 5,0 | 2,5 | 2,0 | 1,0 | -1,0 |
| OBRA CIVIL | -12,0 | -6,0 | 7,0 | 9,0 | 7,0 | 10,0 | 9,0 | 7,0 | 6,0 | 8,5 |
| TOTAL | -0,9 | 1,0 | 6,4 | 8,7 | 6,4 | 5,8 | 4,6 | 3,9 | 4,0 | 6,0 |

Fuente: SEOPAN

El reparto de la actividad por subsectores revela que la edificación representa el 75,5% de la producción total en términos corrientes, frente al 24,5% de la obra civil. En cuanto a los grupos de la edificación, la producción residencial supone un 34,4% del total de la actividad, seguido del 24,3% de la rehabilitación y mantenimiento y el 16,9% de la edificación no residencial. Estas cifras revelan que tanto la obra civil como la edificación residencial son un mercado muy dinámico y con cabida para la innovación tecnológica.

A lo largo de las próximas décadas, el sector español de la construcción debe afrontar retos de carácter estratégico, como por ejemplo los identificados en la Plataforma Técnica Española de la Construcción (PTEC, 2006):

a) Mejorar la competitividad: La construcción tiene un 30% menos de productividad que la industria manufacturera tradicional, suponiendo la corrección de errores en obra un 15% de los costes, y su rendimiento es crítico para la competitividad y el crecimiento de la industria española. La integración de nuevos estados miembros a la Unión Europea constituye un nuevo campo para la exportación de tecnología y abre nuevos mercados a las empresas españolas.

b) Integración social y comunidades sostenibles: Se deben construir edificios y ciudades más habitables, conservar el Patrimonio Cultural y crear ambientes urbanos que ayuden a aumentar la seguridad. Los procesos constructivos deben evolucionar para incrementar la seguridad de los propios trabajadores.

c) Cambio climático y sostenibilidad: En Europa, el sector de la construcción consume en torno al 40% de los recursos materiales, genera el 40% de los residuos y produce el 35% de los gases de efecto invernadero, de forma que juega un importante papel en el camino hacia una sociedad sostenible. Es necesario reducir el impacto ambiental de los propios procesos y del hecho constructivo en su conjunto, usando de forma extensiva la I+D+i y aumentando los incentivos a la innovación.

d) Barreras e incentivos al despegue tecnológico: Los agentes del sector no pueden ser los únicos que responsables del incremento del uso de la tecnología y las innovaciones en la construcción. Hay que ver hasta dónde es posible que las compras públicas soporten y estimulen la I+D+i y cómo pueden los suministradores de material, equipo e instalaciones a mejorar la industria.

La tecnología del hormigón autocompactante (en adelante HAC) aporta soluciones a los retos planteados tanto en el sector de la obra civil como en el sector edificación.

# 2 EL EMPLEO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE EN LA EDIFICACIÓN

Las primeras aplicaciones importante en España con HAC se realizaron durante los años 2001 y 2002 (Gómez, E., 2006). Estas aplicaciones sirvieron para experimentar y realizar pruebas con un material hasta entonces sólo conocido por las experiencias en el extranjero. Es a partir del año 2003 cuando empiezan a aparecer referencias bibliográficas en congresos y revistas técnicas.

El número de aplicaciones con HAC en España está aumentando progresivamente desde 2003, a un ritmo no muy diferente, incluso hasta superior, al ritmo al que creció este parámetro en el caso de Francia.

Sin embargo, este parámetro es un tanto engañoso, por cuanto en las aplicaciones se engloban las de hormigón preparado y las de hormigón prefabricado. En lo que se refiere al hormigón prefabricado, y a pesar del celo con que las empresas prefabricadoras suelen guardar la información acerca de sus producciones, se sabe que el HAC está mucho más implantado que entre los fabricantes de hormigón preparado.

Por esto, los volúmenes que resultan de todas las aplicaciones no se pueden asociar a hormigón preparado. De hecho, los estudios de mercado realizados muestran que las empresas de hormigón preparado sólo producen, aproximadamente, un 0.35% de HAC. Los 306.768 $m^3$ calculados como oferta actual de HAC responden a la realización de pedidos.

Como ya se ha comentado, la situación de uso de HAC en el sector del hormigón preparado en este momento no es buena, con poca demanda para aplicaciones puntuales y ciertas reticencias a la hora de emplearlo. Aún así, existen ciertos aspectos que invitan a la esperanza:

- El aumento en el número de aplicaciones que, aunque no es determinante, sí indica una cierta tendencia a la implantación del HAC como material común en la construcción.

- Desde las empresas productoras de hormigón se viene observando, dentro de los pequeños volúmenes que se manejan, una cierta tendencia al alza en el volumen de HAC empleado.

Las últimas obras singulares en ejecución en España que emplean el hormigón recurren a este material porque aúna las posibilidades estéticas y formales junto a la respuesta estructural del mismo. Se busca además aumentar la vida útil de estas construcciones singulares, lo que implica diseñar un material altamente durable. La singularidad de las obras conlleva tener que hormigonar elementos de geometría complicada, con gran densidad de armadura y en zonas difícilmente accesibles, lo que obliga a modificar la tecnología del hormigón hasta encontrar un material que solucione esos problemas (Pacios, A., 2004; Borralleras,P., 2003).

La reciente aprobación de Normas UNE de ensayo (UNE 83361 a UNE 83364) y la incorporación del material en la Instrucción EHE supondrá la eliminación de las barreras normativas que están frenando su expansión.

## 2.1 Lecciones aprendidas del sector de la prefabricación

Las primeras aplicaciones en las que se pudo manifestar un probado beneficio con el empleo del HAC fue en el sector de la prefabricación y en aplicaciones de obra civil, principalmente (Dowson, 2002). En primer lugar debido al elevado control que sobre la materia prima y sobre el proceso se dispone en las plantas de prefabricados y lo segundo, por las secciones compactas y de geometría sencilla que la obra civil presenta frente a la edificación. De los estudios realizados en el sector del prefabricado se pueden valorar económicamente los siguientes aspectos:

- Coste del material: materia prima y tiempo de producción;
- Coste de la colocación: mano de obra, equipo;
- Transporte del hormigón;
- Duración de la construcción: tiempos reales y tiempos de espera;
- Otros beneficios: social y medioambiental.

En este sector se alcanzan reducciones del 25% del precio final considerando el coste del material, preparación de moldes y encofrados, hormigonado y compactación (para los hormigones vibrados), desmoldeo y desencofrados y acabado (Pacios, A., 2003). Sin embargo, en las primeras aplicaciones en edificación, en las que se sustituía el material, el hormigón vibrado por el hormigón autocompactable, no era evidente el beneficio que este material aportaba: en elemento de geometría sencilla, el incremento de coste del material, prácticamente se equilibraba con la reducción de plazos y mano de obra, alcanzando beneficios finales bajos, inferiores al 10% (BE96-3801).

## 2.2 Especificaciones del hormigón autocompactante

Actualmente el HAC se ha utilizado como sustitución del hormigón convencional sin tener en cuenta que no todos los elementos construidos demandan las mismas prestaciones de autocompactabilidad del hormigón. En un pilar, por ejemplo, la resistencia a la segregación es importante pues existe la posibilidad de que esta se vea favorecida por la gravedad, y se deberá evitar recurriendo a un buen diseño del hormigón en conjunción con los sistemas de colocación empleados. Un elemento fuertemente armado o con geometría complicada la fluidez deberá ser elevada, el tamaño máximo del árido adecuado y ambos acordes al sistema de colocación utilizado, como por ejemplo los puntos de hormigonado, recorridos horizontales y verticales libres, etc (Bury et al., 2002; Constantiner et al., 2002; EFNARC, 2005).

La verificación de la adecuación del hormigón y sistema constructivo al proceso, o sea el cumplimiento de los requisitos de resistencia, durabilidad y acabados, se deberá realizar sobre un prototipo a escala real, con el material y procedimientos de colocación seleccionados para la obra. A pesar de superar las pruebas en laboratorio y la recepción del material, la experiencia muestra que puede ser necesaria la realización de hasta diez elementos reales hasta recibir la conformidad por parte del Director de Obra (Gettu et al., 2004b; Gettu et al., 2005). La ausencia de segregación, la estabilidad del material fresco, la ausencia de retracción plástica han sido parámetros críticos para la selección del procedimiento.

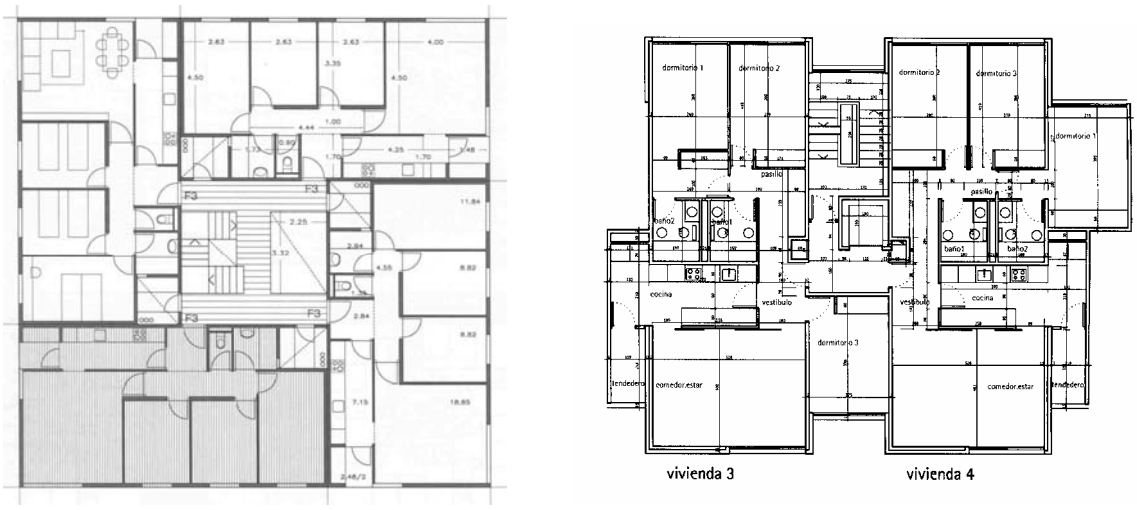
La próxima Instrucción EHE recoge en el Anejo “Hormigón autocompactante” la tipificación del mismo, de manera que se pueda diferenciar entre clases de autocompactabilidad. Sin embargo, la selección de ensayo para realizar el control de recepción no asegura la verificación.

# 3 SISTEMA INTEGRADO EN EDIFICACIÓN

Una nueva tecnología se verá utilizada en su óptimo rendimiento cuando se hayan realizado todas las modificaciones que se impongan en el proceso constructivo y en el diseño arquitectónico. En edificación, de entre los aspectos anteriores, se deberá estudiar el problema en aquellas fases en las que la reducción de plazos y costes sean importantes y que tengan incidencia en la calidad del acabado, como por ejemplo el sistema de encofrados. Un estudio detallado llevará al análisis del diseño modular arquitectónico y de los encofrados integrales.

## 3.1 El diseño arquitectónico

Aunque con el sistema de encofrado integral y el empleo del HAC prácticamente cualquier arquitectura se puede desarrollar, presentarán un diseño mas racionalizado y mejores acabados aquellas soluciones compactas y de geometría sencilla que tradicionalmente se han utilizado en construcciones modulares. Partiendo de un módulo básico que se repite, y un módulo especial de escaleras, las posibilidades de agrupación de módulos en configuraciones abiertas, en manzana cerrada, en estrella son numerosas, sin merma de flexibilidad. La Figura 1 muestra las posibilidades de la construcción modular sin merma de flexibilidad. Mientras que la *figura a* solución es íntegramente cerrada, con la disposición de la *figura b* se busca una solución flexible de tabiquería industrializada realizada en hormigón y tabiquería industrializada de cartón-yeso, buscando satisfacer el mercado que demanda una mayor versatilidad.




**a) disposición cerrada** **b) disposición flexible**

**Figura 1. Construcción modular**

Lo primero que se debe acometer es modificar el diseño no volumétrico de arquitectura convencional (estructura de pórticos con cerramiento y tabiquería) a una construcción modular. La Figura 2 muestra un ejemplo de la transformación de convencional a construcción modular para una vivienda de tres dormitorios. El ejemplo que se presenta es una vivienda tipo utilizada para la construcción de 220 viviendas en el PAU de Vallecas por la Empresa Municipal de la Vivienda de Madrid. A pesar de tener la misma distribución la apariencia es mejor al desaparecer los pilares de las esquinas.

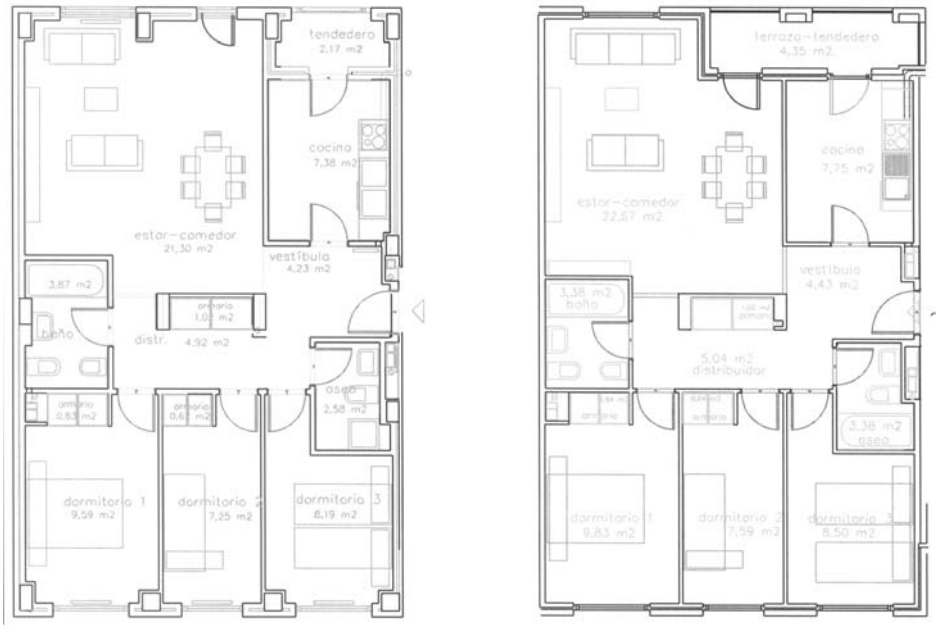



**Figura 2. Comparación entre vivienda convencional (izquierda) y modular (derecha)**

## 3.2 Sistema de encofrado integral

Un sistema de encofrados integrales estará formado por elementos metálicos de rápida ejecución y ajuste preciso, que facilitará colocar de una sola vez toda la obra gruesa, incluyendo las instalaciones. El sistema permite un gran rendimiento en la construcción, dada la velocidad, precisión y uniformidad y por lo tanto una gran calidad final.

El sistema se ejecuta mediante encofrados “mesa” creando una estructura que aprovecha toda la capacidad portante de tabiques, separaciones y muros. Dado que el forjado se sustenta sobre toda la tabiquería la solución de losa adoptada dispone de espesores de 14 a 16 cm, cumpliendo con todas las exigencias básicas de seguridad, habitabilidad y durabilidad.

El sistema de encofrados integrales, dispone de todos los elementos especiales para la manipulación de armaduras, tableros de paneles o forjado, pasarelas de seguridad,... y puede adaptarse a cualquier configuración arquitectónica. El encofrado se inicia sobre una superficie, bien sea una cimentación en losa o forjado de un nivel inferior, sobre la que se coloca una plantilla de marcado y replanteo, que asegura las medidas y precisión de las mismas. A esta superficie plana se acoplarán unos perfiles de tope que servirán para el replanteo de los cerramientos y tabiques. El proceso de colocación de armadura y colocación de las instalaciones eléctricas y de fontanería en forjado y tabiques se agiliza al disponer de la plantilla y no ser necesaria tanta medición y comprobación, consiguiendo en esta fase una reducción de tiempos importante en la valoración de la duración global. El último paso a seguir será el montaje del molde metálico. A pesar de que la experiencia en prefabricados mostraban mayor porosidad superficial al emplear encofrados metálicos, los acabados obtenidos en superficies lisas son de elevada calidad, de manera que en la mayoría de los casos no es necesario enlucir y se podrá pintar directamente sobre el soporte de hormigón.

Cada planta de edificación tipo se realiza partiendo de uno o varios moldes de vivienda y molde de escalera, según la disposición adoptada en el proyecto arquitectónico. En la Figura 3 se muestra el empleo de un encofrado de módulo básico, un encofrado de módulo en esquina y un encofrado de módulo escalera. Dado que en muchas aplicaciones la reutiliza-

ción de los encofrados no alcanza el número de puestas máximo tienen un coste residual y todos los componentes son reutilizables en un nuevo molde, para una nueva tipología, consiguiendo de esta manera reducir la repercusión del coste del encofrado en la construcción.

**Figura 3. Aplicación de molde básico y molde en esquina**

# 4 PROCESO CONSTRUCTIVO

Para que este proceso se haya podido implementar ha sido necesario el estudio detallado de la planificación de la obra y una buena especialización de los obreros.

El elevado de número de elementos a escala real que se ha utilizado ha sido necesario para cubrir variaos objetivos: familiarizar al trabajador en primer lugar con los elementos del sistema, con el material y con los plazos de colocación. Las distintas modificaciones varían en el contenido de pasta principalmente respetándose la cantidad y tamaño máximo del árido grueso. Dado que es importante utilizar áridos locales para equilibrar costes de material y ante la escasez de finos en zona central se ha recurrido a elevados contenidos de cemento, que con una mala cuantificación del árido y dosificación puede dificultar el bombeo del hormigón, o aumentar la porosidad del mismo.

Las condiciones estándar de hormigonado serán preferiblemente mediante bombeo, con una tubería de la bomba de 10-12,5 cm de diámetro, alcance medio de 30 m, altura máxima de caída de 5 m y la distancia máxima de desplazamiento lateral de 8 m. La velocidad de descarga se deberá establecer de acuerdo con las características del elemento y prestaciones del HAC, tal como se contempló en el apartado anterior.

La calidad del acabado interior es elevada, por lo que se utilizará como soporte directo para ser pintado, sin necesidad de enlucido o trasdosado.

La serie de imágenes mostradas en la Figura 4 muestra el proceso de fabricación de viviendas utilizando el sistema integrado, en el estado en marzo, mayo y septiembre del 2003.

**Figura 4. Fabricación de viviendas en bloque cerrado**

La composición de los equipos de trabajo, para el empleo del encofrado de viviendas de tres dormitorios, fue la siguiente:

- Equipo de modulor 3D, compuesto por 16 operarios que en un día de trabajo desmontan un molde de vivienda de tres dormitorios y lo montan en la siguiente vivienda a ejecutar.
- Equipo de mallazo y hormigón, compuesto por 4 operarios que colocan el mallazo de tabiquería de las viviendas, para dejar paso a la colocación de instalaciones. De igual forma, colocan la armadura del techo de la vivienda que deben hormigonar en ese día.
- Equipo de fontaneros, compuesto por 3 operarios que realizan todo el montaje de instalaciones de fontanería con días de adelanto respecto a la fecha de hormigonado del molde.
- Equipo de electricistas, compuesto por 3 operarios que realizan todo el montaje de instalaciones de electricidad con días de adelanto respecto a la fecha de hormigonado del molde.

La secuencia de las operaciones se puede ajustar a un comportamiento medio como el representado en el modelo de la Tabla 2.

**Tabla 2. Esquema teórico de trabajo con los moldes**

| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo | Lunes | Martes | Miércoles |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vivienda 1 | | | | | | | | | | |
| Mallazo | | | | | | | | | | |
| Fontanero | | | | | | | | | | |
| Electricista | | | | | | | | | | |
| Montaje/Hormigonado | | | | | | | | | | |
| Vivienda 2 | | | | | | | | | | |
| Mallazo | | | | | | | | | | |
| Fontanero | | | | | | | | | | |
| Electricista | | | | | | | | | | |
| Montaje/Hormigonado | | | | | | | | | | |
| Vivienda 3 | | | | | | | | | | |
| Mallazo | | | | | | | | | | |
| Fontanero | | | | | | | | | | |
| Electricista | | | | | | | | | | |
| Montaje/Hormigonado | | | | | | | | | | |

A la vista de la tabla anterior se ve cómo, en primer lugar, se coloca toda la ferralla por parte del equipo de mallazo y hormigón. Al día siguiente, entran los fontaneros y electricistas para montar todas las instalaciones que luego quedarán embebidas en la estructura. Tras dejar unos días de decalaje, con el fin de llevar la ejecución de varias viviendas a la vez, se procede al montaje de los encofrados del molde por parte de los operarios del modulor. Ese día también se coloca la armadura de techos y se hormigona el molde (Peña, 2005).

Cabe señalar que dentro de los equipos hay que destinar ciertos recursos para diversas actividades preparatorias de menor entidad. Así, es necesario que, previamente, parte del

equipo de mallazo y hormigón vaya por delante y se dedique a instalar las plantillas de replanteo. De igual forma, además de los equipos tipo considerados, se incluyen los recursos para repasos tras la ejecución y para otros medios auxiliares como puede ser la instalación de las pasarelas del sistema de seguridad.

# 5 EVALUACIÓN DEL SISTEMA

## 5.1 Análisis económico-temporal

La aplicación del sistema de moldes de alta precisión exige una mayor cualificación por parte de los operarios y un periodo de adaptación y preparación superior para acometer los trabajos.

Los beneficios económicos mostrados en el sector de la prefabricación no se manifiestan en todas las construcciones "in situ"; para ello, es necesario modificar el proceso constructivo y adaptar las construcciones a las nuevas tecnologías. En el ejemplo que se presenta en el siguiente apartado el proceso de construcción se ha modificado de manera que cada vivienda, de unos 90 $m^2$ aprox., se realiza en dos días y medio, de los cuales solamente media jornada se dedica a la colocación del hormigón. La Tabla 3 muestra la planificación de la construcción utilizando el sistema integrado y la Tabla 4 la misma planificación teniendo en consideración que el sistema empleado hubiera sido convencional.

**Tabla 3. Planificación de la obra convencional**

| Id | Nombre de tarea | Duración |
|---|---|---|
| 1 | **1.Cimentaciones** | 90 días |
| 2 | **2. Construcción tradicional** | 485 días |
| 3 | **3. Instalaciones** | 467 días |
| 4 | **4. Acabados** | 391 días |
| 5 | **5. Cubiertas** | 261 días |
| 6 | **6. Carpintería, vidrios y cerrajería** | 349 días |
| 7 | **7. Urbanización y varios** | 45 días |

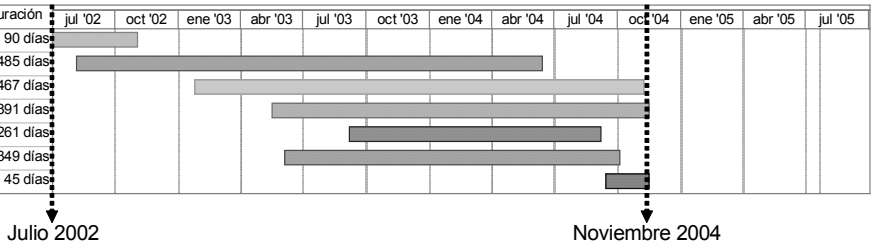
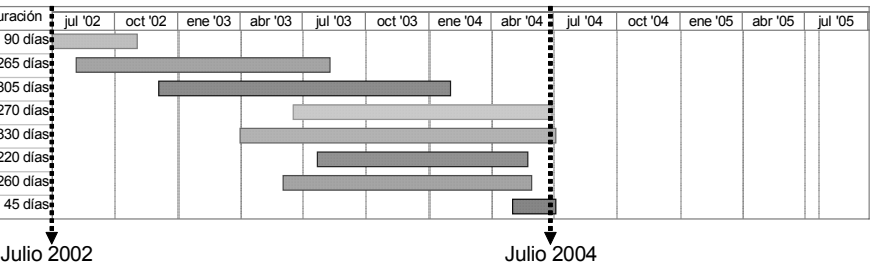



**Tabla 4. Planificación de la obra modular**

| Id | Nombre de tarea | Duración |
|---|---|---|
| 1 | **1. Cimentaciones** | 90 días |
| 2 | **2. Parte tradicional del edificio** | 265 días |
| 3 | **3. Modulor** | 305 días |
| 4 | **4. Instalaciones** | 270 días |
| 5 | **5. Acabados** | 330 días |
| 6 | **6. Cubiertas** | 220 días |
| 7 | **7. Carpintería, vidrios y cerrajería** | 260 días |
| 8 | **8. Urbanización y varios** | 45 días |




## 5.2 Producción de residuos

Con los cálculos realizados y la información disponible, se aprecia como, dentro de las actividades consideradas como diferenciadoras, la variedad de tipos de residuos es mucho mayor en el sistema convencional que en la ejecución con moldes de alta precisión, donde se genera fundamentalmente acero y una pequeña proporción de papel, proveniente de los embalajes de los encofrados integrales. En concreto, la producción de residuos en el sistema industrializado, ya sean de obra o de embalajes, es del orden de un 9,8% del total de kilogramos generados en la actividad tradicional (ver Figura 5).

En esta línea, la generación de residuos aquí estudiada se presenta como un requerimiento a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el análisis comparativo entre ambos sistemas.

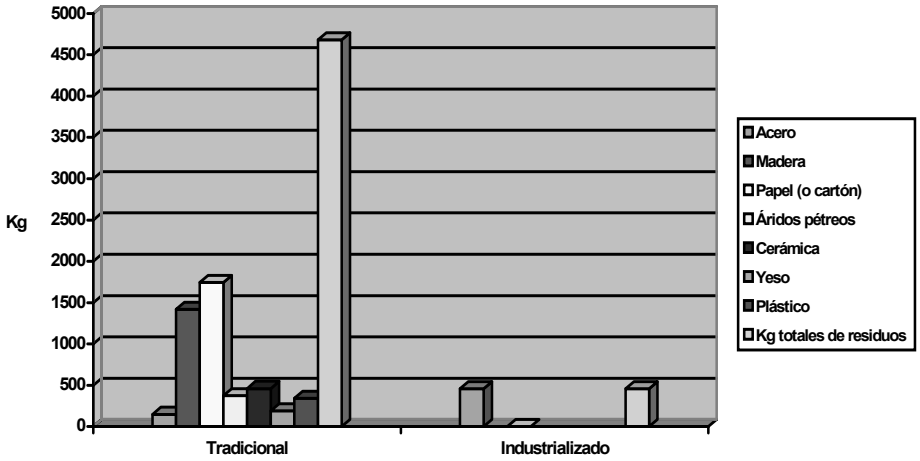



**Figura 5. Resumen de producción de residuos**

De igual forma, la masa total de residuos que habrá que retirar, transportar o tratar es también muy superior en estas actividades para el sistema tradicional.

Efectivamente, el molde implica una mayor producción de residuos metálicos. Sin embargo, los áridos y materiales cerámicos que generan los diferentes tipos de ladrillo son muy importantes. Asimismo, los embalajes de estos materiales producen grandes cantidades de papel o cartón, plásticos y madera (pallets). Por otro lado, también aparece el yeso proveniente de los enlucidos.

En definitiva, al considerar estos bloques de actividades como equivalentes en uno y otro sistema se observa claramente que en lo que a generación de residuos se refiere es más favorable el empleo del sistema industrializado de moldes de alta precisión.

## 5.3 Coste energético

Tras efectuar todos los cálculos se aprecia un mayor coste energético total en la alternativa convencional para cada vivienda. En la Figura 6 se observa que la diferencia no es elevada (en torno al 4% de mayor coste energético en la opción de edificación tradicional). Sin embargo, se debe apreciar que los cálculos se realizaron para una única vivienda tipo. Por lo tanto, esta diferencia se hace notoria cuando el dato obtenido se extrapole a la producción de un gran número de viviendas. De esta forma, una diferencia que en principio resulta reducida, sí es importante en términos generales.

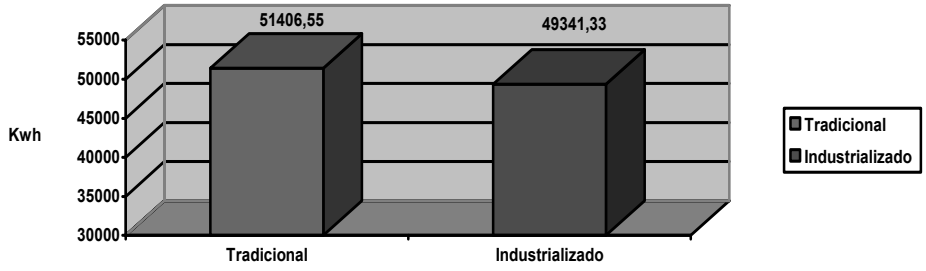



**Figura 6. Resumen de coste energético**

La actividad que más energía consume en la alternativa tradicional es la ejecución de los forjados, estando el resto el consumo más repartido entre los demás elementos. En el caso industrializado, son los encofrados integrales los que más energía consumen, relacionada con la producción del acero necesario.

# 6 CONCLUSIONES

Mientras que en el sector de los prefabricados el HAC es una realidad, tanto para elementos ocultos como aquellos vistos que demandan un alto acabado, la ejecución "in situ" necesita todavía que se desarrollen y controlen determinados aspectos: el proceso constructivo deberá ser más industrializado, optimizando recursos técnicos y humanos, y trabajando el diseño de la obra y la construcción simultáneamente. Además, el control de calidad de producción y los criterios de aceptación y rechazo requieren calibrarse con aplicaciones probadas a escala industrial. La tecnología del HAC tiene un futuro prometedor para la construcción in situ.

Con el empleo del sistema industrializado de los encofrados integrales, además del beneficio que aporta el empleo del material, se deben cuantificar otros beneficios como la menor necesidad de maquinaria en obra, menor reserva de espacio para acopio de materiales, menor pérdida de materiales y generación de residuos.

Utilizando el sistema industrializado se optimiza la coordinación de las tareas en las que la reducción de tiempo y costes son importantes; esta coordinación tiene una alta incidencia en la calidad final.

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los estudios realizados para el desarrollo del Fin de Carrera "Evaluación económica de la aplicación de un sistema industrializado en la ejecución de viviendas en altura". Dicho trabajo es posible gracias a la colaboración entre la empresa IMASATEC S.A. y la ETSII.

## Bibliografía

BE96-3801, "**Production system for housing**" Final Report Brite EuRam Contract No. BRPR-CT96-0366.

Borralleras Mas, P., (2003), "*Obras y realizaciones con hormigón autocompactable*", Hormigón y acero, nº 228-229, pp. 149-159.

Bury M.A. and Bühler E., (2002) "*Methods and techniques for placing self-consolidated concrete – An overview of field experience in North American applications*", *Proc. First North American Conf. On the Design and use of sel-consolidating concrete*, Evanston, Illinois, USA, Center for Advanced Cement-Based materials.

Constantiner D. and Daczko J.A., (2002), "*Not all applications are created equal: Selecting the appropriate SCC performance targets*", Pro. First North American Conf. On the Design and use of self-consolidaring concrete, Evanston, Illinois, USA, Center for Advance Cement-Based Material.

Dowson, J.A., (2002), "*The application, self-compacting concrete in precast products*", Proceedings of the 17th International Congress of the Precast Concrete Industry, Estambul, 1-4 de mayo, 6 pp.

EFNARC (2005) **The European Guidelines for SCC. Specification, Production and Use**. 62 pp.

Gettu, R.; Gomes, P.C.C.; Agulló, L.; Josa A. (2004a), "*High-strength self-compacting concrete with fly ash: development and utilization*", *Proc. Eighth CANMET/ACI Intnl. Conf. On Fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete*, ACI SP-221, V. M. Malhotra (Ed.), Farmington Hills, USA, American Concrete Institute, 507-522.

Gettu, R.; Barragan, B.; García, T.; Pacios, A., (2004b), "*On the utilization of sel-compacting concrte*", Proc. Of Int. Conference on Advances in Concrete and Construccion, P. Jagannadha Rao, V. Ramakrishnan, V.S. Parameswaran (Ed), New Delhi, pp. 161-178.

Gettu, R.; Barragán, B.; Pacios, A., (2005); "*Possibilities and Limitations of Self-Compacting Concrete"***,** Advances in Materials and Mechanics of Concrete Structures (NCAMMCS), Ed G. Appa Rao, Allied Publishers Private Limited, pp. 28-41, ISBN: 81-7764-878-0.

Gómez Llorena, E., (2006), **Estudio de viabilidad del empleo de nuevos hormigones en el sector de la construcción en España,** Proyecto Fin de Carrera, ETSII-UPM, Noviembre 2006.

Pacios, A., (2003), "*El hormigón autocompactable: tecnología sostenible en la industria de la construcción*" *Hormigón y acero*, nº 228-229, pp. 143-148.

Pacios, A., (2004), "*Posibilidades arquitectónicas del hormigón autocompactable*", Hormigones autocompactantes, ed. EDITAN S.A., ISBN 54-87005-17-9, Sevilla 2004, pp141-148.

Pacios, A., (2004), **"**Sistema integrado de construcción: optimización para el empleo del hormigón autocompactable in situ**",** I+D+i en tecnología de estructuras de hormigón; ed. Dpto. de Ingeniería de la Construcción, UPC., pp. 79-83, ISBN 84-87691-31-5.

Peña Carrasco, J. (2005), **Tecnología para la construcción sostenible: sistema integral industrializado,** Proyecto Fin de Carrera, ETSII-UPM, Julio 2005.

PTEC, (2006), Plataforma Tecnológica Española de la Construcción. Documento de Bases, 23 pp.

UNE 83361:2007. Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo del escurrimiento.

UNE 83362:2007. Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Ensayo del escurrimiento con el anillo japonés.

UNE 83363:2007. Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Método de la caja en L.

UNE 83364:2007. Hormigón autocompactante. Determinación del tiempo de flujo. Ensayo del embudo en V.

Seminario S6

# Habitabilidad edificatoria. Salubridad

XVII Curso de Estudios Mayores de la Construcción

Madrid, 8 de Febrero al 22 de Junio de 2006

**La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción**

# HUMEDADES DE FILTRACIÓN EN FACHADAS. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Juan Monjo Carrió, Dr. Arquitecto
IETcc

# 1 La filtración en fachadas

La fachada es una de las partes del edificio más afectadas por las humedades de filtración derivadas del agua de lluvia, no sólo por su alto nivel de exposición, sino también por su geometría, que suele incorporar numerosos "rincones" y juntas constructivas que lo facilitan. Ello hace que sea necesario un estudio específico para tratar de evitarlas, estudio que implica un conocimiento claro de los síntomas y de las causas que provocan las filtraciones, para concluir en una serie de medidas de prevención en proyecto y obra para evitar que se produzcan.

El CTE introduce una serie de exigencias en el DB HS1 que van en esa dirección. En este capítulo analizaremos dichas exigencias y trataré de completarlas con algunas medidas adicionales.

## 1.1 Conceptos físicos

Para una mejor comprensión del fenómeno de la filtración, así como de las mediadas propuestas, conviene recordar algunos conceptos físicos básicos relacionados con ese proceso patológico.

### 1.1.1 Estructura porosa

Dos tipos de estructuras porosas en los materiales utilizados en la construcción de fachadas: (Fig. 1)

- *Tubular* o "capilar", con "succión" del agua de lluvia, que facilita la filtración sin necesidad de presión hidrostática, es decir con la simple lámina de agua que resbala por la

fachada (Fig. 2). Se suele medir en g/cm2 x min de agua que penetra en la superficie exterior del material en cuestión (según UNE EN 772-11, en ladrillos)

- *Alveolar*, con capacidad de "absorción" de agua a presión, lo que necesita la presencia de ésta; en las fachadas es importante en las plataformas horizontales de la misma (terrazas, balcones, cornisas, etc.) donde se puede acumular agua con cierta presión. Se suele representar por el "coeficiente de absorción", como porcentaje de agua que es capaz de almacenarse en un determinado volumen de material (medida según UNE EN 771, en ladrillos).

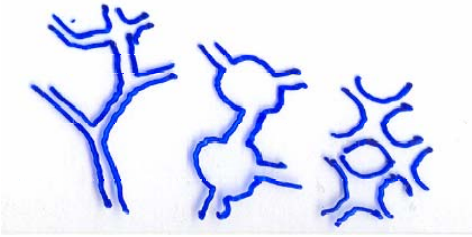


Fig. 1 – Estructuras tubular y alveolar

Fig. 2 – Succión del agua en los poros capilares

### 1.1.2 Humedad de equilibrio

Se llama así a la que se establece entre el material y el medio que lo rodea, gracias a la difusión de vapor a través de la estructura porosa de aquel, con ella se alcanzan las características físico-mecánicas óptimas del material.

Aparecen distintos valores según el tipo de material:

- Entre 2% y 7% en materiales pétreos y cerámicos
- Entre 10% y 16% en materiales leñosos.

### 1.1.3 Interacción lluvia-fachada

Podemos distinguir cuatro fases a lo largo del proceso de contacto del agua de lluvia con el material de fachada, según el tipo de estructura porosa superficial, que posibilitan la filtración de distintas formas: (Fig. 3)

- *Mojado*, o primer contacto entre ambos, con entrada de las primeras gotas en los poros superficiales del material,
- *Saturación*, cuando se colmata la estructura porosa conectada con la superficie y aparece riesgo de filtración efectiva,
- *Lámina lenta*, o primer discurrir de las siguientes gotas de agua, una vez saturados los poros superficiales, llevando más agua a los paños subsiguientes, y
- *Lámina rápida*, cuando la lluvia es abundante una vez alcanzada la saturación, con el riesgo evidente de acumulación de agua en las plataformas horizontales que se encuentre la escorrentía a su paso.

Las dos primeras resultan más lentas cuanto mayor sea la capacidad de succión del material, retrasando el paso a la tercera fase y facilitando la filtración. En materiales muy porosos y períodos de lluvia cortos, son las fases casi únicas y podemos decir que la fachada funciona como "esponja", reteniendo el agua de lluvia cuando llueve y dejándola evaporar cuando deja de llover.

Las dos siguientes fases dependen de la textura, de la "adsorción" superficial y, sobre todo, de la capacidad de succión, además del régimen de lluvias. Las fachadas modernas, con materiales más impermeables (vidrios, chapas metálicas, etc.) alcanzan esas fases con relativa rapi-

dez, por lo que la escorrentía de agua puede ser importante, lo que implica asegurar la estanquidad en encuentros con plataformas horizontales.

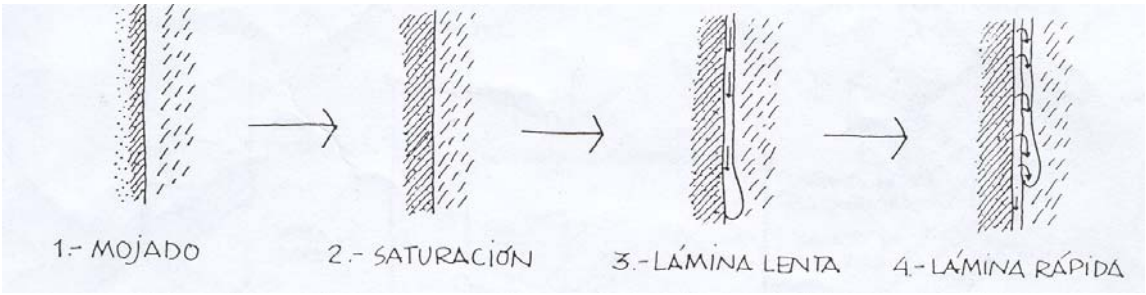



Fig. 3 – Fases de la interacción del agua de lluvia con la fachada

## 1.2 Vías de penetración

También considero interesante recordar cuales son las vías por donde puede filtrarse el agua de lluvia en la fachada, así como las zonas de la misma más afectadas, lo que nos permitirá estimar la posible entrada de agua.

### 1.2.1 Según la vía

- *La estructura porosa* propia de los paños ciegos de la fachada, en función del tipo de poro (capilar o alveolar) así como de su capacidad de succión. Suelen provocar filtraciones generales en las zonas más expuestas de la fachada.
- *Juntas constructivas*, al resultar "abiertas" para la molécula de agua, sobre todo después de las primeras variaciones dimensionales de la fachada, y de carácter capilar, por sus paredes paralelas que facilitan la progresión de la molécula de agua hacia el interior. Cabe distinguir dos tipos de juntas según su disposición geométrica:
  - *en el plano*; a su vez pueden tener disposición vertical u horizontal, siendo las primeras más susceptibles de filtración que las segundas, toda vez que la escorrentía del agua sigue su camino a lo largo de ellas,
  - *en ángulo*, en vertical o en horizontal, con mayor riesgo de filtración las segundas, debido a la posible acumulación de la escorrentía del agua en las plataformas horizontales, y especialmente cuando no está correctamente solapado el plano vertical sobre el horizontal.
- *Juntas de dilatación*, cuando pierden su estanquidad por falta de sellado correcto o por excesivo movimiento que no es acompañado por el sistema de obstrucción.
- *Juntas practicables* de las carpinterías de ventanas, que siempre presentan alguna línea de su perímetro con el solape invertido con escasa protección a la escorrentía del agua de lluvia (normalmente la inferior en ventanas abatibles hacia el interior y en correderas.
- *Roturas* de los paños ciegos de la fachada que actúan de aberturas capilares para el agua de lluvia; cabe distinguir entre:
  - *Grietas*, que permiten la filtración hasta el dorso de la hoja agrietada, filtrándose el agua hasta el interior del espacio habitable o hasta la plancha aislante
  - *Fisuras*, que posibilitan la filtración por la capa de acabado exterior, facilitando su desprendimiento.

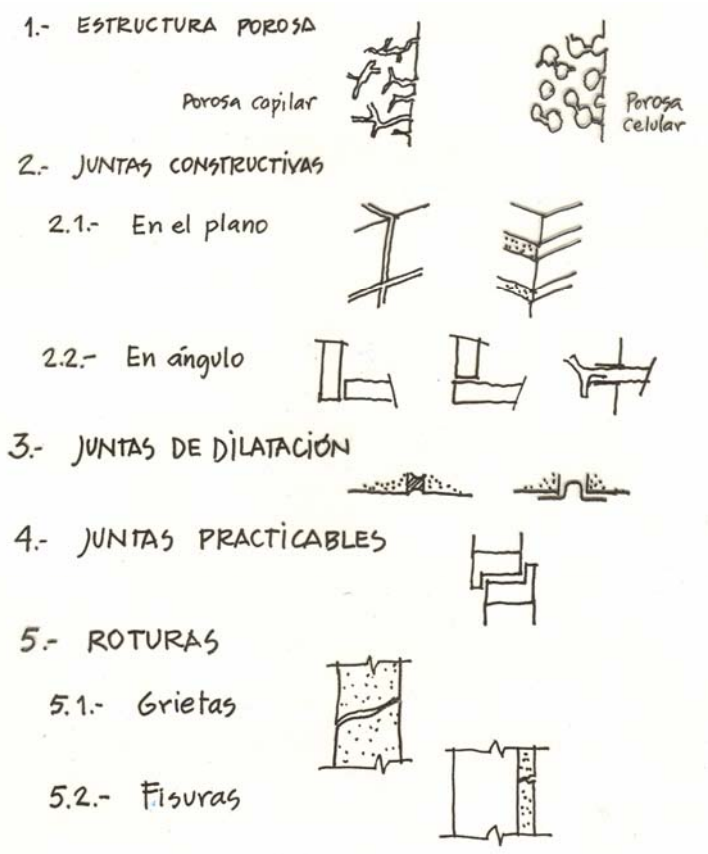



Fig. 4 – Vías de penetración del agua de lluvia en las fachadas

### 1.2.2 Según el nivel de exposición

El nivel de exposición de la fachada condiciona la llegada del agua de lluvia a la misma, tanto en cantidad como en energía cinética (Fig. 5); en consecuencia, el riesgo de filtración será:

- *mayor* en coronaciones y esquinas, especialmente en edificios exentos, y
- *menor* en partes bajas y centrales y, por supuesto, en edificios situados en calles estrechas.

Fig. 5 – Mayor nivel de exposición en coronación y esquinas

# 2 Las indicaciones del CTE

El CTE establece una serie de exigencias y propone una serie de medidas de prevención, para evitar esas humedades.

Aparecen, sobre todo, en el DB HS1, apartado 2.3. Fachadas, especialmente en los siguientes apartados:

- *2.3.1. Grado de impermeabilidad,*
    - Según grado de exposición al viento y zona pluviométrica
- *2.3.2. Condiciones de las soluciones constructivas*
    - Según grado de impermeabilidad y componentes constructivos
- *2.3.3. Condiciones de los puntos singulares*
    - Según situación relativa y diseño constructivo

Veamos los dos primeros. El tercero, por su importancia, lo incluyo en un capítulo específico.

## 2.1 Grado de impermeabilidad

El *grado de impermeabilidad* mínimo exigido a las fachadas frente a la penetración de las precipitaciones se refiere a la capacidad teórica de las mismas para evitar la filtración del agua de lluvia en cinco niveles (1 a 5) y se obtiene en la tabla 2.5 en función de la *zona pluviométrica de promedios* y del *grado de exposición al viento* correspondientes al lugar de ubicación del edificio.

**Tabla 2.5 del CTE**

| | | **Zona pluviométrica de promedios** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V |
| **Grado de exposición al viento** | V1 | **5** | **5** | **4** | **3** | **2** |
| | V2 | **5** | **4** | **3** | **3** | **2** |
| | V3 | **5** | **4** | **3** | **2** | **1** |

## 2.2 Condiciones de las soluciones constructivas

Las condiciones exigidas a cada *solución constructiva* en función del *grado de impermeabilidad* se obtienen en la tabla 2.7. Cada *solución constructiva* se caracteriza por la existencia o no de *revestimiento exterior*, además de por su propia composición constructiva y por las características higroscópicas de sus componentes.

**Tabla 2.7 del CTE**

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="4">Con revestimiento exterior</td><td colspan="4">Sin revestimiento exterior</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Grado de impermeabilidad</td><td>≤1</td><td colspan="4" rowspan="2">R1+C1(1)</td><td colspan="4">C1(1)+J1+N1</td></tr>
<tr><td>≤2</td><td colspan="2">B1+C1+ J1+N1</td><td>C2+H1+ J1+N1</td><td>C2+J2+ N2</td><td>C1(1)+H1 +J2+N2</td></tr>
<tr><td>≤3</td><td>R1+B1+ C1</td><td colspan="3">R1+C2</td><td colspan="2">B2+C1+ J1+N1</td><td>B1+C2+ H1+J1+N1</td><td>B1+C2+ J2+N2</td><td>B1+C1+ H1+J2+N2</td></tr>
<tr><td>≤4</td><td>R1+B2+ C1</td><td>R1+B1+ C2</td><td colspan="2">R2+C1(1)</td><td colspan="2">B2+C2+ H1+J1+N1</td><td>B2+C2+ J2+N2</td><td colspan="2">B2+C1+H1+J2+N2</td></tr>
<tr><td>≤5</td><td>R3+C1</td><td>B3+C1</td><td>R1+B2 +C2</td><td>R2+B1 +C1</td><td colspan="6">B3+C1</td></tr>
</table>

Siendo:

R) Resistencia a la filtración del revestimiento exterior
B) Resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua
C) Composición de la hoja principal
H) Higroscopicidad del material componente de la hoja principal
J) Resistencia a la filtración de las juntas entre las piezas que componen la hoja principal
N) Resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior de la hoja principal

Considero oportuno recordar algunas aclaraciones sobre las diferentes capas y condiciones que da el propio CTE, con comentarios míos:

### 2.2.1 *R*. Resistencia a la filtración del revestimiento exterior

- ***R1.*** *Revestimiento exterior con una* ***resistencia media*** *a la filtración*; puede ser:
  - Revestimiento continuo (mortero) de las siguientes características:
    - espesor entre 10 y 15 mm,
    - correcta adherencia al soporte,
    - permeabilidad suficiente al vapor,
    - adaptación a los movimientos del soporte sin figuración,
    - si se coloca sobre un aislante, compatibilidad química con éste y disposición de una armadura constituida por una malla para refuerzo del acabado.
  - Revestimiento discontinuo rígido pegado (alicatado) de las siguientes características:
    - piezas menores de 300 mm de lado,
    - fijación al soporte suficiente,
    - disposición en la cara exterior de la *hoja principal* de un enfoscado de mortero previo a su pegado (necesidad relativa)
    - adaptación a los movimientos del soporte, con introducción de juntas de dilatación propias.
- ***R2.*** *Revestimiento exterior con una* ***resistencia alta*** *a la filtración*; puede ser:
  - Revestimientos discontinuos rígidos fijados mecánicamente (chapado) de las siguientes características:
    - piezas mayores de 300 mm de lado,
    - fijación al soporte suficiente para garantizar su estabilidad,
    - disposición en la cara exterior de la *hoja principal* de un enfoscado de mortero (necesidad relativa)
    - adaptación a los movimientos del soporte, con introducción de juntas de dilatación propias.
- ***R3.*** *Revestimiento exterior con una* ***resistencia muy alta*** *a la filtración*; pueden ser:
  - Revestimientos discontinuos rígidos fijados mecánicamente de los siguientes tipos:

- *escamas* de pequeñas dimensiones (pizarra, fibrocemento, madera, etc.)
- *lamas*, con una dimensión pequeña y la otra grande (madera, metal, etc.)
- *placas*, de grandes dimensiones (fibrocemento, metal, etc.)
- *elementos derivados,* formados por cualquiera de los elementos discontinuos anteriores y un aislamiento térmico.

En cualquiera de los casos se deberá asegurar el solape suficiente en todas las direcciones para asegurar la estanquidad.

### 2.2.2 *B*. Resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua

- ***B1.*** *Al menos una barrera de* ***resistencia media*** *a la filtración*; que puede ser:
  - Cámara de aire sin ventilar.
  - Aislante no hidrófilo colocado al interior de la hoja principal.
- ***B2.*** *Al menos una barrera de* ***resistencia alta*** *a la filtración*; que puede ser:
  - Cámara de aire sin ventilar y aislante no hidrófilo por el interior de la hoja principal.
  - Aislante no hidrófilo colocado por el exterior de la hoja principal
- ***B3.*** *Al menos una barrera de* ***resistencia muy alta*** *a la filtración*; que puede ser:
  - Cámara de aire sin ventilar y aislante no hidrófilo con:
    - recogida y evacuación del agua filtrada,
    - espesor de la cámara entre 3 y 10 cm,
    - aberturas de ventilación (120 cm2 por cada 10 m2)

### 2.2.3 *C*. Composición de la hoja principal

- ***C1.*** *Al menos una hoja principal de* ***espesor medio***, que puede ser:
  - ½ pie de ladrillo cerámico.
  - 12 cm de bloque cerámico, bloque de hormigón o piedra natural.
- ***C2.*** *Al menos una hoja principal de* ***espesor alto***, que puede ser:
  - 1 pie de ladrillo cerámico.
  - 24 cm de bloque cerámico, bloque de hormigón o piedra natural.

### 2.2.4 *H*. Higroscopicidad de la hoja principal

- ***H1.*** *Material de* ***higroscopicidad baja***, que puede ser:
  - Ladrillo cerámico de absorción ≤ 10%.
  - Piedra natural de absorción ≤ 2%.

Hay que tener en cuenta que la absorción no es determinante en la filtración en fachadas para los paños ciegos. En este sentido, sin embargo, el CTE da una serie de indicaciones para la calidad de los materiales, contenidas en los siguientes apartados:

*4 Productos de construcción*

*4.1. Características exigibles a los productos*

*4.1.2. Componentes de la hoja principal de fachadas*

De ellas cabe destacar:

- Cuando sea de ladrillo cerámico:
  - Los ladrillos deben tener como máximo una *succión* de 0,45 g/cm2 x min
- Cuando sea de **bloque de hormigón**:
  - El valor de *absorción* debe ser como máximo 0,32 g/cm3 (poco relevante)
- Cuando sea resistente y de **bloque de hormigón visto**:

    - El valor medio del (*coeficiente de) succión* debe ser como máximo 5 [g/(m2 min)]0,5
    - El valor individual del coeficiente (¿de la succión?) debe ser como máximo 7 [g/(m2 min)]0,5
- Cuando sea de **ladrillo o de bloque sin revestimiento exterior**:
    - Los ladrillos y los bloques deben ser *caravista*

### 2.2.5 *J*. Resistencia a la filtración de las juntas entre las piezas

- ***J1.*** *Al menos de* ***resistencia media*** *a la filtración*:
    - Juntas de mortero sin interrupción
- ***J2.*** *Al menos de* ***resistencia alta*** *a la filtración*, que pueden ser:
    - Juntas horizontales llagueadas o de pico de flauta.
    - Con un rejuntado de un mortero más rico.

### 2.2.6 *N*. Resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior

- ***N1.*** *Al menos un revestimiento de* ***resistencia media*** *a la filtración*:
    - Enfoscado de mortero con un espesor mínimo de 10 mm.
- ***N2.*** *Al menos un revestimiento de* ***resistencia alta*** *a la filtración*, que pueden ser:
    - Enfoscado de mortero con aditivos hidrofugantes con un espesor mínimo de 15 mm.
    - Material adherido, continuo, sin juntas e impermeable al agua.

# 3 Los puntos conflictivos o singulares

Normalmente las filtraciones se producen por una serie de puntos que podríamos llamar “conflictivos” (“singulares según la terminología del CTE) que suelen aparecer en los encuentros entre distintos planos y elementos de la fachada por un diseño o ejecución deficientes. Veamos los más importantes de ellos, analizando los síntomas, las posibles causas y las medidas de prevención adecuadas para evitar la filtración en ellos.

Los puntos más representativos son:

- ***Paño ciego***, teniendo en cuenta de forma específica,
    - el propio paño,
    - las juntas de dilatación,
    - los acabados exteriores,
    - los encuentros con la estructura.
- ***Arranque de fachada***
- ***Terrazas y balcones***
- ***Huecos de ventana***
- ***Molduras y cornisas***

Para su análisis y, sobre todo, su solución, consideramos los siguientes criterios básicos:

- La *estanquidad* de los materiales y el conjunto
- La *capacidad de succión* de los mismos
- La *absorción* de los planos horizontales
- El *solape* de los encuentros entre elementos

- La *inclinación* de los planos horizontales salientes
- El *goterón* en el borde exterior de dichos planos

## 3.1 Paño ciego

Analicemos por separado las distintas opciones.

### 3.1.1 *Muro de fábrica vista*

Especialmente ladrillo visto.

#### 3.1.1.1 Síntomas de filtración

Manchas generalizadas de humedad, sobre todo en los más expuestos a los vientos dominantes, pudiendo traspasar al interior, además de posibles eflorescencias cuando existen sales solubles en ladrillo o mortero (Fig. 6)

Fig. 6 – Filtración en paño de ladrillo visto, con posibles eflorescencias

#### 3.1.1.2 Posibles causas:

- Llagas sin mortero o rehundidas en fachadas de ladrillo visto.
- Capacidad de succión excesiva del ladrillo o del conjunto.
- Grietas, cuando aparecen.

#### 3.1.1.3 Medidas de prevención de filtraciones en el diseño y ejecución de fábricas vistas:

A la vista de las causas posibles y teniendo en cuenta las recomendaciones del CTE, así como la experiencia, las siguientes medidas serán necesarias: (Fig. 7)

- Limitar la **succión** del ladrillo;
  - <0,45 gr/cm2.min) en clima seco,
  - <0,20 gr/cm2.min) en clima húmedo.
- Evitar **aplicación directa de espuma de poliuretano** sobre la cara interior de la hoja exterior de medio pié de ladrillo visto.
- Exigir **enfoscado interior** cuando la hoja exterior es de 1/2 pié de ladrillo visto, según detalle.

- Resolver el **paso de la hoja** de medio pié por delante de la estructura sin reducción de su espesor.

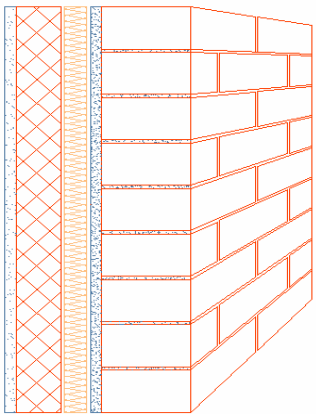


Fig. 7 – Paño de ladrillo visto con enfoscado interior

- Solución adecuada de **uniones**, con las siguientes opciones: (Fig. 8)
  - tendeles enrasados,
  - tendeles en pico de flauta,
  - canaleta por tabla en tendeles a hueso,
  - canaleta por canto en llagas a hueso.

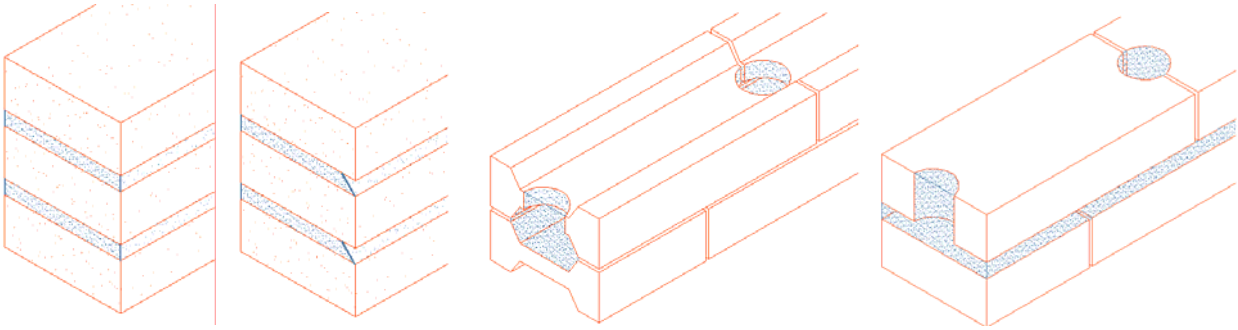


Fig. 8 – Soluciones adecuadas de uniones en paños de ladrillo visto en tendeles y llagas

- Introducir **juntas de dilatación** propias, teniendo en cuenta:
  - según CTE:

Tabla 2.8. Distancia entre juntas de dilatación

| **Material componente de los elementos de la fábrica** | **Distancia máxima entre juntas verticales de dilatación de la hoja principal en m** |
|---|---|
| Arcilla cocida | 12 |
| Silicocalcáreos | 8 |
| Hormigón | 6 |
| Hormigón celular curado en autoclave | 6 |
| Piedra natural | 12 |

  - consideraciones adicionales: (Fig. 9)
    - asegurar sellado, sobre todo en medianeras,
    - tener en cuenta alternativas con protección exterior solapada,
    - incluir siempre el remate superior de la junta en coronación y albardillas.

Fig. 9 – Juntas de dilatación con protección exterior y remate superior

### 3.1.2 *Muro de fábrica con revestimiento continuo*

Con cualquiera de los tipos de revestimiento habituales, a saber,

- enfoscado y pintura,
- enfoscado y revoco,
- monocapa.

#### 3.1.2.1 Síntomas de filtración

Manchas generalizadas de humedad, sobre todo en los más expuestos a los vientos dominantes, pudiendo traspasar al interior, además de posibles desprendimientos de los acabados. (Fig. 10)

#### 3.1.2.2 Posibles causas:

- Enfoscado o revoco inadecuados, con succión elevada.
- Grietas y fisuras, cuando aparecen.

Fig. 10 – Filtración en paño con revestimiento continuo y expresión de fisuras en revoco

### 3.1.2.3 Medidas de prevención de filtraciones en el diseño y ejecución de revestimientos continuos:

A la vista de las causas posibles y teniendo en cuenta las recomendaciones del CTE, así como la experiencia, las siguientes medidas serán necesarias:

- Limitar la **succión** del mortero de revestimiento;
  - <0,45 gr/cm2.min) en clima seco,
  - <0,20 gr/cm2.min) en clima húmedo.
- Limitar el **módulo de elasticidad** de los morteros de revestimiento para evitar su fisuración;
  - <6.000 MPa en clima suave,
  - <4.000 MPa en clima extremo.
- Introducir **juntas de retracción** propias;
  - cada 3 m en ambas direcciones en clima suave,
  - cada 2 m en ambas direcciones en clima extremo.
- Exigir el uso de morteros y pinturas **permeables al vapor de agua**.
- Reducir el coeficiente de succión por aplicación de hidrofugantes, si se considera necesario.
- Ensayar la capacidad de succión del conjunto, bien en fachada mediante UNE-ENV 13050, bien “in situ” mediante UNE-EN 13051 antes de poner en uso el edificio. (Fig. 11)

Fig. 11 Ensayo de filtración general

Fig. 12 – Juntas de dilatación en alicatado

### 3.1.2.4 Medidas de prevención en el diseño y ejecución de aplacado exterior:

Cuando existan acabados por elementos, se deben considerar las siguientes medidas específicas, además de las generales del punto anterior:

- En alicatados, incorporar juntas de dilatación; (Fig 12)
  - cada 3 m en clima suave
  - cada 2 m en clima extremo
- En chapados de piedra macizos, incorporar juntas de dilatación:
  - cada 3 m en clima suave
  - cada 2 m en clima extremo

- Utilizar soluciones de fachada ventilada, con cualquiera de sus variantes (piedra, cerámica, fibrocemento, metálica, etc.)

### 3.1.2.5 Medidas de prevención en el encuentro con la estructura:

Recojo aquí las medidas establecidas por el CTE que considero más adecuadas, con algunos comentarios propios:

- *Encuentros de la fachada con los forjados* (apartado 2.3.3.3 del CTE) (Fig. 13)
  - Cuando la hoja principal esté interrumpida por los forjados y haya *revestimiento exterior continuo*, dos soluciones:
    - junta de desolidarización entre la hoja principal y cada forjado, por debajo de éstos (2 cm) sellada y con goterón,
    - refuerzo del revestimiento exterior con armaduras dispuestas a lo largo del forjado de tal forma que sobrepasen el elemento hasta 15 cm por encima del forjado y 15 cm por debajo de la primera hilada de la fábrica (***esta solución me parece poco apropiada ya que dicho refuerzo no evita el movimiento elástico de la estructura, que va a provocar fisuras en el revestimiento. Por el contrario, entiendo que las soluciones correctas son, bien el marcado de la junta constructiva coincidiendo con la cara inferior o las dos del forjado, con el sellado consiguiente, bien el paso de la hoja por el exterior del forjado, sin reducir su espesor, y con los apoyos o anclajes necesarios***).
  - Cuando el paramento exterior de la hoja principal sobresalga del borde del forjado, el vuelo debe ser menor que 1/3 del espesor de dicha hoja.
  - Cuando el forjado sobresalga del plano exterior de la fachada debe tener una pendiente hacia el exterior para evacuar el agua, de 10º como mínimo, y debe disponerse un goterón en el borde del mismo.

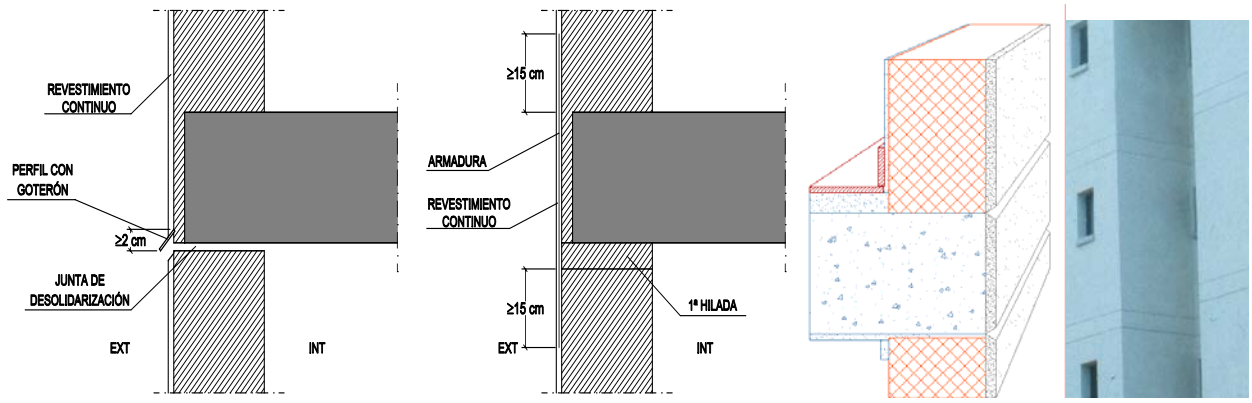



Fig. 13 – Encuentro con forjados; propuesta del CTE y propuesta complementaria

- *Encuentros de la fachada con los pilares* (apartado 2.3.3.4 del CTE) (Fig. 14)
  - Cuando la hoja principal esté interrumpida por los pilares, y haya ***revestimiento continuo***, debe reforzarse con **armaduras a lo largo del pilar** de tal forma que lo sobrepasen 15 cm por ambos lados (***esta solución me parece inútil, ya que dicho refuerzo no evita el movimiento elástico de la estructura, que va a provocar fisuras en el revestimiento. Por el contrario, entiendo que la única solución correcta es el marcado de la junta constructiva en ambos lados del pilar, con el sellado consiguiente***).
  - Cuando la hoja principal esté interrumpida por los pilares, si se colocan piezas de menor espesor que la *hoja principal* por el exterior, para conseguir la estabilidad de estas piezas, debe disponerse una armadura (***esta solución me parece poco apropiada ya que dicho refuerzo no evita el movimiento elástico de la estructura, que va a provocar fisuras en el revestimiento. Por el contrario, en-***

***tiendo que las soluciones correctas son, bien el marcado de la junta constructiva en uno o los dos lados del pilar, con el sellado consiguiente, bien el paso de la hoja por el exterior del pilar, sin reducir su espesor, y con los anclajes necesarios***).

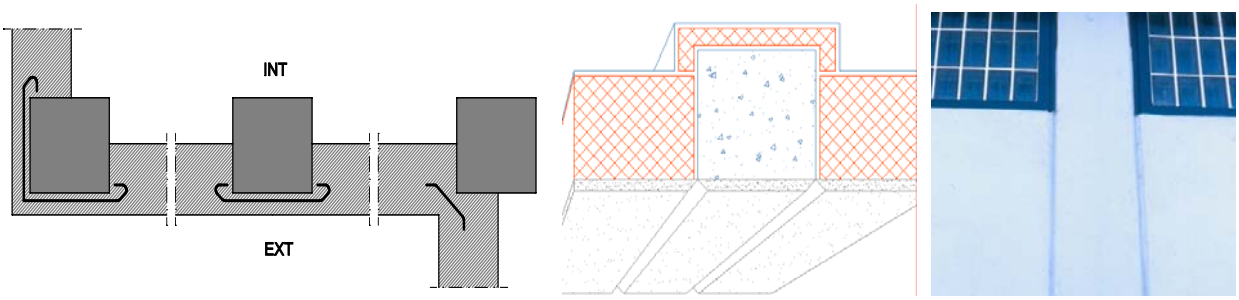



Fig. 14 – Encuentro con pilares; propuesta del CTE y propuesta alternativa

- *Encuentros de la cámara de aire ventilada con los forjados y los dinteles* (apartado 2.3.3.5 del CTE) (Fig. 15)
  - Cuando la cámara quede interrumpida, debe disponerse un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada o condensada en la misma, mediante un elemento continuo impermeable (lámina, perfil especial, etc.) a lo largo del fondo de la cámara, con inclinación hacia el exterior, borde superior a 10 cm del fondo y al menos 3 cm por encima del punto más alto.
  - Para la evacuación debe disponerse uno de los sistemas siguientes:
    - conjunto de tubos de material estanco, separados 1,5 m como máximo,
    - conjunto de llagas de la primera hilada sin mortero, separadas 1,5 m como máximo.

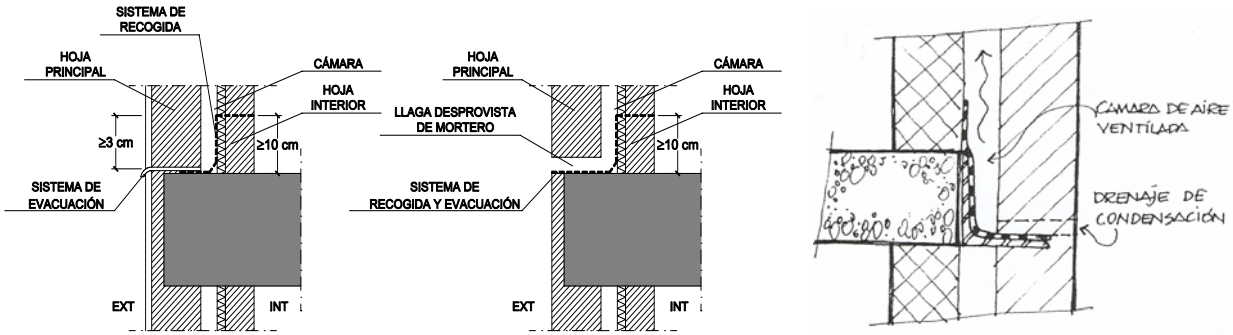



Fig. 15 – Encuentro con cámara de aire ventilada; propuesta del CTE y propuesta alternativa

## 3.2 Arranque de fachada

Me refiero especialmente al encuentro entre fachada y acera, donde se establece una junta constructiva horizontal en ángulo, normalmente conflictiva, en lo que podemos llamar el zócalo de la fachada.

### 3.2.1 *Zócalos exteriores* (Fig. 16)

#### 3.2.1.1 Síntomas de filtración

- Humedades ascendentes a partir de la acera.
- Posibles desprendimientos.

- Posibles eflorescencias.

### 3.2.1.2 Posibles causas

- Humedades de capilaridad provenientes del terreno.
- Humedades de “microcapilaridad” por filtración desde la acera.
- Salpicadura de la lluvia desde la acera, con erosión complementaria.

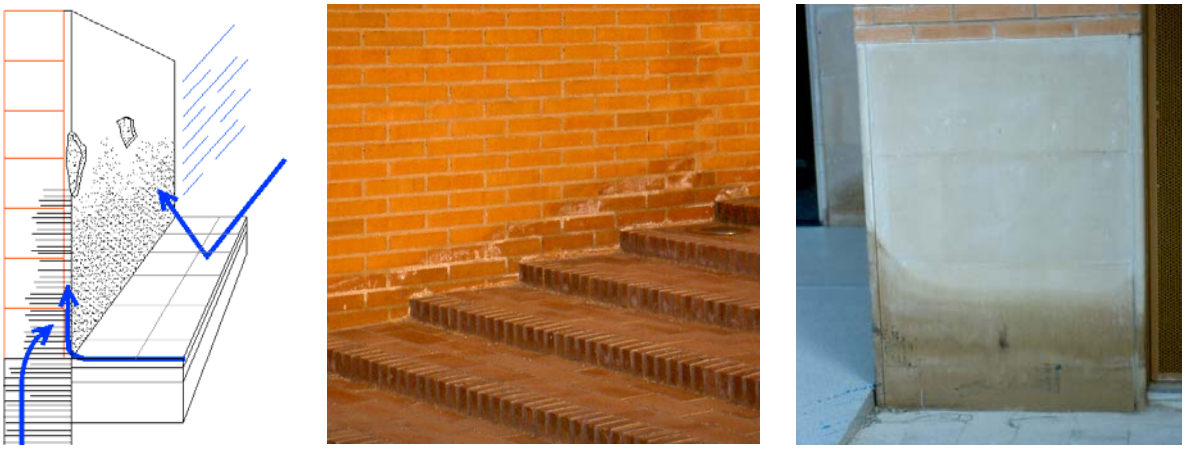


Fig. 16 – Humedades en zócalo de arranque de fachada

### 3.2.1.3 Medidas de prevención de filtraciones en zócalos

Teniendo en cuenta lo anterior, así como las recomendaciones del CTE y la experiencia, las siguientes medidas serán necesarias:

- Según CTE (*2.3.3.2 - Arranque de la fachada desde la cimentación*) (Fig. 17);
  - disponer una barrera impermeable que cubra todo el espesor de la fachada a más de 15 cm por encima del nivel del suelo exterior,
  - cuando la fachada tenga material poroso, para protegerla de las salpicaduras debe disponerse un zócalo de un material cuyo coeficiente de succión sea menor que el 3% (***debe tratarse del coeficiente de absorción; como alternativa, se puede limitar la succión a 0,15 gr/cm2 x min***) de más de 30 cm de altura sobre el nivel del suelo exterior, que cubra el impermeabilizante del muro o la barrera impermeable dispuesta entre el muro y la fachada, y sellar la unión con la fachada en su parte superior.

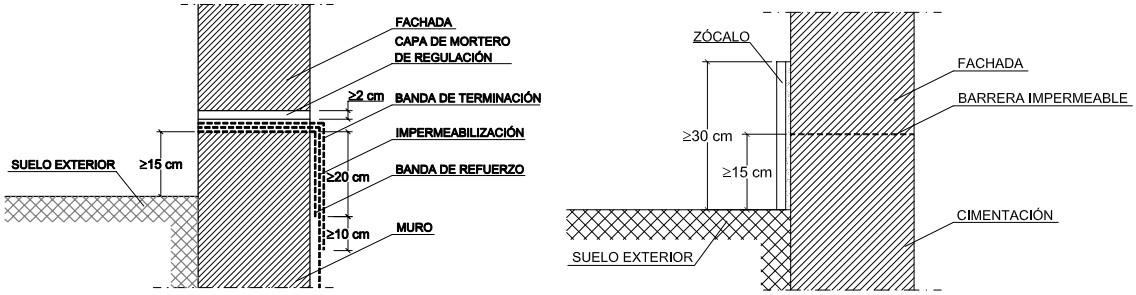



Fig. 17 – Prevención de filtración en zócalo se fachada. Propuesta del CTE

- Generales en el diseño constructivo (Fig. 18);
  - evitar el uso de morteros y pinturas hasta la acera ,
  - incorporar zócalo, si es posible, según detalle, con:
    - membrana impermeable en el trasdós de zócalo,
    - solape del acabado de fachada sobre la parte superior,

- solape de acabado de paño vertical sobre acera, con sellado.
- especificar material resistente a la abrasión del agua y con coeficiente de absorción inferior al 3% y succión inferior a 0,15 gr/cm2 x min,
- uso de piezas especiales que evitan la junta en el diedro.

Fig. 18 - Prevención de filtración en zócalo se fachada; consideraciones generales

## 3.3 Terrazas y balcones

Se trata de elementos básicamente salientes del plano de la fachada, con plataformas horizontales muy vulnerables a la filtración. Por lo que requieren un estudio específico, sobre todo los suelos y los petos de cerramiento.

### 3.3.1 *Suelos y petos* (Fig. 19)

#### 3.3.1.1 Síntomas de filtración

- Humedades en frentes de petos y techos de terrazas y balcones
- Posibles desprendimientos y eflorescencias

#### 3.3.1.2 Posibles causas

- Mal sistema de drenaje (gárgolas pequeñas) que provoca embalse.
- Filtración al piso inferior, por ausencia de impermeabilizante, o fisuración del pavimento.
- “Microcapilaridad” en fachada y petos (similar al zócalo de arranque).
- Filtración al interior del local por umbral de balconera, por falta de solape y sellado.
- Filtración por anclajes de barandillas.

Fig. 19 – Filtración en terrazas y balcones

### 3.3.1.3 Medidas de prevención en el diseño constructivo

Teniendo en cuenta lo anterior, así como la experiencia y las recomendaciones del CTE, las siguientes medidas serán necesarias:

- Diseñar el perímetro, con las siguientes condiciones, según detalle: (Fig. 20)
  - si hay peto, incorporar rodapié en todo el perímetro, con solape y sellado,
  - si no hay peto sino barandilla de cerrajería, rodapié en fachada, id. Anterior.
- En cuanto al *drenaje*, diseñar sumidero con cazoleta sifónica, para conducir a bajante o a gárgola.
- No utilizar gárgolas tangentes al pavimento.

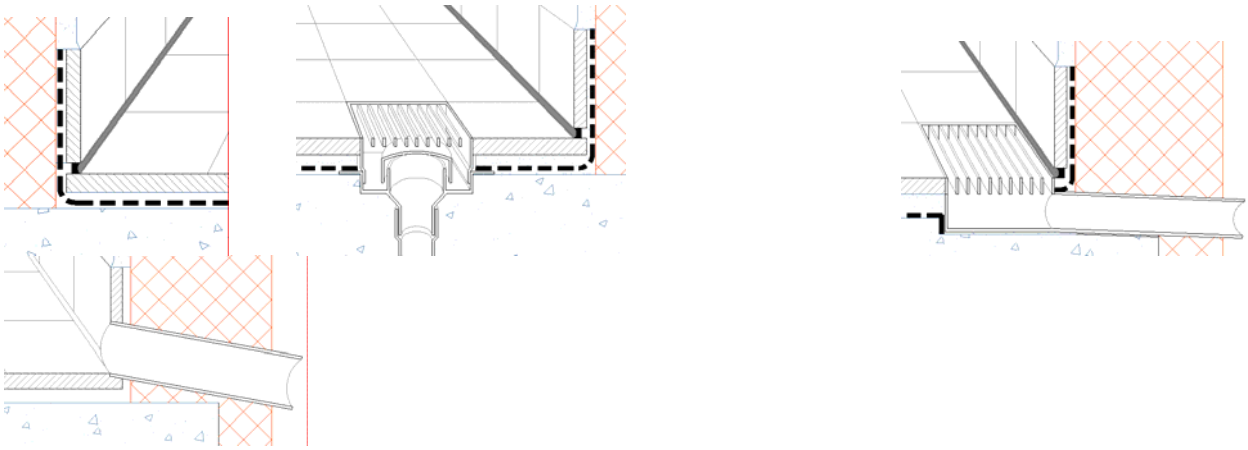


Fig. 20 – Condiciones de perímetro y sistema de drenaje

- Diseñar *solado* con las siguientes condiciones, según detalle: (Fig. 21)
  - incorporar capa impermeable bajo el pavimento y, preferentemente, mortero de agarre hidrófugo,
  - especificar material con coeficiente de absorción inferior al 3%,
  - introducir juntas de retracción:
    - cada 3 m en clima suave,
    - cada 2 m en clima extremo,
  - si borde exterior libre, pieza especial con junta de independencia sellada y goterón.

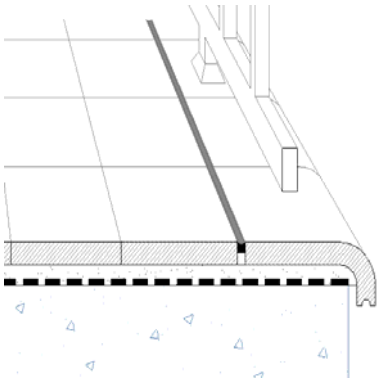


Fig. 21 – Condiciones constructivas de borde libre

Fig. 22 – Sujeción de barandillas

- Sujeción de barandillas según CTE (*2.3.3.8 - Anclajes a la fachada*) (Fig. 22)
  - Cuando los anclajes de elementos tales como barandillas o mástiles se realicen en un plano horizontal de la fachada, la junta entre el anclaje y la fachada debe realizarse de tal forma que se impida la entrada de agua a través de ella mediante el sellado, un elemento de goma, una pieza metálica u otro elemento que produzca el mismo efecto.

## 3.4 Huecos de ventana

Su presencia suele suponer irregularidades en la geometría de la fachada con aparición de numerosos diedros que varían la escorrentía del agua, así como juntas constructivas susceptibles de filtraciones. Los problemas se detectan pues en la embocadura del hueco y su encuentro con la carpintería.

### 3.4.1 *Vierteaguas, jambas y dinteles*

#### 3.4.1.1 Síntomas de filtración

- Humedades, sobre todo en la parte inferior, tanto por el interior como por el exterior.
- Posibles desprendimientos y eflorescencias en la embocadura.
- Lavado diferencial en laterales a partir del vierteaguas.

#### 3.4.1.2 Posibles causas (Fig. 23)

- Filtración por vierteaguas por:
  - poca inclinación,
  - material poroso,
  - falta de goterón.
- Falta de solape y sellado en el encuentro de vierteaguas con carpintería y jambas.
- Acumulación de la escorrentía en los bordes del vierteaguas por falta de inclinación.
- Juntas practicables, con posibilidad de paso el agua por:
  - Correderas,
  - perforaciones de drenaje insuficientes en la cámara de descompresión,
  - falta de goterón sobre junta horizontal inferior con solape invertido,
  - ingletes de cámaras de descompresión sin sellar.

Fig. 23 – Filtración en vierteaguas de ventana

### 3.4.1.3 Medidas de prevención en el diseño constructivo

Teniendo en cuenta lo anterior, así como las recomendaciones del CTE y la experiencia, las siguientes medidas son recomendables:

- Según CTE (*2.3.3.6 - Encuentro de la fachada con la carpintería*) (Fig 24);
  - Cuando el *grado de impermeabilidad* exigido sea igual a 5, si la carpintería está retranqueada respecto del paramento exterior, debe disponerse precerco y colocarse una barrera impermeable en las jambas entre la *hoja principal* y el precerco, prolongada 10 cm hacia el interior del muro.
  - Debe sellarse la junta entre el cerco y el muro con un cordón que debe estar introducido en un llagueado practicado en el muro que quede encajado entre dos bordes paralelos.
  - Cuando la carpintería esté retranqueada respecto del paramento exterior, alféizar con vierteaguas, y goterón en el dintel para evitar que el agua de lluvia discurra hacia la carpintería.
  - El vierteaguas debe:
    - tener pendiente hacia el exterior de 10º como mínimo,
    - ser impermeable, o disponer una barrera impermeable que se prolongue por la parte trasera y por ambos lados del vierteaguas, con una pendiente de 10º como mínimo,
    - disponer de un goterón, separado al menos 2 cm, y entrega lateral en la jamba de 2 cm.

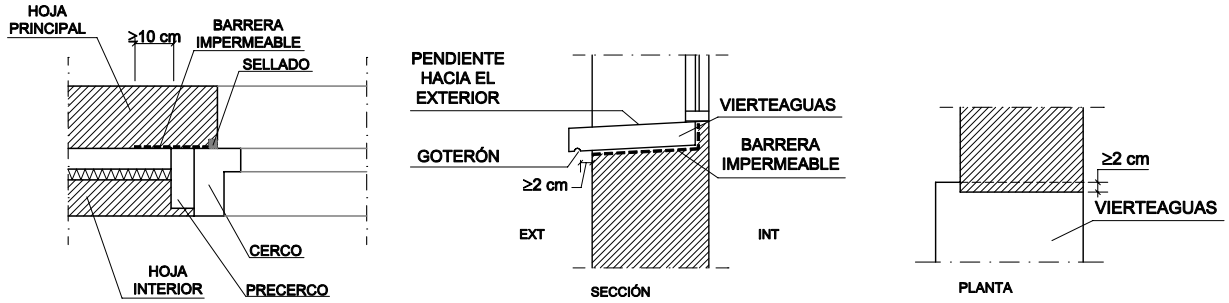



Fig. 24 – Propuestas CTE para hueco de ventana

- Medidas adicionales de prevención (Fig. 25)
  - Diseñar vierteaguas, según detalle, con:
    - gran inclinación,
    - posibilidad de levantar la unión con jambas para evitar junta constructiva en el diedro,
    - solape adecuado con peana de carpintería,

- material impermeable o con coeficiente de absorción inferior al 2%.

- Condicionar la junta practicable de la carpintería, según detalle, con:
  - doble tope, incluso en correderas,
  - evitar correderas en orientaciones sometidas a vientos dominantes,
  - goterón protector en junta horizontal inferior,
  - buen drenaje en cámaras de descompresión,
  - sellado de ingletes laterales en cámara de descompresión con carpintería de aluminio.

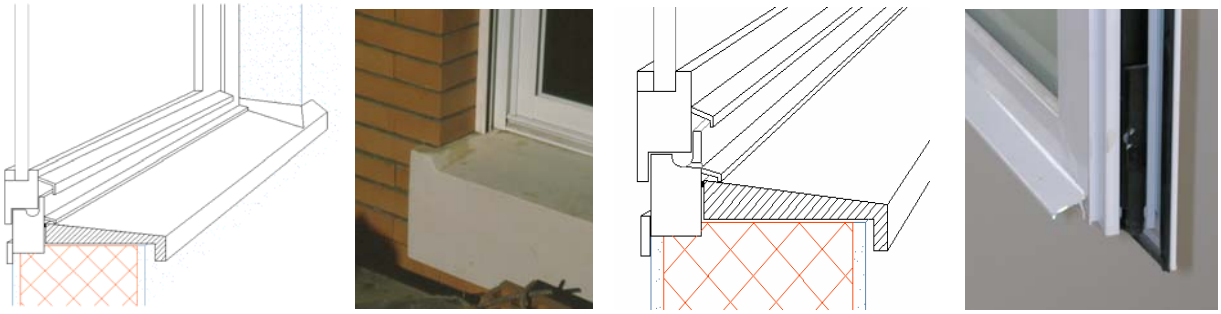


Fig. 25 – Medidas preventivas adicionales para huecos de ventana

## 3.5 Molduras y cornisas

Suponen también un cambio puntual en la geometría de la fachada que disturba la escorrentía del agua que, junto con las juntas constructivas entere los distintos materiales constitutivos, puede provocar filtraciones. El problema aparece, tanto en las coronaciones (antepechos, molduras y albardillas) como en molduras intermedias (horizontales y verticales).

### 3.5.1 *Molduras, petos y cornisas* (Fig. 26)

#### 3.5.1.1 Síntomas de filtración

- Manchas en la parte superior.
- Filtración en el paño ciego inferior.
- Posibles desprendimientos y eflorescencias.

#### 3.5.1.2 Posibles causas

- Material permeable en la cara superior de la moldura o albardilla.
- Material capilar en paño vertical sobre moldura saliente.
- Junta horizontal en diedro sin sellar.
- Fisuras provocadas por retracción, sobre todo en planos horizontales de albardillas y molduras.
- Falta de goterón en bordes.

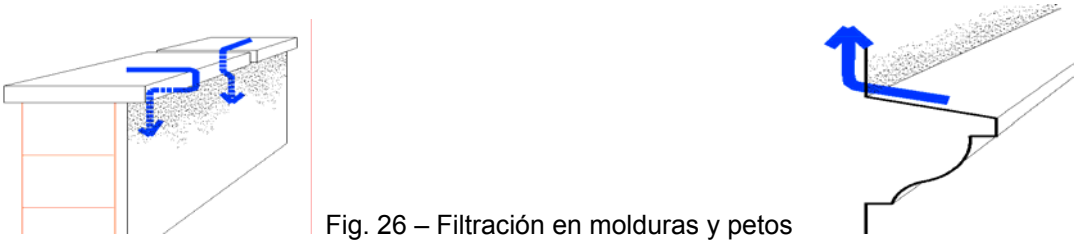


Fig. 26 – Filtración en molduras y petos

### 3.5.1.3 Medidas de prevención en el diseño constructivo

Teniendo en cuenta lo anterior, recojo las recomendaciones del CTE junto con comentarios adicionales debidos a la experiencia:

- Según CTE (*2.3.3.7 - Antepechos y remates superiores de las fachadas*) (Fig. 27)
  - Los antepechos deben rematarse con **albardillas** que deben:
    - tener una inclinación de 10º como mínimo (***la máxima posible***)
    - disponer de goterones en los salientes, separados al menos 2 cm,
    - ser impermeables o disponerse sobre una barrera impermeable (***esto último no me parece recomendable, ya que independiza excesivamente la albardilla del peto, quedando muy suelta y vulnerable ante variaciones dimensionales con posibles desprendimientos***)
      - (Material impermeable o con coeficiente de absorción inferior al 2% en dicho plano)

Fig. 27 – Medidas preventivas para albardillas

- Según CTE (*2.3.3.9 - Aleros y cornisas*) (Fig. 28)
  - Los continuos deben tener una pendiente hacia el exterior de10º como mínimo (***la máxima posible***) y los que sobresalgan más de 20 cm del plano de la fachada deben:
    - ser impermeables o tener la cara superior protegida por una barrera impermeable (***o coeficiente de absorción inferior a 2%***)
    - disponer en el encuentro con el paramento vertical de elementos de protección prefabricados o realizados in situ que se extiendan hacia arriba al menos 15 cm (***5 cm lo considero suficiente***)
    - disponer de un goterón en el borde exterior de la cara inferior.
- Consideraciones adicionales:
  - En las albardillas de antepechos deben disponerse juntas de dilatación cada dos piezas cuando sean de piedra o prefabricadas, y cada 2 m cuando sean cerámicas, con un sellado adecuado.
  - La junta de las piezas con goterón deben tener la forma del mismo para no crear a través de ella un puente hacia la fachada.
  - El encuentro del plano horizontal de las molduras con el plano vertical superior de la fachada debe resolverse de tal forma que la junta constructiva no se localice en el propio diedro, sino unos 5 cm por encima, según detalle.

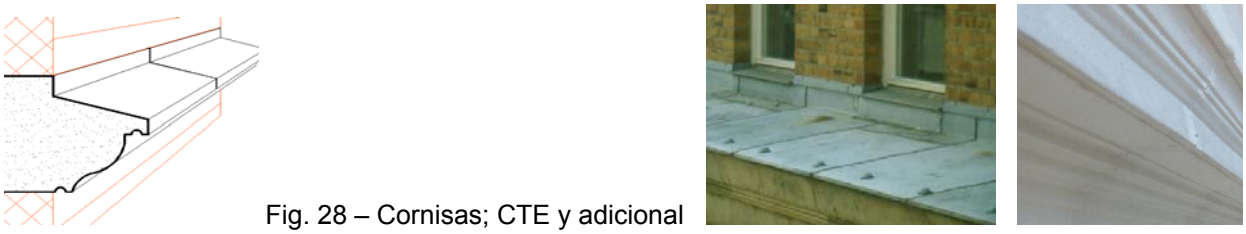


Fig. 28 – Cornisas; CTE y adicional

## Pies de figuras

Fig. 1 - Estructuras tubular y alveolar
Fig. 2 - Succión del agua en los poros capilares
Fig. 3 - Fases de la interacción del agua de lluvia con la fachada
Fig. 4 - Vías de penetración del agua de lluvia en las fachadas
Fig. 5 - Mayor nivel de exposición en coronación y esquinas
Fig. 6 - Filtración en paño de ladrillo visto, con posibles eflorescencias
Fig. 7 - Paño de ladrillo visto con enfoscado interior
Fig. 8 - Soluciones adecuadas de uniones en paños de ladrillo visto en tendeles y llagas
Fig. 9 - Juntas de dilatación con protección exterior y remate superior
Fig. 10 - Filtración en paño con revestimiento continuo y expresión de fisuras en revoco
Fig. 11 - Ensayo de filtración general
Fig. 12 - Juntas de dilatación en alicatado
Fig. 13 - Encuentro con forjados; propuesta del CTE y propuesta complementaria
Fig. 14 - Encuentro con pilares; propuesta del CTE y propuesta alternativa
Fig. 15 - Encuentro con cámara de aire ventilada; propuesta del CTE y propuesta alternativa
Fig. 16 - Humedades en zócalo de arranque de fachada
Fig. 17 - Prevención de filtración en zócalo se fachada. Propuesta del CTE
Fig. 18 - Prevención de filtración en zócalo se fachada; consideraciones generales
Fig. 19 - Filtración en terrazas y balcones
Fig. 20 - Condiciones de perímetro y sistema de drenaje
Fig. 21 - Condiciones constructivas de borde libre
Fig. 22 - Sujeción de barandillas
Fig. 23 - Filtración en vierteaguas de ventana
Fig. 24 - Propuestas CTE para hueco de ventana
Fig. 25 - Medidas preventivas adicionales para huecos de ventana
Fig. 26 - Filtración en molduras y petos
Fig. 27 - Medidas preventivas para albardillas
Fig. 28 - Cornisas; CTE y adicional

## Bibliografía

Código Técnico de la Edificación (CTE)
Ministerio de Vivienda

Patología y cerramientos de acabados arquitectónicos
Juan Monjo Carrió
Ed. Munilla-Lería

Tratado de Rehabilitación, tomo IV
AAVV
Ed. Munilla-Lería

El detalle constructivo en arquitectura
J. Monjo Carrió, J. Lacambra Montero
Ed. Munilla-Lería

# Sistemas de ahorro de agua en edificios

Gonzalo López Patiño, Rafael Pérez García, Fco. Javier Martínez Solano

Centro Multidisciplinar de Modelación de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia

## 1. Introducción

Es una evidencia que en España se vive una situación de sequía que se ha prolongado durante varios años. La falta de recursos se ha intentado mitigar por dos vías. La primera es el aumento de la oferta (trasvases, desalación,…) lo que supone un aumento del coste para el usuario para sufragar la amortización de las inversiones. La segunda es la reducción del consumo, el ahorro de agua. Los defensores de esta línea aluden frecuentemente a la conciencia medioambiental, al desarrollo sostenible, a aspectos ecológicos. Y además, surge efecto su mensaje por cuanto, hoy en día, hablar de ahorro "vende".

El planteamiento que se va desarrollar en este texto es algo distinto. Se va a considerar el ahorro de agua en las edificaciones como algo rentable desde el punto de vista económico. Es evidente que con ello se consigue mejorar el medioambiente, un desarrollo sostenible, etc., pero no es éste el objetivo.

La visión económica de la situación implica que se van a aplicar criterios de eficiencia y optimización en la selección de sistemas y equipos que formarán parte de los sistemas de ahorro. Incluso habrá casos en que se desechen soluciones por no ser económicamente rentables. O por lo menos no en el momento actual. Como sucedió con la crisis energética, el aumento de precios de los recursos conllevará en futuro a una rentabilidad de soluciones que actualmente no lo son.

En esencia, el planteamiento que se va a seguir es introducir la optimización en las instalaciones de suministro de agua potable en los edificios por medio de la implantación de sistemas de ahorro, es lo que se ha dado en llamar "HIDROEFICIENCIA".

## 2. Sistemas de hidroeficiencia. Dispositivos de bajo consumo

De entre los diferentes sistemas de hidroeficiencia que existen, los primeros que se van a presentar son la griferías y dispositivos de bajo consumo, que proporcionan un menor caudal sin renunciar al confort del usuario. Estos son:

- Aireadores/perlizadores
- Descargadores de cisternas de pequeño volumen
- Reductores de caudal en duchas
- Griferías automáticas
- Grifos de doble apertura

## 2.1. Aireadores/perlizadores

### 2.1.1. Funcionamiento

Mezclan, por efecto Venturi, agua con aire justo en la salida del grifo dando “sensación” de chorro de gran caudal pero reduciendo el consumo de agua

### 2.1.2. Selección del aireador

No es frecuente plantearse que los aireadores se seleccionan. Sin embargo, existen aireadores más económicos que reducen menos el consumo, y existen modelos más caros pero con mejor rendimiento hidráulico. Así, es posible seleccionar el más adecuado para cada instalación atendiendo al volumen demandado desde el sanitario en el que se va a implantar. Consumos mayores rentabilizarán aireadores más eficientes. Consumos pequeños no lo harán.

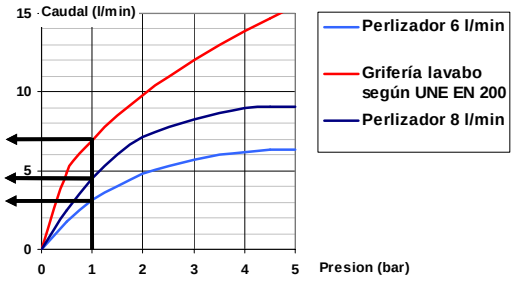



**Figura 1. Consumos de diferentes modelos de aireador.**

## 2.2. Descargadores de cisternas de pequeño volumen

on ‘grifos’ de descarga de inodoro que permiten adaptar el volumen de descarga a las necesidades de limpieza que se requieren. Así por ejemplo si existe necesidad de arrastrar líquidos se producirá una descarga de volumen parcial. Cuando es necesario el arrastre de sólidos se produce una descarga de gran volumen

Existen dos configuraciones:

- Descarga interrumpible: Con la primera pulsación se inicia la descarga. Al volver a pulsar se interrumpe.
  - Ventajas: Permite ajustar la descarga a la función de limpieza y evitar dobles descargas
  - Desventajas: Difícilmente identificable como sistemas de hidroeficiencia
- Doble pulsador. Dispone de un pulsador para evacuar líquidos y otro para sólidos.
  - Ventajas: Fácilmente identificable
  - Desventajas: Si está mal regulado genera dobles descargas

Generalmente los modelos que existen hoy en día en el mercado permiten regular el volumen de descarga pero, de no ser así, hay que seleccionar el modelo cuyo volumen de descarga total se corresponda con el diseño del sanitario, y a la instalación (distancia inodoro a bajante)

Un sanitario estándar requiere volúmenes de descarga de 9 litros. Sin embargo, hay modelos de sanitario que necesitan sólo 4 litros de descarga. El grifo debe estar ajustado a dichos volúmenes.

La elección de un sanitario que por su diseño sólo requiera de descargas totales de pequeño volumen también es una forma de mejorar la gestión de la demanda.

## 2.3. Reductores de caudal en duchas

Son griferías y alcachofas que reducen el caudal entregado en la ducha. Para ello están especialmente diseñadas de forma que no se pierda la sensación de confort.

Incorporan dispositivos reguladores para mantener el caudal constante independientemente de la presión.

Al igual que los aireadores, existen modelos más económicos pero con menor rendimiento (reducen menos el caudal) o hay modelos más caros con mejor eficiencia. Es por ello, que es posible seleccionar el más adecuado para la aplicación.

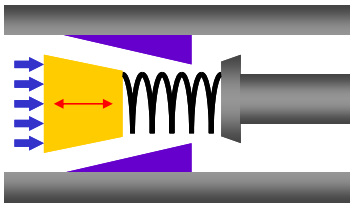


**Figura 2. Reductor caudal en ducha**

## 2.4. Griferías automáticas

Son griferías de accionamiento automático, bien en el cierre, o en la apertura más cierre.

Su principal campo de aplicación es en edificios con usuarios ocasionales no vinculados a los costes del manutención del edificio (es decir que el usuario no es quien paga la factura del agua y por tanto no tiene la preocupación de cerrar el grifo adecuadamente):

- Edificios administrativos y de pública concurrencia
- Oficinas
- Hoteles, residencias,…

Existen varias configuraciones dependiendo del sistema de control utilizado, tanto en el cierre como en la apertura:

- Griferías temporizadas. Son de apertura manual. Transcurrido un cierto tiempo, la grifería cierra automáticamente. Pueden ser
  - Mecánicas. De cierre por resorte mecánico que se va recuperando con el tiempo.
  - Electrónicas. De cierre mecánico pero con un control de tiempo de cierre electrónico
- Griferías por infrarrojos. La apertura y el cierre se controlan por un haz de infrarrojos.
  - Individuales
  - Sistemas colectivos. Son sistemas que accionan varias griferías a la vez. Son frecuentes para la automatización de urinarios.

## 2.5. Griferías de doble accionamiento

En griferías monomando, el carrete cerámico dispone de un sistema para ofrecer una resistencia a la apertura para un recorrido del grifo del 50% del grifo. Así se consigue que, al accionar instintivamente el grifo éste no entregue todo su caudal.

## 3. Sistemas de hidroeficiencia. Sistemas de reutilización de aguas residuales

La función de un sistema de reutilización de aguas residuales es aprovechar las aguas grises, procedentes de duchas y lavabos, para usos no bebibles en el edificio: inodoros, y riego. Para que esto pueda ser factible, sin embargo, el volumen demandado en duchas y lavabos debe ser superior al consumido en inodoros. Este hecho condiciona la posibilidad de aplicación del sistema, y sobretodo su rentabilidad.

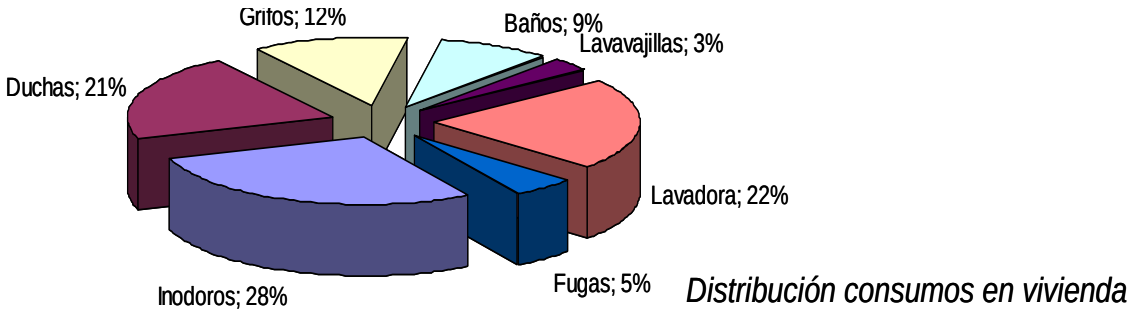



**Figura 3. Distribución de consumos en una vivienda tipo**

Debido a la necesidad de disponer de aguas grises en la instalación su aplicación se restringe a unos pocos casos, aquellos donde el consumo en lavabos, baños y duchas, superior al consumo en inodoros:

- Viviendas
- Hoteles y residencias
- Instalaciones deportivas y gimnasios

La instalación la componen una serie de equipos:

- Arqueta de recogida de aguas residuales

  Situada por debajo del nivel de los sanitarios. Las aguas deben llegar por gravedad hasta la arqueta

- Sistema de depuración.

  El agua debe ser tratada ligeramente para eliminar jabones y otras sustancias contaminantes. La depuración se puede conseguir con: filtros de arena (más económicos pero con menor capacidad de depuración) o con desinfectantes por ultravioleta o por hipoclorito, cuyo tratamiento es más costoso pero más eficaz.

- Sistema de bombeo.

  Sirve para impulsar el agua tratada que a perdido su presión.

- Depósito de almacenamiento agua tratada

La selección de equipos comerciales se realiza en función del número de usuarios a los que tiene que dar servicio, y de la calidad del agua gris que es recogida.

El sistema presenta una serie de inconvenientes:

- Coste elevado:

El coste de inversión más el coste de manutención (tratamiento, rebombeo,…) resulta ser elevado en comparación con otras soluciones, sobretodo por la parte del tratamiento. A modo de estimación, una solución de estas características, a fecha de 2007, puede suponer una inversión de:

- 10 hab. ~ 2500 € + Instalación
- 20 hab. ~ 3500 € + Instalación
- 50 hab. ~ 5000 € + Instalación

- Ubicación de los elementos del sistema.

Al discurrir las aguas grises por gravedad en la instalación, la situación de los equipos es comprometida por cuanto, al menos la arqueta de recogida tiene que estar por debajo de cualquier sanitario de la instalación.

Además, los depósitos de agua tratada tiene un cierto volumen (Un depurador de 500 l. ,de 3 a 7 personas, ocupa un espacio de Ø 800x1400 mm.; un depurador de 1000 l., de 8 a 12 personas, ocupa un espacio de Ø 1000x1500 mm.) y pueden resultar difícil ubicarlos.

- Posibilidad de cruzamiento de redes.

La posibilidad que se crucen las redes de agua potable y agua reutilizada está presente. En algunos países este sistema está absolutamente prohibido por este riesgo. Hoy en día, para evitar esta posibilidad se emplean colorantes que tiñen en agua residual para su fácil reconocimiento.

Sin embargo, frente a otras soluciones de utilización de fuentes alternativas, este sistema presenta la ventaja de que el aporte de agua y el consumo son regulares en el tiempo, lo que reduce el volumen de los depósitos necesarios.

## 4. Sistemas de hidroeficiencia. Aprovechamiento de agua de lluvia

Se trata de aprovechar el agua de lluvia recogida en cubiertas para su uso en consumos no bebibles (inodoros y riego)

Esta solución, no siendo novedosa (impluvium romanos son bien conocidos) se ha rescatado como una solución por la mejor calidad del agua que presenta la lluvia frente a las aguas grises.

Su aplicación se presenta en edificaciones en la que exista una relación “superficie de captación vs. consumo” elevada:

- Viviendas unifamiliares
- Edificios administrativos/públicos
- Centros docentes
- Industrias

No resulta una solución rentable en edificios en altura

El sistema consta de una serie de elementos:

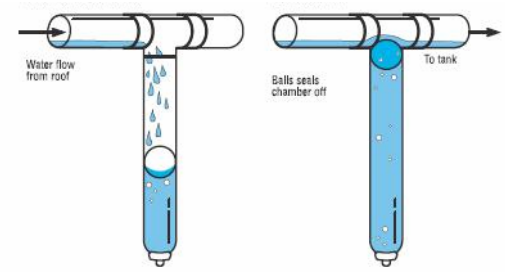
- Superficie de captación, que puede ser:

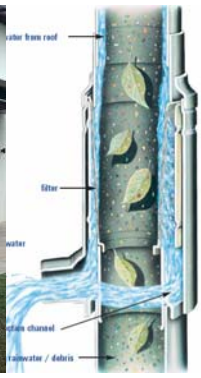
- Cubierta
- Pavimento

- Elementos primarios retención, que sirven para filtrar la hojarasca y otros sólidos que pueda haber sobre las superficies de captación

- Canalones/bajantes/tuberías

- Filtros/separadores lluvia. Sirven para desechar la primera lluvia que arrastra un importante contenido en contaminantes ambientales depositados sobre la superficie de captación.





- Depósito de almacenamiento
  - En superficie
  - Enterrados
- Equipo de bombeo

## 4.1. Dimensionado de la instalación

Existen dos aproximaciones para el dimensionado de los depósitos de almacenamiento:

Dimensionado desde el lado de la **demanda**. Este criterio de dimensionado lo hace para satisfacer el consumo con el agua de lluvia aportada. Requiere que el **volumen de lluvia aportado sea mayor que el volumen consumido**.

Dimensionado desde el lado de la **aportación**. Este criterio tiene en cuenta las limitaciones que pueden existir en la forma y cantidad de agua aportada. Generalmente, se utiliza cuando el volumen de lluvia de aportación es menor que el volumen consumido.

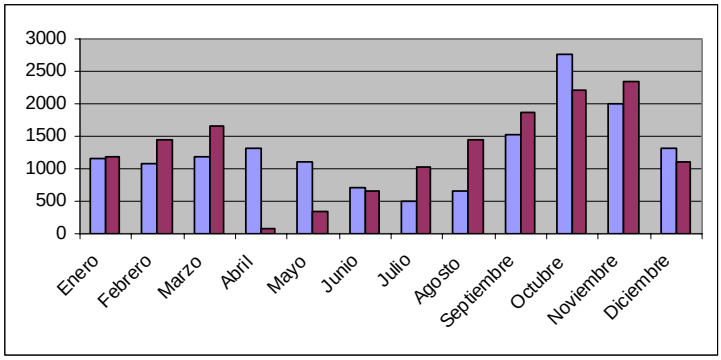
El volumen mínimo del depósito de recogida debe ser tal que sea capaz de almacenar el agua en los periodos en que el balance entre aportación recogida y consumo sea positivo, que será igual al volumen extraído del depósito en los periodos con balance negativo.

El volumen del depósito se obtiene como la diferencia entre el máximo y el mínimo volumen acumulado, desde el inicio del periodo. El volumen acumulado en cualquier momento es el resultado del balance entre el entrante (aportado) y el saliente (demandado).

$$\forall_{acumulado,i} = \sum_{1}^{j=i} (\forall_{aportado,j} - \forall_{demandado,j})$$

$$\forall_{deposito} = \max(\forall_{acumulado}) - \min(\forall_{acumulado})$$

Ejemplo:




| | Precipitaciones (mm) Valencia | Area (m2) | Volumen aportado (l) | variable aleatoria | Balance | Acumulado | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enero | 36.4 | 32 | 1164.8 | 1187.83 | -23.029 | -23.03 | *max* | *1250.96* |
| Febrero | 33.8 | 32 | 1081.6 | 1434.65 | -353.05 | -376.08 | *min* | *-840.30844* |
| Marzo | 37.2 | 32 | 1190.4 | 1654.63 | -464.23 | -840.31 | Depo | 2.09 m3 |
| Abril | 41.4 | 32 | 1324.8 | 70.31 | 1254.49 | 414.18 | | |
| Mayo | 34.4 | 32 | 1100.8 | 334.02 | 766.78 | 1180.97 | | |
| Junio | 22.6 | 32 | 723.2 | 653.20 | 70.00 | 1250.96 | | |
| Julio | 16 | 32 | 512 | 1025.42 | -513.42 | 737.54 | | |
| Agosto | 20.2 | 32 | 646.4 | 1438.45 | -792.05 | -54.51 | | |
| Septiembre | 47.9 | 32 | 1532.8 | 1861.00 | -328.20 | -382.71 | | |
| Octubre | 86.6 | 32 | 2771.2 | 2222.16 | 549.04 | 166.33 | | |
| Noviembre | 62.2 | 32 | 1990.4 | 2353.78 | -363.38 | -197.05 | | |
| Diciembre | 41 | 32 | 1312 | 1114.95 | 197.05 | 0.00 | | |

Analizando el sistema, tiene una serie de ventajas frente a otras soluciones:

- Fuente alternativa de agua con un coste nulo del recurso
- Coste más bajo que otras fuentes alternativas de recursos al no necesitar de un tratamiento posterior del agua
- Se puede obtener un agua con muy poca carga contaminante lo que reduce el riesgo por cruzamiento

Sin embargo presenta también una serie de desventajas:

- Dependencia de la climatología

- Lluvias son más infrecuentes en la época en que los consumos de agua son mayores (verano), lo que obliga a aumentar el volumen de los depósitos de almacenamiento y con ello la instalación y los costes.

- Posible posterior contaminación agua por insectos (mosquito) con temperaturas elevadas

## 5. Sistemas de hidroeficiencia. Xerojardinería

La Xerojardinería es una técnica de jardinería destinada al diseño e implantación de parques y jardines que consuman poco agua desde los sistemas de abastecimiento generales.

Contrariamente a lo que se piensa, un jardín xeroscópico no es un jardín plantado únicamente con cactus. Se trata más bien de no utilizar más agua que la que naturalmente le llega al jardín. Para ello simplemente hay que implantar especies autóctonas adaptadas al régimen de precipitaciones de la zona.

- Si finalmente se adopta la solución de incorporar especies que requieran de un riego adicional, en el jardín xeroscópico se agrupan aquellas que tengan unas mismas necesidades hídricas a fin de optimizar el riego, y que no haya especies quer erciben más agua de la necesaria por encontrarse junto a otras cuyos riegos son mayores.

## 6. Sistemas de hidroeficiencia. Recuperación de condensados en sistemas HVAC

Se trata de aprovechar el agua de condensación que se genera en los sistemas de acondicionamiento de aire.

- En verano, el agua que se genera en los intercambiadores que refrigeran el aire interior

- En invierno, el agua que se genera, en menor proporción, en los intercambiadores exteriores que enfrían el aire exterior (cediendo calor al interior).

Las cantidades de agua obtenidas en verano e invierno son distintas por cuanto que la procedencia de la condensación también lo es. En el funcionamiento en verano, el aire del interior de los locales es tratado, enfriado, en unos intercambiadores. Este aire interior contiene un cierto grado de humedad específica que proviene, de la propia que tiene el aire, de la transpiración de los ocupantes, y de la que tiene el aire exterior que entra en el local por ventilación o por renovación.

En zonas costeras la proximidad al mar hace que el aire exterior contenga un elevado porcentaje de humedad, lo que las hace idóneas para este tipo de aprovechamiento.

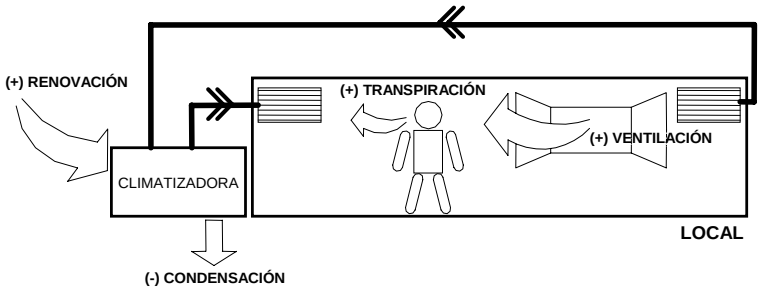



**Figura 4. Ciclo de condensación en verano**

En un sistema de HVAC no sólo se compensa el calor **sensible** en la instalación, sino también el calor **latente** (calor de cambio estado del agua que contiene el aire). Para poder valorar la cantidad de condensados es necesario conocer cómo se produce el proceso de condensación, que a fin de cuentas no es sino una evolución psicrométrica de enfriamiento de aire húmedo por debajo de su temperatura de rocío. El aire húmedo se hace pasar por una batería cuya superficie se encuentra por debajo de la temperatura de rocío del aire. Parte del aire, dependiendo del factor de by-pass de la batería, se enfría a la temperatura de la batería condensando la humedad que lleva. Éste aire se mezcla con el resto para producir un aire refrigerado que se impulsa al local. La diferencia entre la humedad del aire original y del aire refrigerado es la condensación producida. En esencia, depende de las condiciones iniciales, de la temperatura de la batería y del factor de by-pass de ésta.

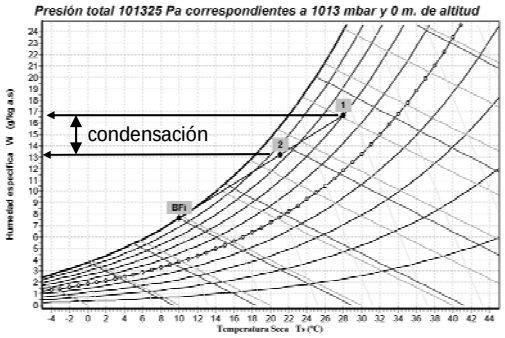



**Figura 5. Proceso de enfriamiento de aire con condensación de agua**

## 6.1. Cálculo condensación

Para determinar el valor de condensación, se aplican las ecuaciones que rigen el proceso de enfriamiento de un aire húmedo por debajo de la temperatura de rocío:

$$\text{Calor sensible: } \dot{Q}_{sen} = \dot{m}((T_{s2} - T_{s1})(C_{pas} + C_{pv} W_2))$$

$$\text{Calor latente: } \dot{Q}_{lat} = \dot{m}((W_2 - W_1)(C_f + C_{pv} T_{s1}))$$

Donde el volumen de condensación según potencia latente:

$$(W_1 - W_2) = -\frac{\dot{Q}_{lat}}{\dot{m}} \frac{1}{(C_f + C_{pv} T_{s1})}$$

Sobre estas expresiones hay que tener en cuenta el factor de by-pass de la batería que produce que no todo el aire que circula experimente un subenfriamento.

Según mediciones realizadas en un edificio destinado a oficinas, situado en Valencia, y para una ocupación media de 15 personas, se pueden obtener una cantidad de condensados de:

**$m_{H2O}$ ~ 0.28 l/h/kW frigorífico**

Si se utilizan valores habituales de proyecto, se pueden realizar estimaciones del volumen que se puede llegar a obtener. Así , para una potencia frigorífica de 100 W/m2, con una compensación de calor sensible del 70% de la potencia frigorífica, y una compensación de calor latente del 30% , o sea 30 W/m2, teniendo en cuenta que el calor latente sólo se fuera a emplear en condensar agua, y considerando que el calor latente de vaporización del agua es de ~600 kcal/kg, se puede obtener un ratio de condensación de:

**$m_{H2O}$ ~ 0.0432 l/h/m2 de local**

Así, para un centro comercial de 5000 m2 de superficie climatizada se pueden conseguir, aproximadamente, unos 200 l/h de condensados.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones previas, este tipo de sistema es de especial aplicación en los siguientes casos:

- Edificación cerca de la costa (mayor humedad ambiental)
- Edificios con grandes volúmenes para acondicionar y uso hidrosanitario limitado (museos, salas de exposiciones, hipermercados, teatros, …)

En comparación con otros sistemas de hidroeficiencia, la recuperación de condensados ofrece una serie ventajas:

- Se obtiene un recurso de forma residual de un sistema que lo va a producir de todas formas.
- Se da provecho al agua que de otra forma va directamente al sistema de evacuación del edificio
- Se obtiene más agua cuanto mayor es la ocupación del edificio
- Se produce de forma continua (mientras funcione el sistema de climatización) sin existir dependencia directa de las condiciones climatológicas exteriores, lo que reduce el tamaño de los depósitos.
- Coste reducido frente a otras soluciones

Aunque presenta un principal inconveniente y es que no se obtienen unos volúmenes importantes, lo que resta rentabilidad al sistema

## 7. Sistemas de hidroeficiencia. Diseño enfocado a la hidroeficiencia

A la hora de diseñar un edificio, los técnicos tienen en cuenta los aspectos relacionados con el soleamiento para dotar de elementos arquitectónicos que sombreen los huecos en el cerramiento exterior,… De la misma manera, se reclama que se tengan en cuenta los aspectos relacionados con la hidroeficiencia en la demanda de agua en el diseño arquitectónico. Si se hace de esa manera, se pueden conseguir ahorros importantes sin necesidad de incorporar ningún otro sistema de hidroeficiencia. Realmente, en lugar de

consumir menos agua, lo que se logra con un diseño enfocado a la hidroeficiencia es NO desperdiciar el agua que se consume.

Desde el punto de vista técnico, cualquier medida de diseño hidroeficiente debe ir encaminada a conseguir que las presiones en la red de distribución sean lo más homogéneas posible y ajustadas a los caudales que se quieren entregar. Hay que a mayor presión de alimentación en una grifo más caudal suministra.

Las presiones pueden variar en la instalación por efecto de la cota, y por efecto de la pérdida de carga que se produce a lo largo de la tubería.

Teniendo en cuenta las razones que llevan a la variación de presión, se pueden establecer ciertas actuaciones para conseguir el objetivo del diseño hidroeficiente:

- Control de presiones. Se trata de ajustar las presiones a las necesidades.

  En edificios en altura se trata de: lograr escalones de presión de máximo 4 alturas (hay que combinar el control de presiones con la inversión de grupos de bombeo); instalar válvulas reductoras de presión en cada planta para proporcionar en todas ellas la misma presión de alimentación.

  En edificios en planta, se trata de reducir las pérdidas de carga ubicando los núcleos húmedos próximos entre sí y las montantes en el centro de gravedad de núcleos húmedos

- Adecuación de demandas. A la hora de diseñar la instalación, se trata de trabajar con los caudales reales de consumo, para evitar mayorar la sección de paso de las conducciones y entregar más caudal del demandado.

- Distribución en planta de núcleos húmedos. Se trata de posicionar los núcleos húmedos próximos entre sí. Si se ubican alejados, para que en uno de ellos (el más desfavorable) exista presión suficiente, en otros (más favorables) hay exceso de presión y por tanto mayor consumo que el demandado.

## 8. Diseño de instalaciones

Una vez se conocen los sistemas de hidroeficiencia, se está en condiciones de poder realizar el diseño completo de la instalación de suministro de agua potable con criterios de hidroeficiencia. Para ello hay que elegir, de entre los diferentes sistemas aplicables, aquellos que sean los más eficientes e implantarlos. La implantación supone el desarrollo constructivo de la solución y su dimensionado, que debe obedecer a criterios de eficiencia.

La selección de sistemas se realiza en base a una serie de parámetros de rentabilidad económica de la solución, teniendo en cuenta para el análisis los costes de inversión y la reducción de costes debido al consumo. Para este caso se van a calcular:

- Periodo de retorno de la inversión
- Tasa interna de retorno
- Rentabilidad anual de la inversión

El proceso de diseño, y la obtención de los parámetros de rentabilidad es distinta para cada una de las siguientes situaciones:

- Edificio de nueva construcción (proyecto). El coste de las soluciones de hidroeficiencia es el **diferencial** entre un sistema estándar y un sistema hidroeficiente

- Edificio ya existente (auditoría). El coste de implantación de un sistema de hidroeficiencia es mayor al implicar sustituir sistemas estándar existentes y en funcionamiento por otros. El coste de inversión se repercute al 100%.

## 8.1. Procedimiento de diseño

### 8.1.1. Edificio de nueva planta

En edificios de nueva planta, hay que seguir los siguientes pasos

- Estimación de demandas de referencias similares. Como se conocen las demandas, hay que realizar una estimación. La experiencia y el desarrollo de estas técnicas permitirá disponer de datos fiables me mejoren las estimaciones.
- Selección de equipos o dimensionado óptimo de cada sistema. A partir de las demandas se trata de desarrollar cada una de las diferentes soluciones. El proceso puede resultar costoso si no se dispone de la adecuada herramienta informática, pero con la ayuda de un software el dimensionado es automático si se dispone de la información de partida.
- Análisis coste-beneficio de las soluciones. Una vez dimensionada cada instalación, ésta tendrá un coste de implantación y supondré un ahorro de agua y energético. Se puede, por tanto, realizar una valoración económica de cada una de ellas.

### 8.1.2. Edificio existente

El procedimiento es similar al anterior pero en este caso, al disponer de una instalación en servicio es posible obtener datos detallados del consumo, lo que mejorará la fiabilidad del proceso de diseño. Así, los pasos son:

- Desarrollo de una auditoria de demandas. Se trata de analizar y caracterizar las demandas de cada uno de los puntos de consumo en base a una batería de mediciones y su posterior análisis:
- Selección de equipos o dimensionado óptimo de cada sistema. Igual que en el caso anterior
- Análisis coste-beneficio de las soluciones. Como en el caso anterior.

Por su interés, se va a desarrollar el proceso de análisis de coste-beneficio de las soluciones

## 8.2. Análisis coste-beneficio

Se trata de obtener los parámetros de rentabilidad que se consiguen con la implantación de cada sistema de hidroeficiencia. Por tanto, hay que valorar, para cada sistema:

**Ingreso**: como el ahorro económico que se consigue por:

- la reducción del **consumo de agua**, y
- la reducción del **consumo de energía** que lleva asociado el consumo de agua cuando ésta es A.C.S.

Se puede considerar como ingreso adicional el beneficio medioambiental que se logra, siempre que este pueda ser valorado adecuadamente.

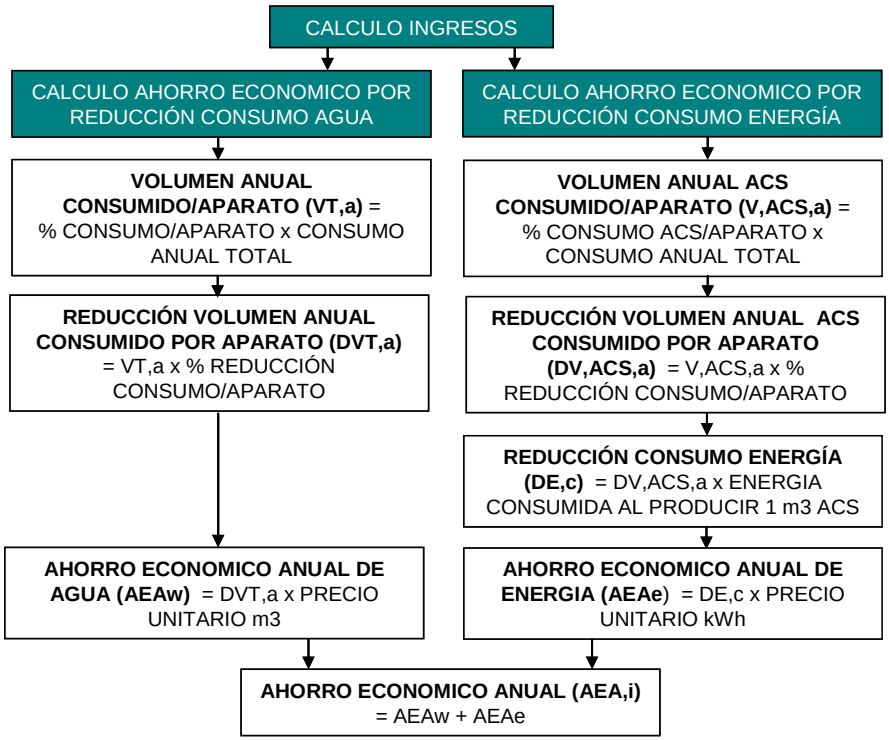
También se pueden considerar como ingreso las **subvenciones** conseguidas para la implantación de este tipo de medidas de ahorro. En ese caso, la subvención se repartir durante toda la vida útil del equipo. De otro modo, puede trastocar el análisis.

**Coste**: se engloba como coste cada uno de los siguientes:

- el coste amortizado de la **inversión** que se realiza
- el coste de **manutención** (energía de bombeo, depuración)
- el coste de **mantenimiento** (limpieza de filtros,…)

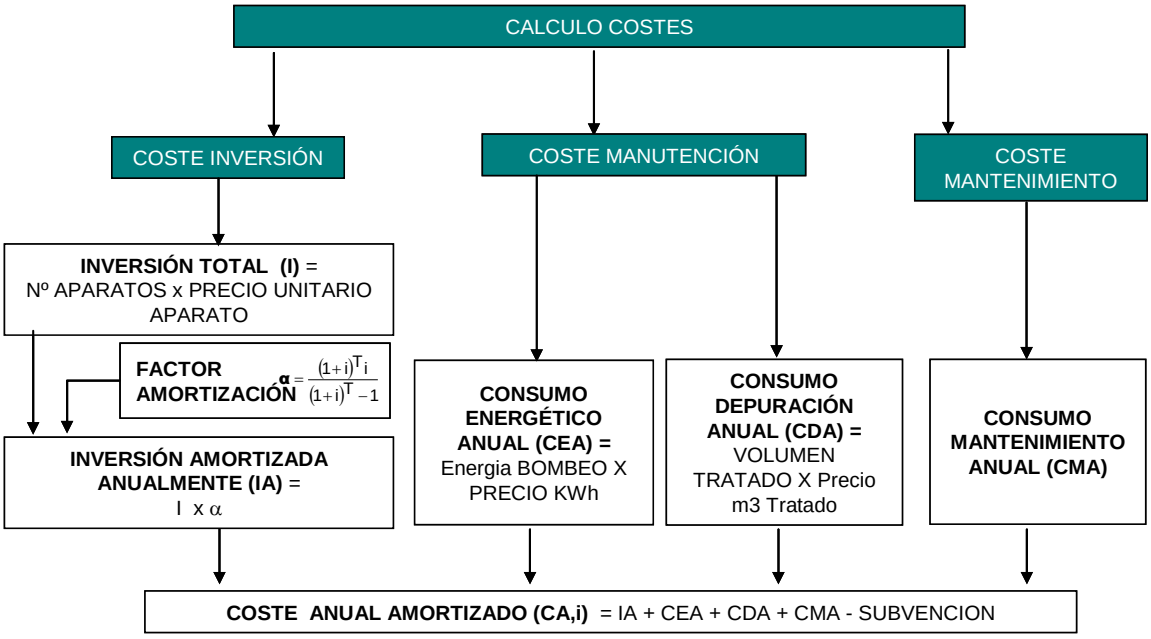
### 8.2.1. Calculo de ingreso para un solución(S,i)

Se desarrolla el procedimiento a seguir en el siguiente sinóptico:




### 8.2.2. Cálculo de coste para una solución (S,i)

Se desarrolla el procedimiento a seguir en el siguiente sinóptico:




### 8.2.3. Parámetros de rentabilidad, para una solución S,i

Como resultado del proceso de análisis de coste-beneficio, deben resultar, para cada uno de los sistemas de hidroeficiencia (,i) analizados los siguientes parámetros:

- BENEFICIO BRUTO ANUAL DE LA OPTIMIZACIÓN, Ben,i= AEA -CA
- PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN, PB,i = (Ben x Vu) / I

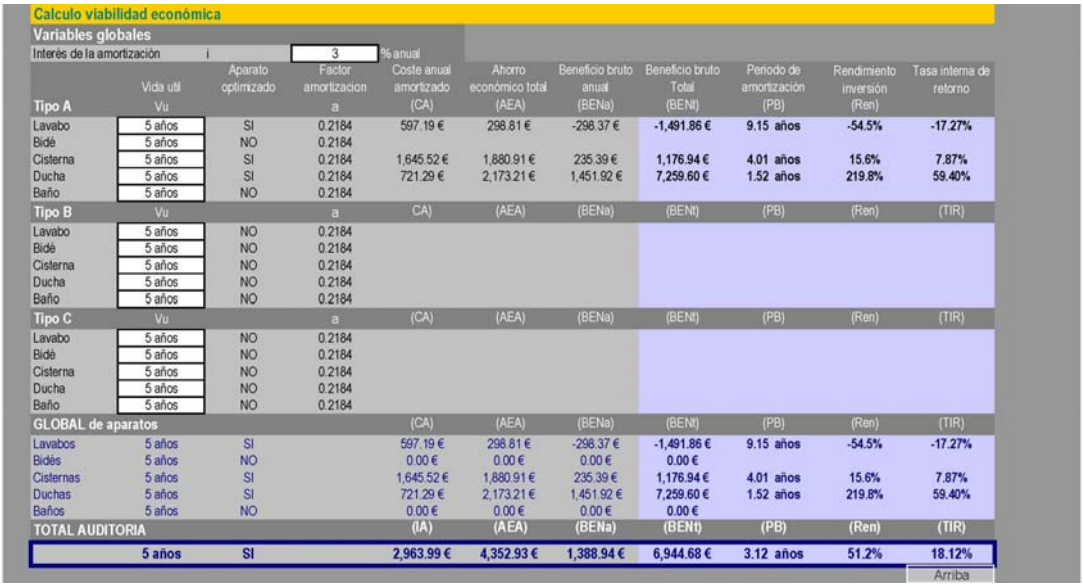
RENDIMIENTO ANUAL DE LA INVERSIÓN RENa,i = (Ben / I ) x 100

- TASA INTERNA DE RETORNO, TIR,i = $TIR = AEA - I\frac{(1+i)^T i}{(1+i)^T - 1} = 0$

#### 8.2.3.1. Ejemplo de análisis coste-beneficio

Para ilustrar el proceso se va a desarrollar el siguiente ejemplo. Se trata de un hotel urbano, existente, en el que no existen zonas ajardinadas. Debido a sus especiales características, y a la dificultad de implantación de otras medidas, se va a estudiar la implantación de los siguientes sistemas de hidroeficiencia:

- Cisternas de doble pulsador
- Regulador de caudal en duchas
- Perlizadores en lavabos



Calculo viabilidad económica

Variables globales

Interés de la amortización i 3 % anual

| | Vida util | Aparato optimizado | Factor amortizacion | Coste anual amortizado | Ahorro económico total | Beneficio bruto anual | Beneficio bruto Total | Periodo de amortización | Rendimiento inversión | Tasa interna de retorno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo A** | Vu | | a | (CA) | (AEA) | (BENa) | (BENt) | (PB) | (Ren) | |
| Lavabo | 5 años | SI | 0.2184 | 597.19 € | 298.81 € | -298.37 € | -1,491.86 € | 9.15 años | -54.5% | -17.27% |
| Bidé | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Cisterna | 5 años | SI | 0.2184 | 1,645.52 € | 1,880.91 € | 235.39 € | 1,176.94 € | 4.01 años | 15.6% | 7.87% |
| Ducha | 5 años | SI | 0.2184 | 721.29 € | 2,173.21 € | 1,451.92 € | 7,259.60 € | 1.52 años | 219.8% | 59.40% |
| Baño | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| **Tipo B** | Vu | | a | CA) | (AEA) | (BENa) | (BENt) | (PB) | (Ren) | (TIR) |
| Lavabo | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Bidé | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Cisterna | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Ducha | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Baño | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| **Tipo C** | Vu | | a | (CA) | (AEA) | (BENa) | (BENt) | (PB) | (Ren) | (TIR) |
| Lavabo | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Bidé | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Cisterna | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Ducha | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| Baño | 5 años | NO | 0.2184 | | | | | | | |
| **GLOBAL de aparatos** | | | | (CA) | (AEA) | (BENa) | (BENt) | (PB) | (Ren) | (TIR) |
| Lavabos | 5 años | SI | | 597.19 € | 298.81 € | -298.37 € | -1,491.86 € | 9.15 años | -54.5% | -17.27% |
| Bidés | 5 años | NO | | 0.00 € | 0.00 € | 0.00 € | 0.00 € | | | |
| Cisternas | 5 años | SI | | 1,645.52 € | 1,880.91 € | 235.39 € | 1,176.94 € | 4.01 años | 15.6% | 7.87% |
| Duchas | 5 años | SI | | 721.29 € | 2,173.21 € | 1,451.92 € | 7,259.60 € | 1.52 años | 219.8% | 59.40% |
| Baños | 5 años | NO | | 0.00 € | 0.00 € | 0.00 € | 0.00 € | | | |
| **TOTAL AUDITORIA** | | | | **(IA)** | **(AEA)** | **(BENa)** | **(BENt)** | **(PB)** | **(Ren)** | **(TIR)** |
| | **5 años** | **SI** | | **2,963.99 €** | **4,352.93 €** | **1,388.94 €** | **6,944.68 €** | **3.12 años** | **51.2%** | **18.12%** |

Arriba

**Figura 6. Resultados del análisis coste-beneficio en un hotel**

### 8.2.4. Priorización de soluciones

Una vez que se ha realizado al análisis de coste-beneficio, hay que elegir, de entre las soluciones alcanzadas aquellas que supongan un mayor ahorro económico. Para ello, se decide priorizar cada uno de los sistemas e implantar en primer lugar la solución más eficiente.

Es importante priorizar soluciones (y no implantar todas las estudiadas a la vez) porque la implantación de un sistema de hidroeficiencia, y por tanto la reducción de consumos de agua y energía que se consigue con ello, puede afectar a los 'ingresos' que se consiguen en la implantación de otros sistemas de hidroeficiencia a los que afecte el primero.

Por ejemplo, la instalación de un reductor de caudal de una ducha reduce el volumen recogido por un sistema de aguas grises, reduciendo el porcentaje de ahorro del sistema de aguas grises y por tanto su rentabilidad.

Otro ejemplo, la implantación de un sistema de aguas grises para riego puede cubrir todas las necesidades de un jardín y no se necesitaría un sistema de aprovechamiento de lluvia.

En estos casos hay que volver a realizar el análisis coste-beneficio, teniendo en cuenta la reducción de volúmenes que se ha producido por la implantación del primer sistema y eliminándolo del análisis

$$\text{Demanda aparato,i} = \text{Demanda optimizada,i}$$

# PROPUESTAS TÉCNICAS PARA ATENUAR LA ENTRADA DE RADÓN EN LOS EDIFICIOS

Borja **FRUTOS VÁZQUEZ** [(1),] Manuel **OLAYA ADÁN** [(2)]

(1) (2), Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

# Índice

**1 INTRODUCCIÓN ..... 2**

**2 RADÓN ..... 2**

2.1 Conceptos generales. ..... 2

2.2 Vías de penetración de radón al interior de los edificios ..... 3

**3 TÉCNICAS DE PROTECCIÓN ..... 4**

3.1 Barreras frente al paso de gas radón. ..... 4

3.2 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN ..... 7

3.3 SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN ..... 10

3.4 VENTILACIÓN INTERIOR DE LA VIVIENDA ..... 11

**4 EFECTIVIDAD DE LAS TÉCNICAS DE PROTECCIÓN ..... 11**

**5 PROPUESTA PARA EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. ..... 12**

**6 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CURSO ..... 14**

6.1 Elección del lugar de construcción ..... 14

6.2 Construcción del módulo experimental ..... 15

6.3 Medidas de radón en interior sin medidas de protección ..... 16

6.4 Soluciones correctoras de la concentración de radón ..... 17

**7 CONCLUSIONES ..... 18**

# PROPUESTAS TÉCNICAS PARA ATENUAR LA ENTRADA DE RADÓN EN LOS

Borja **FRUTOS VÁZQUEZ** [(1),] Manuel **OLAYA ADÁN** [(2)]

(1) (2), Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 INTRODUCCIÓN

En el mes de marzo de 2006 se aprobó el Código Técnico de la Edificación en España.

Este nuevo código establece una reglamentación concerniente a la seguridad y a la salud en los edificios de nueva construcción a partir de la fecha de aprobación del Código.

Durante la fase de redacción del Código, el Consejo de Seguridad Nuclear de España (CSN), presentó una propuesta de inclusión de un capitulo que incluyese medidas de concernientes a la entrada de radón en edificios de nueva construcción.

En esta primera versión del Código ya aprobada, el ministerio no creyó oportuno incluir aspectos relativos a la protección frente al gas radón.

Uno de los argumentos para no hacerlo fue el de evitar una percepción de riesgo en la sociedad en aquellas viviendas que ya estaban construidas y para las que no se tenían datos en el momento de aprobación de código de medidas correctoras probadas.

Por este motivo se creyó oportuno la presentación de este proyecto de investigación que se está realizando bajo el amparo y subvención del Consejo de Seguridad Nuclear.

El proyecto tiene como título **"Estudio de la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas radón en los edificios existentes"** y el objeto de este artículo es presentar los avances en esta primera fase en la que se ha construido un módulo experimental y se ha estudiado la entrada del gas en el mismo correlacionándola con datos climáticos y la eficiencia de las primeras medidas correctoras introducidas.

El equipo investigador esta formado por personal de:

- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc (CSIC). España
- Cátedra de Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria. España

## 2 RADÓN

### 2.1 Conceptos generales.

El uranio (U-238), elemento presente en la composición de suelos, aparece como origen de una cadena de desintegración de elementos radiactivos dentro de la cual se haya el gas radón (Rn-222).

Este gas inerte de origen natural, con un periodo de vida de 3,8 días, es capaz de viajar entre los poros del suelo hasta alcanzar la superficie, donde podrá diluirse entre los gases de la atmósfera o penetrar en el interior de los edificios si éstos no se encuentran debidamente protegidos, completando en ambos casos su proceso de desintegración.

Al penetrar en un espacio cerrado, el radón se acumula aumentando su concentración. La inhalación de este gas puede llegar a generar cáncer pulmonar debido a que la radiación que se produce de la desintegración del mismo y sus descendientes de vida corta en el interior de nuestro organismo, es capaz alterar el ADN de los tejidos pulmonares.

## 2.2 Vías de penetración de radón al interior de los edificios

La movilidad del gas hacia la edificación dependerá de:

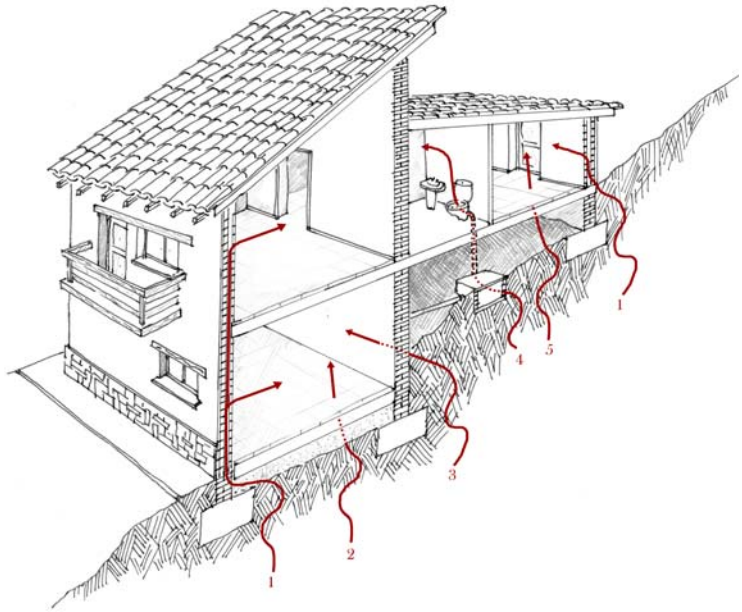
- La potencialidad del suelo de generar gas radón. Rocas con contenidos altos de radio.
- La capacidad que tenga el gas de escapar de la estructura de la roca (Emanación)
- La porosidad y humedad que presente el terreno para que el radón pueda alcanzar la superficie (Exhalación)
- Las condiciones meteorológicas de la superficie que permitirán diluir el gas o concentrarlo en las zonas cercanas al suelo.

El radón presente en la superficie terrestre se difunde en la atmósfera sin que alcance una concentración importante en la misma del orden de 20 $Bq/m^3$. Ahora bien, si existiese una edificación sobre el terreno con presencia de radón, y esta no estuviese protegida, el gas radón podrá penetrar en el interior de la vivienda y llegar a concentraciones elevadas que supondrán un riesgo para la salud de sus habitantes.

Debido a diferencias de presión entre los poros del terreno por donde viaja el gas y el espacio cerrado de la edificación (normalmente alto debido a ventilaciones o ausencia de las mismas) se establece un flujo desde el terreno hacia el interior de la edificación. Por su condición de gas, su movilidad es alta entre los poros de los materiales normalmente usados en la edificación, y penetrará fácilmente en el interior de la vivienda, atravesando los forjados, soleras o muros.

Sus caminos para introducirse en el interior son numerosos. Aprovechando cualquier fisura, cámara de aire, chimenea, conductos de saneamiento, materiales de alta permeabilidad, el gas penetra al interior de la vivienda, donde podrá acumularse si ésta no esta debidamente ventilada, y aumentar su concentración sobrepasando los valores límites que nos aconsejan los diferentes organismos internacionales de radioprotección.

En la figura que se presenta a continuación, se reflejan algunas de las vías de penetración más frecuentes.




**Posibles caminos del Radón hacia el interior de los edificios**

1- Por el interior de la cámara de aire de los muros exteriores.
2- A través de la solera
3- A través de los muros de sótano
4- A través de conductos de saneamiento
5- A través del forjado sanitario

**Figura 2.1: Vías de penetración de radón al interior de una vivienda**

# 3 TÉCNICAS DE PROTECCIÓN

En función de si se han diseñado para un edificio en construcción o si están destinadas a edificios existentes:

- Diseño de soluciones para prevenir la entrada de radón en **EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA**

  *(Técnicas propuestas a nivel de diseño. Menor coste de ejecución y mejor planificación)*

- Actuaciones de remedio para reducir la concentración del gas en **EDIFICIOS EXISTENTES**

  *(Actuaciones más complejas. Espacios ya habitados.)*

Límites de concentración aconsejables por la Comisión Europea. Por encima de los cuales se deben tomar medidas de actuación:

- 200 Bq/m3 para vivienda nuevas. (Límite de diseño)
- 400 Bq/m3 para vivienda existentes. (Límite de actuación)

Tanto las soluciones destinadas a prevenir la entrada del gas en viviendas nuevas como las correctoras para viviendas existentes, se basan en los mismos principios.

1- Solución de estanquidad frente al gas en toda superficie que esté en contacto con el terreno (Soleras de sótano, forjados de sótano, muros de sótano)

**Barreras frente al paso de gas radón**

2- Extracción del gas en el área de apoyo de la edificación

**Dispositivos de extracción pasiva o forzada**

## 3.1 Barreras frente al paso de gas radón.

Consiste en proteger los elementos de cerramiento de la edificación que estén en contacto con el terreno (Soleras, Forjados sanitarios, Muros de sótano) con materiales que sean suficientemente estancos frente al paso del gas.

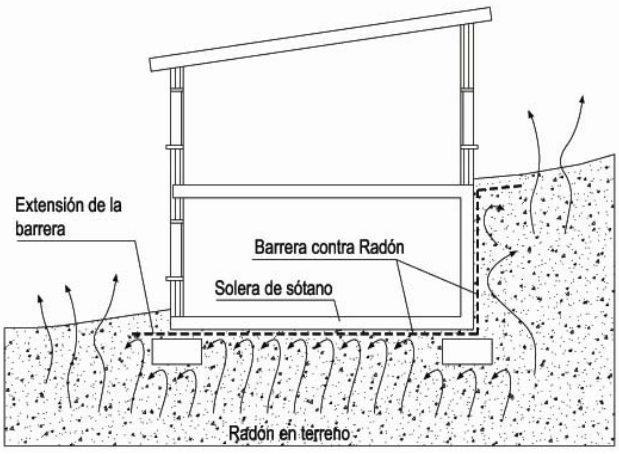



**Figura 3.1: Esquema de situación de una barrera de protección frente a radón**

Las membranas que se utilizan como barreras frente al paso de radón no solo deben ser estancas a éste, sino que además deben cumplir una serie de exigencias relacionadas con la durabilidad del material (una membrana bajo solera no podrá ser sustituida) y con las resistencias mecánicas (para que durante su puesta en obra no fisure o perfore).

La lámina cuando se coloca sobre el terreno deberá soportar el peso de la losa de solera y no punzonarse con las irregularidades de la misma y del propio terreno. Por otro lado, cuando se coloca encima de la solera también deberá resistir el peso del solado y no punzonarse con la capa superior de la solera. También deben ser resistentes al paso de personal de la obra durante su colocación y durante el proceso constructivo de las fases siguientes, solado, vertido de morteros, etc. Por tanto se les exigirá altas resistencias al punzonamiento, al desgarro, y a la tracción, para evitar fisuras durante la ejecución y la vida útil de la membrana. La elongación también es importante para absorber dilataciones del soporte y no figurarse, aunque en muchos casos se suele usar fieltros separadores para desligar la membrana barrera de radón del soporte donde esté instalada.

*Característica de las membranas*

- Estanca frente al paso del gas
- Resistencias mecánicas especiales
- Resistencia al desgarro
- Resistencia al punzonamiento
- Gran elasticidad y resistencia a tracción
- Alta durabilidad

Entre los materiales más usados se encuentran los siguientes: (Normalmente sistemas multicapa)

- Polietilenos de baja densidad con refuerzos de mallas
- Polietilenos de alta densidad
- Multicapas asfálticas
- PVC plastificado
- Caucho EPDM
- Sistemas líquidos (Poliuretanos)

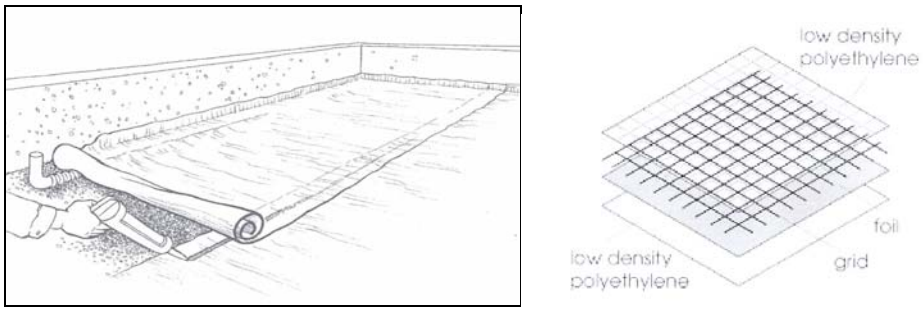



**Figura 3.2: Ejemplos de barreras frente al paso de radón**

## 3.1.1. Ubicación de la barrera

La barrera debe colocarse en todo cerramiento del edificio que esté en contacto con el terreno. Las soleras, los forjados sanitarios y los muros de sótano son objeto de protección.

La ubicación de la misma por la cara interior del cerramiento, o por la cara exterior directamente contra el terreno, dependerá del tipo de construcción que se quiera proteger. En casos de viviendas existentes, la colocación por la cara exterior complicará mucho la actuación, mientras que en edificios de nueva planta se puede proyectar la instalación de la barrera en fase de diseño de la misma manera que se hace con las membranas protectoras frente a la humedad. En este ultimo caso, la barrera frente a la penetración del gas funcionará a su vez como sistema de impermeabilización frente a la humedad.

## 3.1.2. Puntos singulares

La técnica de barreras contra radón requiere una puesta en obra que cuide al máximo detalles como juntas, solapes, encuentros, y demás puntos que puedan presentar riesgos de rotura a largo o corto plazo.

El tratamiento adecuado de estos puntos singulares es fundamental para conseguir un buen resultado de eficiencia de las barreras de radón.

JUNTAS ESTRUCTURALES

En membranas que actúan como barreras contra el gas radón se deberá actuar de la misma forma que en los sistemas de impermeabilización actuales, y se deberá desligar los movimientos de los soportes, de la membrana, para evitar que esta llegue a romperse. La diferencia entre el tratamiento que se da a los sistemas de impermeabilización y los de protección frente al gas radón estriba únicamente en el extremado cuidado con el que se ha de actuar en estos últimos por tratarse de un gas y no de un líquido, y que cualquier fisura, por pequeña que sea, será una vía de entrada a la vivienda.

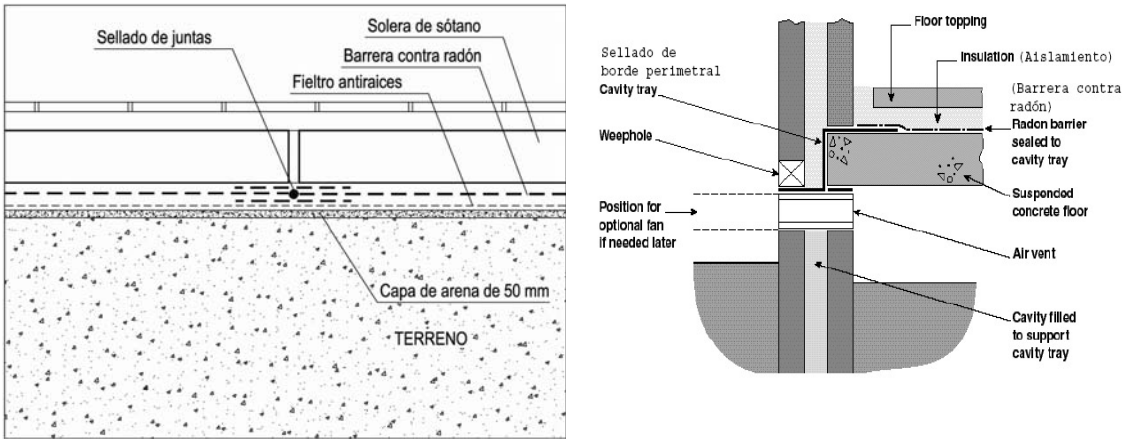



**Figura 3.3: Ejemplos de tratamientos de juntas**

PASO DE CONDUCTOS A TRAVÉS DE LA BARRERA

Es habitual que la red de saneamiento de un edificio perfore la solera o forjado de sótano para conectarse a la distribución horizontal que se suele dejar oculta bajo la vivienda. Esta operación es delicada pues se debe atravesar la lámina que impermeabiliza el sótano y la de protección frente a gas radón y si no se resuelve de un modo correcto tendremos puntos de paso del gas hacia el interior de la vivienda.

Los pasos de tubos a través de soleras, forjados, o muros, deberán ser tratados con piezas de sellado especiales para evitar fugas de gas.

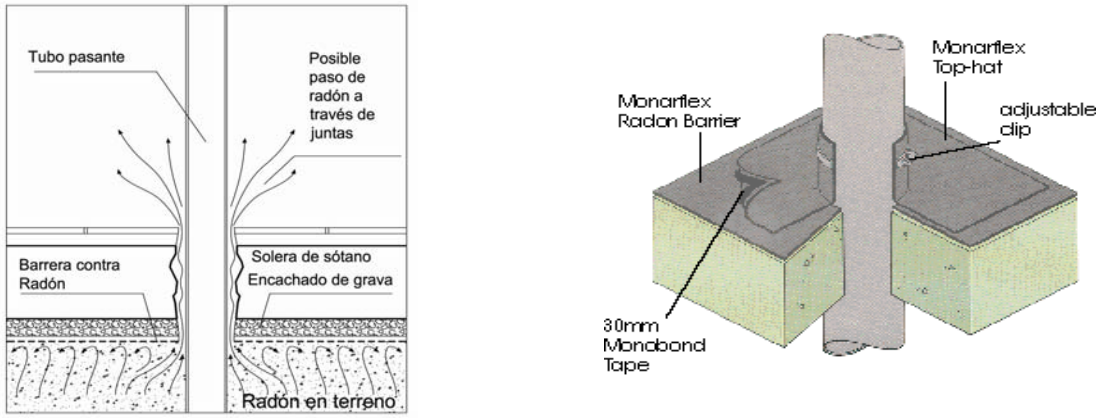



**Figura 3.4: Ejemplo de fugas por paso de conductos y elementos de sellado**

Además de estos puntos singulares se deberá prestar atención a los encuentros con otros cerramientos, al apoyo de tabiquería sobre la lámina, al paso de pilares, y a todo aquel elemento que pueda dar lugar a una disfunción de la barrera.

## 3.2 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

Estos sistemas se basan en extraer el aire con contenido de radón que se encuentra en el terreno sobre el que se apoya la vivienda, y expulsarlo al exterior. Su función es evacuar los gases provenientes del terreno antes de que pasen al interior de los edificios.

Para la extracción es necesario un punto de captación, un conducto de evacuación hacia el exterior y un extractor mecánico (si es de tiro forzado)

La extracción puede ser de tiro natural o de tiro forzado.

Los sistemas de extracción pueden clasificarse por el uso o no que hacen de extractores mecánicos para forzar el tiro. Su funcionamiento dependerá fundamentalmente de la compacidad del terreno. Es decir de la mayor o menor permeabilidad del terreno que permita un movimiento del gas entre sus poros hasta el punto de extracción.

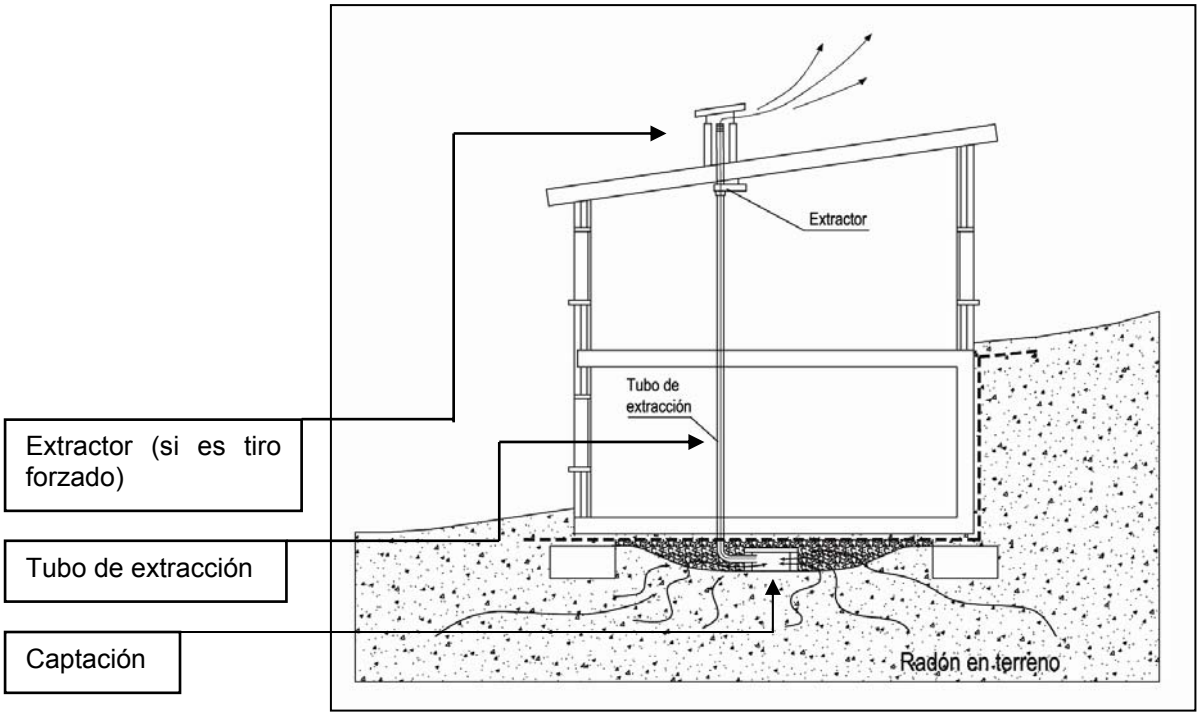



**Figura 3.5: Esquema de funcionamiento de un sistema de extracción**

Lógicamente el resultado de un sistema que incluya un extractor mecánico será más efectivo que el de tiro natural. La elección de un sistema u otro vendrá condicionada por una serie de factores:

- El punto de captación se sitúa en el terreno. En terrenos compactos en los que la movilidad del radón es escasa será necesario colocar un extractor mecánico para facilitar la entrada de radón al punto de captación.
- En zonas con concentraciones elevadas de radón también será recomendable el uso de sistemas mecánicos por su mayor efectividad que los de tiro natural
- Cuando menor sea el número de puntos de extracción bajo la vivienda, más recomendable será el uso de extractores mecánicos por su mayor radio de acción en el terreno.

CAPTACIÓN (SUMP):

Un punto de captación no es más que un espacio ubicado bajo la vivienda y que por su configuración permite el paso de gases del terreno a su interior. A él acomete un tubo de extracción por el que se evacuarán los gases al exterior.

Lógicamente debe ser permeable al paso de los gases.

Si se realiza un relleno bajo la vivienda con material más poroso, es decir, con algún tipo de arena o grava por donde el gas se mueva con mayor facilidad, el punto de captación podrá abarcar más superficie de extracción. La superficie "segura", la superficie de terreno cubierta por un sistema de extracción depende de la compacidad del terreno y de la fuerza del extractor si es de tiro forzado.

Para realizar estos puntos de captación existen diversos métodos que dependerán del sistema global que se vaya a emplear en la extracción. Normalmente se usan unas arquetas parecidas a las comúnmente usadas para los sistemas de saneamiento, con la salvedad de que la interfaz con el terreno debe ser porosa para permitir el paso del gas al interior. Existen sistemas de "sumps" prefabricados con materiales plásticos y perforaciones en sus paredes para permitir el paso del gas a su interior.

.

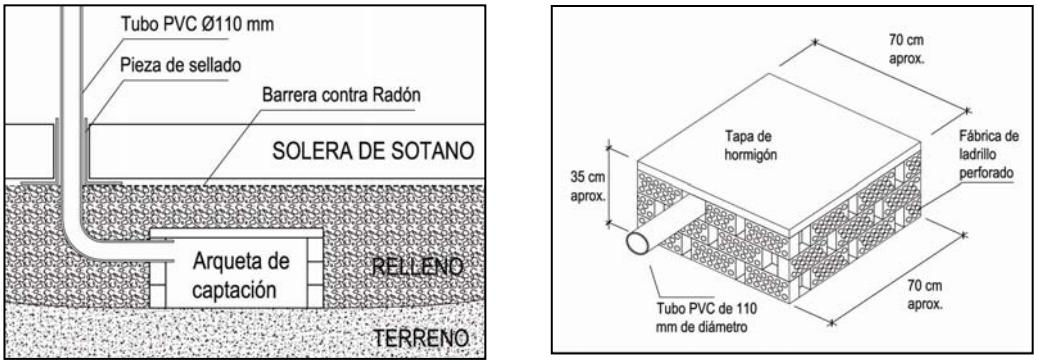



**Figura 3.6: Sistema de captación fabricados "in situ**

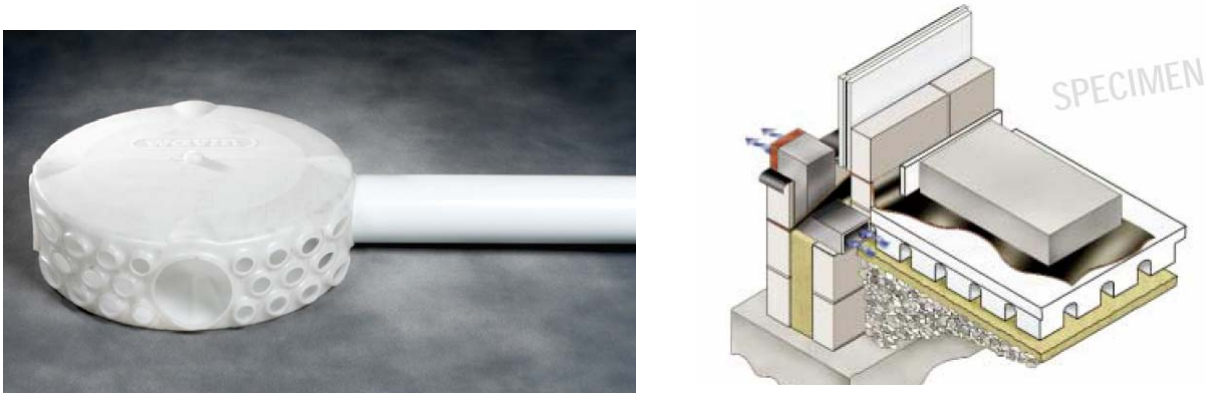



**Figura 3.7: Sistema prefabricado de captación**

En la figura 3.7 se muestra dos sistemas de captación prefabricados. La imagen derecha muestra un sistema de suelo sobre canales de poliestireno por donde discurre el gas hasta ser evacuado a través del muro de cerramiento.

TUBERÍA DE EXTRACCIÓN:

La tubería de extracción se encarga de conducir los gases desde la captación hasta el exterior del edificio. Lo comúnmente usado para estos propósitos es un tubo de PVC con un diámetro mínimo de 110 mm, aunque este puede cambiar en función del cálculo de necesidades para el extractor dado, la cantidad de radón detectada, y la compacidad del terreno.

Lo más efectivo será llevar el tubo de extracción en vertical hasta la cubierta porque de esta manera provocaremos un tiro natural desde el punto más bajo, pero en ocasiones se lleva en horizontal hasta el exterior de la vivienda atravesando los muros. Esta opción será valida siempre y cuando se tomen en cuenta las medidas necesarias para provocar un tiro, natural o forzado por un extractor.

En ambos casos se debe tener presente que el punto de paso del conducto a través de la barrera de protección frente a gas Radón debe tratarse con elementos especiales de sellado como los descritos en este trabajo en puntos anteriores.

Lo normal será conectar la tubería de extracción al punto de extracción o SUMP, pero se puede hacer directamente conectada al espacio del forjado sanitario o a una excavación practicada en el subsuelo bajo la vivienda.

El caso que se presenta a continuación muestra una extracción horizontal mediante la conexión de la tubería a la cámara de aire del forjado sanitario. Se ha instalado un extractor mecánico para forzar el tiro y se le han practicado unas perforaciones en el extremo opuesto de la cámara para facilitar el movimiento del aire.

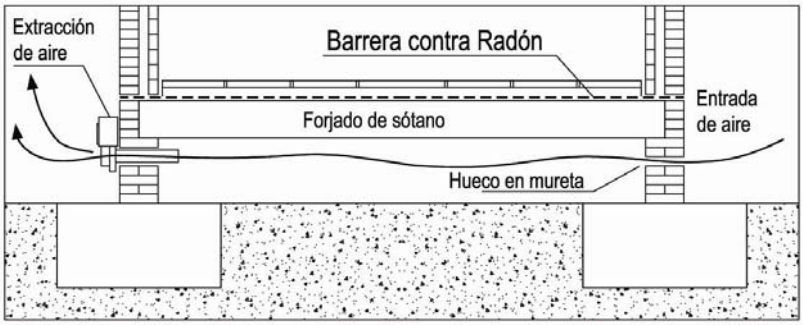



**Figura 3.7: Sistema prefabricado de captación**

EXTRACTOR:

Se usa el extractor para forzar el tiro del conducto de evacuación de gases.

Este puede instalarse en diferentes puntos de paso del conducto, si bien lo más normal es colocarlo en lugares donde esté protegido de la intemperie y no cause molestias a los habitantes del edificio.

Las instalaciones con tuberías de extracción pueden funcionar mediante tiro natural si se han previsto para ello, y solamente será necesaria la colocación del extractor, si tras haber medido la concentración de radón, esta fuera aún excesiva.

La siguiente figura muestra une ejemplo comercializado en Irlanda (Radoncare Sump and Cavity Gas Vent System. Radon Supplies Ltd.) En este caso se coloca un sistema de SUMP bajo la solera (USO EN VIVIENDAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN):

- Elemento prefabricado en PVC con perforaciones para permitir la entrada del gas.
- Conexión con el exterior.
- Preinstalación para incorporar extractor

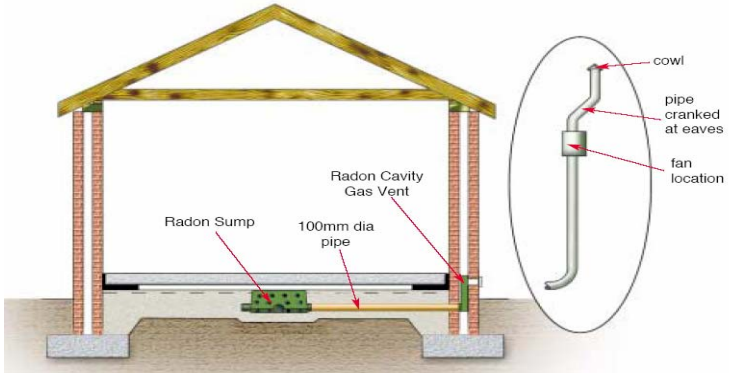



**Figura 3.8: Sistema prefabricado de captación con conexión a extractor por el exterior**

En cuanto a la potencia necesaria del extractor: Variará dependiendo del área de terreno que deba cubrir. En condiciones normales de permeabilidad media del terreno y en un área de 250 m2 (radio de 15 metros) un extractor con una potencia de 50-100 W bastará, pero estos datos han de ser calculados para cada caso. Existen programas basados en cálculos de elementos finitos que reproducen las características del terreno e introducen focos de captación para comprobar la movilidad del radón en función de la depresión generada.

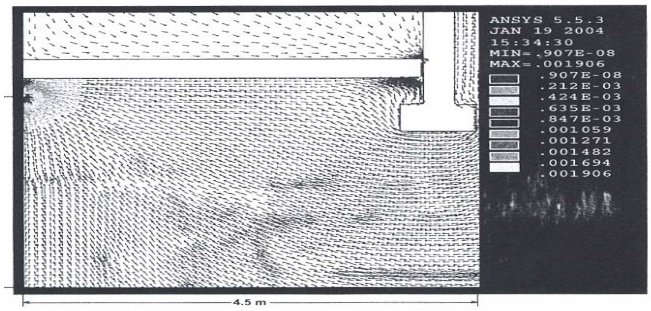



**Figura 3.9: Vectores de movilidad del radón generado por una depresión de 120 Pa por debajo de la presión atmosférica. * Simulación generada por ANSYS**

Según los estudios realizados se puede abarcar una superficie de influencia grande con el fin de dar protección a un conjunto de viviendas. Para ello se debe realizar un estudio del terreno para comprobar que la permeabilidad de este es adecuada para el sistema de extracción a gran escala. Cuanto mayor sea la permeabilidad mayor área se podrá abarcar.

- El punto de extracción se sitúa en un lugar estratégico para abarcar las viviendas que se pretendan.

- El extractor que se coloque será de mayor potencia que el que ocupa a una única vivienda.

Según los estudios realizados, se trazarán unas áreas de influencia del captador en el terreno. De esta manera se podrá ver la efectividad en función de la lejanía.

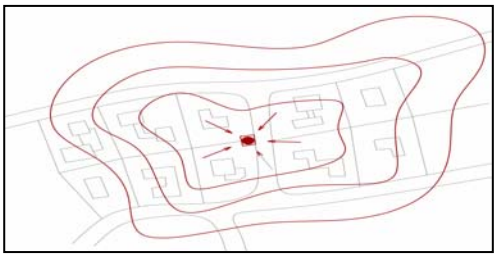


**Figura 3.10: Sistema de extracción para una gran superficie**

## 3.3 SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN

El sistema de presurización funciona a la inversa que el sistema de extracción. Introduce aire a través de un tubo insertado en el terreno. De esta manera se crea un bulbo de presiones bajo la vivienda que al ser de mayor cuantía que la presión del aire de los poros del terreno, obliga al radón a recorrer otros caminos fuera de la influencia de las presiones.

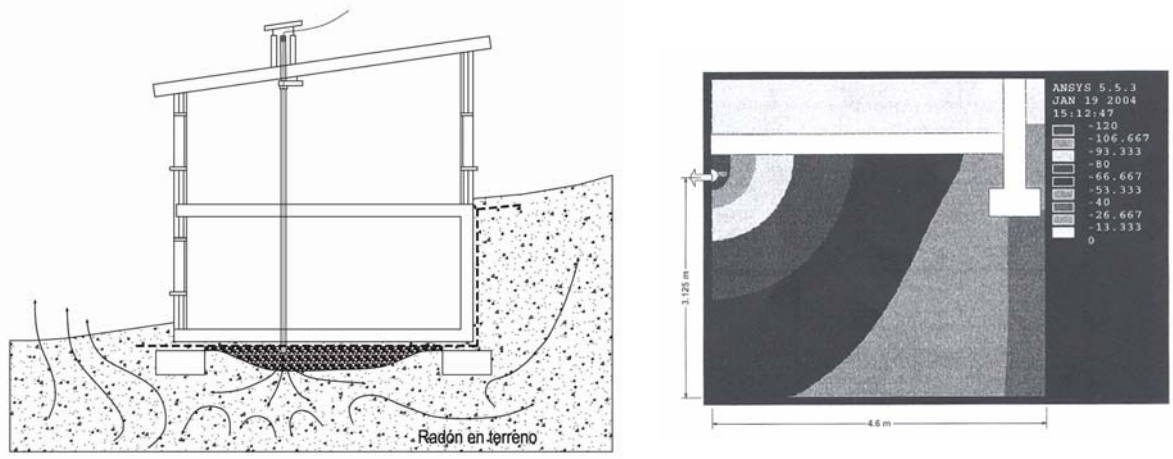



**Figura 3.11: Sistema de presurización. Área de influencia del bulbo de presiones**

## 3.4 VENTILACIÓN INTERIOR DE LA VIVIENDA

La ventilación de la vivienda es relevante en la concentración de radón resultante en el interior de la misma. La relación entre la concentración de radón y la ventilación interior de la vivienda se ha estudiado en Bélgica (Centre Scientifique et Technique de la Construction. « Le radon dans les habitations ». CSTC 1999). Para ello usó un habitáculo expuesto a una fuente de emanación de radón y en él se forzaba la ventilación del mismo (renovación de aire) con diferentes grados. El estudio arrojo los siguientes datos:

- A una ventilación de **36 m3/h** en una habitación para una persona, le corresponde una concentración de radón de **6 Bq/m3**

- A una ventilación de **10 m3/h** en una habitación para una persona, le corresponde una concentración de radón de **20 Bq/m3**

- A una ventilación de **1 m3/h** en una habitación para una persona, le corresponde una concentración de radón que supera los **200 Bq/m3**

Es lógico pensar que la ventilación de la vivienda pueda reducir la concentración de radón en la misma, aunque este aspecto no se cumplirá siempre. Una ventilación mal diseñada puede provocar una presión negativa en el interior del especio habitado. Esta depresión provocará una succión de radón proveniente del terreno que puede llegar a producir concentraciones en el espacio interior mayores de las que se tenía antes de la ventilación.

Por otro lado, en concentraciones elevadas de radón, la ventilación tiene que ser alta y ello entra en conflicto con el capítulo de ahorro energético del Código Técnico de la Edificación. A mayor renovación de aire, mayor será también el aporte de calorías o frigorías (según las temperaturas exteriores) para conseguir las condiciones de confort en el interior de la vivienda.

# 4 EFECTIVIDAD DE LAS TÉCNICAS DE PROTECCIÓN

La efectividad de todas estas técnicas solo podrá ser valorada a través de fórmulas estadísticas con mediciones de las concentraciones de radón en las viviendas, antes y después de las actuaciones.

Existen estudios estadísticos al respecto en países con mayor experiencia en el tema de protección frente al gas radón. En el siguiente cuadro realizado según estudios del BRE (Building Research Establishment. Reino Unido) se muestra la efectividad de las distintas técnicas de actuación y la recomendación de usar unas u otras en función de la concentración de radón detectada en el interior de la vivienda. Como nivel de actuación se toma el dato de 200 Bq/m3

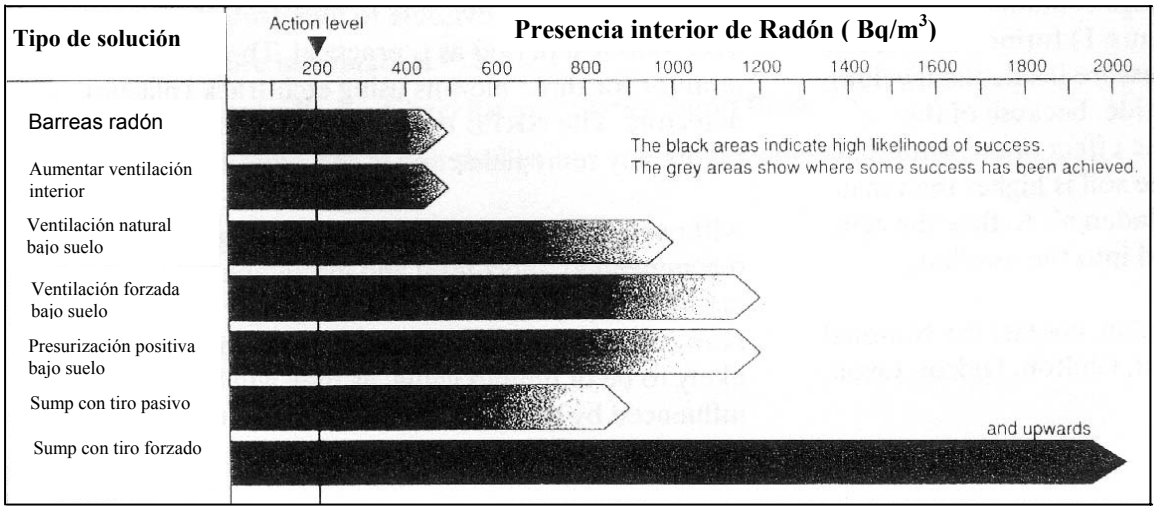



**Figura 4.1: Efectividad de las técnicas de actuación (BRE. Building Research Establishment. Reino Unido)**

En este cuadro se observa que el uso único y exclusivo de barreras de protección contra radón solo será efectivo cuando las concentraciones no sean muy elevadas (< 400 Bq/m3)

También se deduce del cuadro que la técnica que mejores resultados ha dado es la de extracción del radón bajo la vivienda con tiro forzado. En esta técnica se podrá aumentar su efectividad si se aumenta la potencia del extractor mecánico.

# 5 PROPUESTA PARA EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.

El Código Técnico de la Edificación es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones, de tal forma que permita el cumplimiento de los requisitos básicos. Es la agrupación sistematizada de toda la normativa técnica reglamentaria, que concierne a la satisfacción de los usuarios de los edificios.

En este ámbito se ha iniciado una propuesta para la inclusión de un capitulo referente a la protección frente al gas radón en los edificios, pudiéndose encuadrar en el apartado de salubridad.

La propuesta para la introducción de la problemática del radón en el Código Técnico de la Edificación deberá contemplar los siguientes puntos:

- El requisito: objetivos y exigencias
- Procedimiento de diseño para cumplir el requisito
- Las posibles soluciones constructivas y el tratamiento de los puntos conflictivos

El requisito propuesto:

OBJETIVO:

El diseño y la construcción del edificio se llevará a cabo de manera que se asegure que los ocupantes no estén expuestos a unas concentraciones de radón que pudieran implicar un riesgo para la salud.

EXIGENCIAS:

Para conseguir el objetivo se propone como valor medio anual de concentración a nivel de diseño, el indicado por la Comisión Europea: 200 Bq/m3. Este valor no debería rebasarse dentro de las dependencias habitadas de los edificios.

Para ello, el documento propone es siguiente esquema de actuación:

1. Localización del solar en el mapa de categoría de riesgo (CSN) y entrada en el diagrama de decisiones.
2. Elección de la actuación de remedio (cuadro de soluciones). Fichas de soluciones aceptadas.
3. Consideraciones específicas y tratamiento de puntos conflictivos

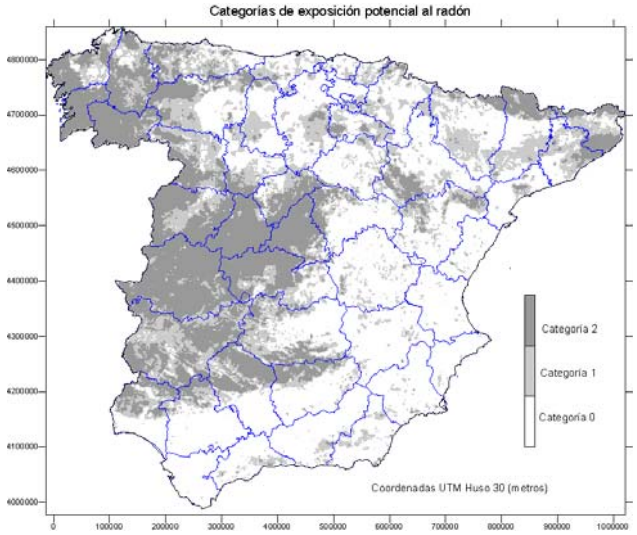



**Figura 5.1: Mapa de categoría de riesgo (Consejo de Seguridad Nuclear)**

El Consejo de seguridad Nuclear tiene elaborados mapas de riesgo de radón. En éstos se ha dividido el territorio nacional en tres categorías en función de la potencialidad de hallar una concentración de radón

determinada para una vivienda estándar en una ubicación concreta. Estos mapas se han detallado a nivel local para tener mayor precisión en la ubicación de la construcción.

**Tabla 5.1: Tabla descriptiva de categoría de riesgo**

| Categoría | Exposición Potencial | Tasa exposición (μR/h) | Conc. de $^{226}$Ra (Bq/kg) | Tasa Exhalación Bq/m$^2$.s | Conc. Media $^{222}$Rn (Bq/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Baja | <7,5 | <37,5 | <0,053 | <150 |
| 1 | Media | 7,5-10 | 37,5-50 | 0,053-0,070 | 150-200 |
| 2 | Alta | >10 | >50 | >0,070 | >200 |

El documento propone un primer paso de localización de la categoría de riesgo donde se vaya a construir. Posteriormente se entraría en un diagrama de actuación que nos indicará que solución se debe seguir.

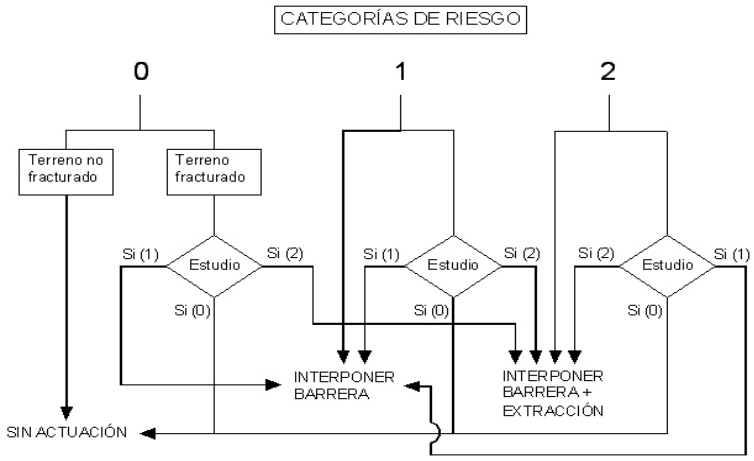



**Figura 5.2: Diagrama de actuación en función de la categoría de riesgo**

La actuación genérica se traduce en soluciones constructivas para casos reales:

**Tabla 5.2: Tabla de elección de solución constructiva**

| | | CATEGORIA DE RIESGO | | |
|---|---|---|---|---|
| **TIPO DE EDIFICIO** | **ELEMENTO CONSTRUC** | **0** | **1** | **2** |
| 1. EDIFICIO CONSTRUIDO UNICAMENTE **SOBRE RASANTE** | SOLERA | Sin actuación | **1.S.1.1.** Barrera bajo solera<br>**1.S.1.2.** Barrera sobre solera<br>*(1) | **1.S.2.1.** Barrera bajo solera más extracción. *(2)<br>**1.S.2.2.** Barrera sobre solera más extracción. *(2) |
| | FORJADO SANITARIO | Sin actuación | **1.F.1.1.** Barrera bajo forjado sanitario<br>**1.F.1.2.** Barrera sobre forjado sanitario<br>*(1) | **1.F.2.1.** Barrera sobre forjado sanitario más extracción. *(2)<br>**1.F.2.2.** Barrera sobre forjado más ventilación. |
| 2. EDIFICIO CONSTRUIDO CON PARTE **BAJO RASANTE** | SOLERA | Sin actuación | **2.S.1.1.** Barrera bajo solera: Igual a solución **1.S.1.1.**<br>**2.S.1.2.** Barrera sobre solera: Igual a solución **1.S.1.2.**<br>*(1) | **2.S.2.1.** Barrera bajo solera más extracción. Igual a solución **1.S.2.1** *(2)<br>**2.S.2.2.** Barrera sobre solera más extracción. Igual a solución **1.S.2.2** *(2) |
| | FORJADO SANITARIO | Sin actuación | **2.F.I.1.** Barrera bajo forjado sanitario: Igual a solución **1.F.1.1.**<br>**2.F.1.2.** Barrera sobre forjado sanitario: Igual a solución **1.F.1.2.**<br>*(1) | **2.F.2.1.** Barrera sobre Forjado más extracción. Igual a solución **1.F.2.1** *(2)<br>**2.F.2.2.** Barrera sobre forjado más ventilación periscopica. |
| | MURO DE SOTANO | Sin actuación | **2.M.1.1.** Barrera en cara exterior de muro de sótano | **2.M.2.1.** Barrera en cara exterior de muro de sótano: Igual a **2.M.1.1** |

Esta tabla conduce al técnico proyectista hacia unas soluciones concretas que se detallan en fichas de soluciones aceptadas:

Ficha ejemplo: (1.S.1.1. Barrera bajo solera en categoría 1 de riesgo)

Barrera contra radón (Exigencias):

- Impermeable al paso de gases. (espesores distintos según material)
- Resistencias mecánicas: Tracción, elongación, desgarro, punzonamiento.
- Durabilidad: Ante condiciones adversas del terreno.
- Tratamiento de puntos conflictivos: pasos, solapes, sellados, refuerzos.
- Materiales: Polietilenos, bituminosos, elastómeros... (Láminas y proyecciones)

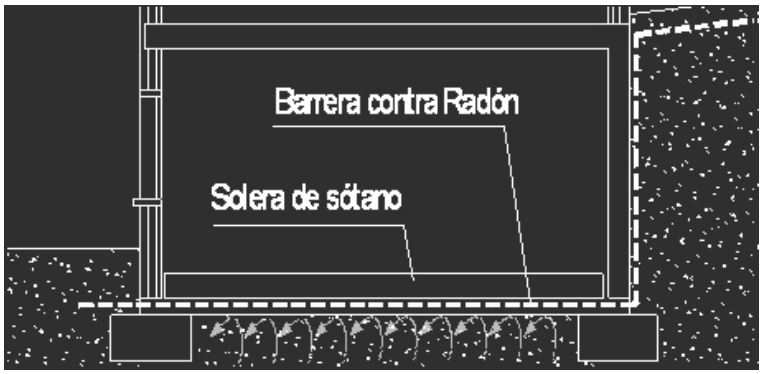



**Figura 5.3: Solución constructiva 1.S.1.1. Barrera bajo solera en categoría 1 de riesgo**

Este proceso ayuda al proyectista a la elección de una solución constructiva para evitar la entrada de radón en el edificio que se deberá complementar con los documentos, también presentados, sobre tratamiento de puntos singulares y especificaciones técnicas.

# 6 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CURSO

Personal investigador del Instituto Eduardo Torroja solicitó, junto con personal de la Universidad de Cantabria, un proyecto de investigación al CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) con el título de **"Estudio de la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas radón en los edificios existentes".**

Este proyecto nace de la necesidad de aportar datos sobre la protección en edificios existentes, entendiendo que resulta más costoso y conflictivo, actuar sobre este tipo de viviendas ya construidas que introducir las medidas en la fase de diseño.

- Proyecto coordinado

- **Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc (CSIC)**
- **Cátedra Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria.**

* subvencionado por el **Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)**

Se trata de estudiar la viabilidad y la efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas Radón en los edificios existentes.

Para ello se ha construido un módulo que reproduce una tipología característica de una vivienda unifamiliar en España para poder estudiar el comportamiento del gas radón en el interior, y ensayar posteriormente los diferentes sistemas de protección frente al gas radón.

- Duración: año 2005: construcción del módulo experimental y primeras medidas. Años 2006 y 2007: estudio de movilidad de radón y efectividades de las acciones de remedio introducidas.

## 6.1 Elección del lugar de construcción

Para la elección del lugar nos hemos apoyado en los datos obtenidos de las mediciones realizadas a nivel nacional sobre contenido de radón en el terreno por diferentes organismos, coordinadas por el CSN y ENUSA a través del proyecto MARNA (1) y posteriormente Proyecto RADON.

A raíz de estos datos se propuso la zona de Saélices el Chico, próximo a Ciudad Rodrigo (Salamanca), por la alta presencia de radón registrada en la zona. No obstante se realizaron medidas de concentración de radón en suelos y permeabilidades del terreno.

ESTUDIOS DE SUELO

- 20 registros con sondas a **1 metro de profundidad**.
- Concentración de radón media. **250.000 Bq/m3**. (70.000 Bq/m3 hasta 500.000 Bq/m3)
- Una permeabilidad media para el suelo de **$10^{-12}$ m2/s.** (Permeabilidad MEDIA)

## 6.2 Construcción del módulo experimental

Se trata de construir un módulo de vivienda experimental reproduciendo sistemas constructivos similares a los usados tradicionalmente en España.

Por otro lado se han creado unos espacios ocupacionales suficientemente amplios como para ser representativos de una vivienda real. (planta + semisótano)

En ellos se ha estudiado la movilidad del gas desde el terreno hacia el interior y la permanencia y concentración en los espacios de sótano y planta baja.

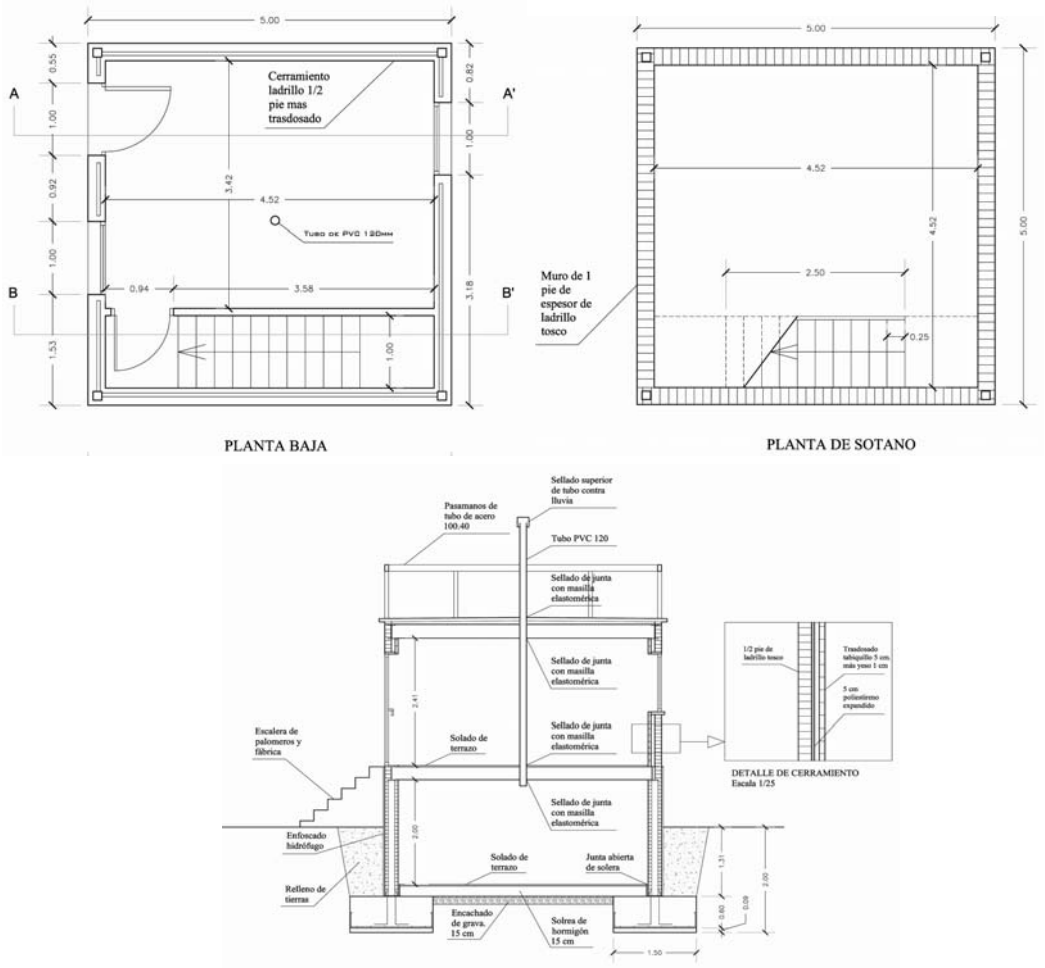



**Figura 6.1: Plantas y sección del módulo construido**

[1] CSN y ENUSA. Proyecto MARNA (Mapa de radiación gamma natural). CSN 2000

**Figura 6.2: Fotografía del módulo y el laboratorio instalado en el inerior**

## 6.3 Medidas de radón en interior sin medidas de protección

El inicio de la investigación se centró en el estudio de las concentraciones interiores y su correlación con las variables meteorológicas. Ello se ha llevado a cabo mediante registros de concentraciones de radón en el sótano y en la planta baja contrastando con datos de viento, precipitaciones, presiones atmosféricas, temperaturas, humedades.

De ello se han obtenido las siguientes conclusiones:

- La **presión atmosférica** parece el parámetro determinante de las variaciones en la concentración de radón observadas en el interior del módulo. A mayor presión atmosférica menor concentración debido al efecto de la sobre-presión originada en poros en el terreno que impide la exhalación del gas.

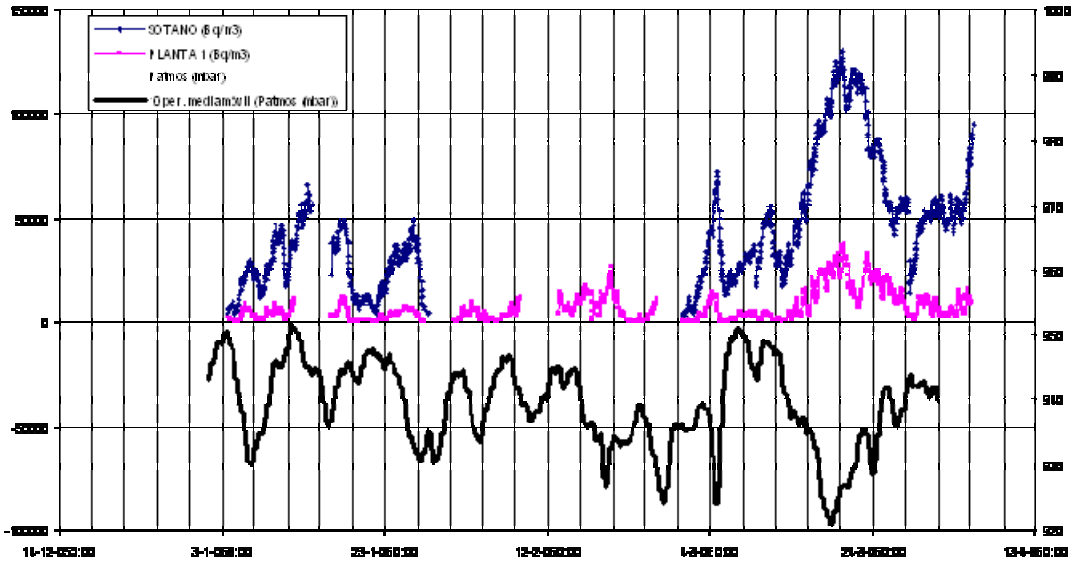



**Figura 6.3: Gráfica de concentración de radón superpuesta con presión atmosférica**

- Los efectos de la **lluvia** parecen evidentes cuando la misma adquiere un valor significativo. Ello se debe a una saturación del terreno circundante del módulo que obliga al gas a exhalar por la parte seca bajo el terreno y penetrar al interior de la vivienda.

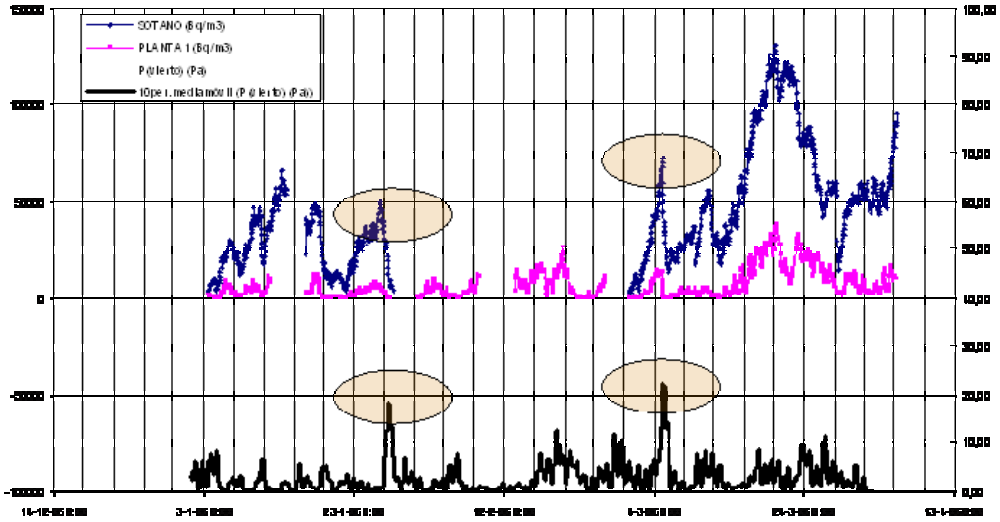



**Figura 6.4: Gráfica de concentración de radón superpuesta precipitaciones**

- La **velocidad del viento** no parece un factor determinante en la variación de cocnetración de radón cuando el módulo se encuentra sin medidas de protección.
- Durante el periodo analizado, no parece haber correlación entre ninguna de las **temperaturas** medidas y la concentración de radón. Únicamente se corresponde con las variaciones en un periodo diurno.

## 6.4 Soluciones correctoras de la concentración de radón

Tras el periodo de tiempo necesario para estudiar las concentraciones en el interior cuando el módulo se encuentra sin proteger (vivienda actual en España) se han ido introduciendo diversas soluciones correctoras con el fin de evaluar la eficiencia de las mismas en la corrección de las concentraciones de radón iniciales. El proyecto aún no ha finalizado por lo que los datos que se ofrecen son provisionales.

Las medidas introducidas y proyectadas hasta el final del proyecto han sido las siguientes:

- Extracción de radón bajo el módulo mediante tiro natural
- Extracción de radón del terreno circundante del módulo mediante tiro natural
- Extracción de radón bajo el módulo mediante tiro forzado
- Extracción de radón del terreno circundante del módulo mediante tiro forzado
- Presurización del terreno bajo el módulo mediante tubo conectado a un extractor invertido.
- Ventilación de sótano mediante extractor mecánico
- Barrera frente al paso de radón con poliuretano.

De todas ellas no existen aún datos suficientes como para ofrecer una efectividad de todas ellas, pero si podemos decir que, según los registros de los que disponemos, las medidas correctoras que hacen uso de un extractor mecánico para expulsar el gas bajo el terreno de asiento del módulo, son las que han dado unos índices de reducción de radón mayor hasta el momento. Aun faltan por probar todas las soluciones planteadas por lo que no podemos tomar esa efectividad como la de mayor rendimiento.

Las soluciones de extracción mediante tiro natural también están dando buenos resultados.

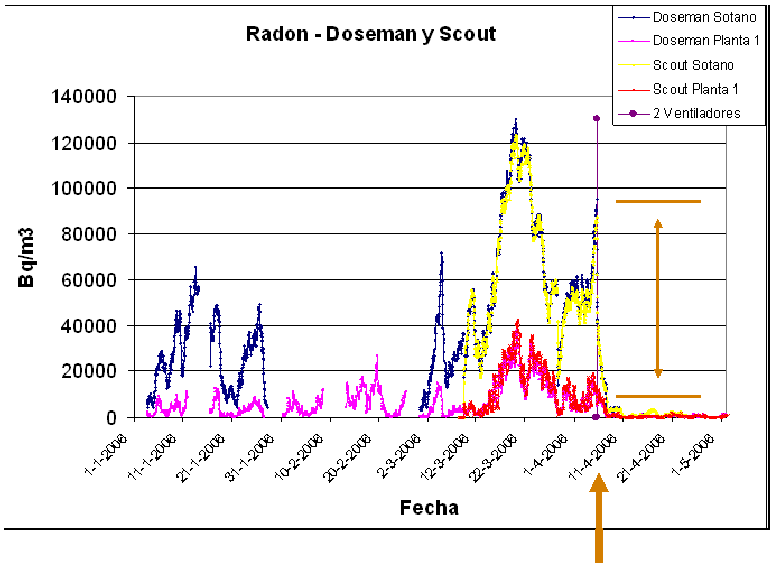



**Figura 6.5: Gráfica de concentración de radón cuando se inicia la extracción natural bajo el módulo**

# 7 CONCLUSIONES

- El gas radón presenta un reto frente a las soluciones constructivas, tanto en el ámbito del diseño de las mismas como en las instalaciones de extracción.
- El estudio de suelos de asiento, y de las características de la vivienda será determinante para elegir la solución mas apropiada.
- La efectividad de la solución correctora introducida se deberá verificar realizando medidas de concentración de radón.
- Las soluciones constructivas de remedio frente a la entrada de radón pueden compatibilizarse con las medidas de protección frente a la humedad.
- En viviendas construidas debe prevalecer el principio de mínima intervención.

Seminario S7

# Habitabilidad edificatoria. Confort acústico y térmico

**Seminario 7 del Curso de Estudios Mayores de la Construcción:**
**Habitabilidad edificatoria. Confort acústico y térmico.**

Madrid, 26 y 28 de marzo de 2007

# EL RUIDO EXTERIOR A LOS EDIFICIOS. REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA: LA LEY 37/2003, DEL RUIDO Y SU DESARROLLO REGLAMENTARIO.

**José Manuel Sanz Sa**
Ingeniero Industrial.

## ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN. ..... 3
2 ACCIONES FRENTE AL RUIDO AMBIENTAL EN LA UNIÓN EUROPEA. ..... 5
3 ACCIONES FRENTE AL RUIDO AMBIENTAL EN ESPAÑA. ..... 6
4 LA NUEVA LEGISLACIÓN BÁSICA SOBRE CONTAMINACIÓN aCÚSTICA. ..... 9
4.1 LA Ley 37/2003, del Ruido. ..... 9
4.2 DESARROLLO REGLAMENTARIO DE LA LEY DEL RUIDO. ..... 15
4.2.1 REAL DECRETO 1513/2005, SOBRE LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. ..... 15
4.2.1.1 Información al público. ..... 16
4.2.1.2 Índices de Ruido $L_{den}$ y $L_{n.}$ ..... 16
4.2.1.3 Métodos de evaluación. ..... 17
4.2.1.4 Mapas estratégicos de ruido. ..... 18
4.2.1.5 Planes de Acción. ..... 21
4.2.2 PROYECTO DE REAL DECRETO, POR EL QUE SE COMPLETA EL DESARROLLO BÁSICO REGLAMENTARIO DE LA LEY DEL RUIDO. ..... 22
5 INTERRELACIONES ENTRE LA LEY DEL RUIDO Y EL CTE . ..... 25
5.1 Objetivos de calidad acústica. ..... 25
5.2 Exigencias básicas de protección frente al ruido del CTE DB-HR. ..... 29
5.2.1 Procedimiento de verificación. ..... 29
5.2.2 Caracterización y cuantificación de las exigencias. ..... 30
5.2.3 Aislamiento acústico a ruido aéreo. Valores límite de aislamiento. ..... 30

# EL RUIDO EXTERIOR A LOS EDIFICIOS. REGULACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA: LA LEY 37/2003, DEL RUIDO Y SU DESARROLLO REGLAMENTARIO.

***José Manuel Sanz Sa***
*Ingeniero Industrial.*
*Jefe de Área de la DGCEA*
*MMA*

## 1 INTRODUCCIÓN.

Se estima que entre el 17 % y el 20 % de los habitantes de la Unión Europea están expuestos a niveles de ruido producidos por el trafico, durante el periodo diurno, superiores a los 65 dB(A), que son los considerados como aceptables por Organismos internacionales, mientras que alrededor de 170 millones de ciudadanos están expuestos a niveles de ruido entre 55 y 65 dB(A).

El ruido ambiental al que se encuentra expuesta la población esta generado por fuentes de emisión de ruido muy distintas entre sí, apareciendo entre las más significativas las infraestructuras y medios de transporte (tráfico rodado, tráfico ferroviario, tráfico aéreo), las actividades e instalaciones industriales, comerciales, deportivo-recreativas y de ocio, la maquinaria, las obras de construcción de edificios e ingeniería civil, así como, otras actividades o comportamientos (culturales, ruido de vecindad, etc.).

En la actualidad, las fuentes de ruido que inciden más directamente en el medio ambiente sonoro en general, y muy particularmente en las zonas urbanas, están relacionadas con los medios de transporte de personas y mercancías.

De entre los medios de transporte, parece ser que el trafico rodado (turismos, camiones, autobuses, motocicletas, etc.) es el que causa mayores molestias a la población (20 - 25 %) y su evolución en la ultima década no muestra mejoras significativas, constituyendo, sin duda, la fuente de ruido ambiental más importante en nuestras ciudades. De hecho, en la vida actual y en muchas situaciones el ruido ambiental producido por el tráfico rodado es considerado como el ruido de fondo sobre el que se superpone el producido por otras fuentes de ruido, sobre todo en el medio ambiente urbano.

En España, la rápida industrialización, el particular desarrollo urbanístico, el crecimiento de las actividades de ocio y del turismo, así como, el espectacular aumento del parque automovilístico y del tráfico aéreo en determinadas zonas, el clima y el carácter extrovertido típicamente español han provocado altos niveles de exposición al ruido, que se extienden en el espacio y en el tiempo.

Esta situación viene siendo corroborada por diversas encuestas realizadas por el Euro Barómetro, o la más reciente sobre nivel, calidad y condiciones de vida, publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE). En esta última encuesta se pone de manifiesto que el problema más habitual en nuestro país, en su conjunto, es el de los ruidos, tanto de los procedentes de la calle, como de los originados por los vecinos, que se estima afectan al 25 % de los hogares, situándose por delante de la contaminación y otros problemas ambientales.

Los resultados anteriores ponen de manifiesto, junto con el incremento de las quejas recibidas de los ciudadanos que se sienten afectados por la exposición a altos niveles de ruido, que el ruido ambiental en España es una de las principales causas de deterioro de la calidad de vida. No obstante, estos resultados se deben de tomar con ciertas cautelas en su interpretación, sobre todo a efectos comparativos, debido a la diversidad de métodos de evaluación de la exposición al ruido ambiental que se vienen utilizando.

El análisis detallado de los datos disponibles muestra que las diferencias observadas entre las ciudades y zonas urbanas, no parecen estar originadas por las diferencias en el tamaño de las respectivas ciudades, sino, por las diferencias en las estrategias adoptadas en la realización de las evaluaciones, lo que pone de manifiesto la importancia de adoptar una metodología de evaluación de la exposición al ruido ambiental si se quiere comparar situaciones. En estudios realizados, las discrepancias encontradas, tanto en los procedimientos de medida utilizados, como en los de evaluación aplicados, hacen poco comparables los resultados obtenidos y por tanto, difícil evaluar el estado de situación del medio ambiente sonoro en distintas áreas geográficas.

Este problema se ha puesto de manifiesto, de igual modo, en el ámbito de la Unión Europea, y así se recoge en el denominado "Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido" publicado, por la Comisión, de la Unión Europea, en noviembre de 1.996, en el que se indica que dada la escasa información disponible sobre la exposición al ruido y los defectos observados en el análisis de las medidas existentes, es necesario cambiar el planteamiento global si se desea tener éxito en la política de reducción del ruido. Para

ello es necesario adoptar medidas para mejorar la exactitud y la estandarización de los datos con objeto de que las diversas acciones resulten más coherentes.

Acciones de protección contra la exposición al ruido ambiental de la población en general, se han venido desarrollando en todos los ámbitos de las Administraciones Públicas (comunitarias, estatales, autonómicas y entes locales).

## 2 ACCIONES FRENTE AL RUIDO AMBIENTAL EN LA UNIÓN EUROPEA.

Durante mas de veinte años, la política medioambiental comunitaria sobre el ruido ha consistido fundamentalmente en el establecimiento de niveles máximos de emisión sonora exigidos a vehículos, aeronaves y maquinas, con el objeto de lograr el mercado único, en aplicar, en el ámbito comunitario, los acuerdos internacionales sobre ruido de las aeronaves, así como, establecer procedimientos de certificación, para garantizar que los vehículos y equipos cumplan, en el momento de la fabricación, los limites de emisión de ruido establecidos en las directivas comunitarias correspondientes.

A lo largo de los períodos de ejecución de los Planes de Acción Comunitarios se han ido publicando una serie de Directivas reguladoras de los niveles de ruido, que se pueden clasificar en los grupos siguientes:

- Ruido exterior producido por vehículos, aeronaves, maquinaria y equipos de uso al aire libre.
- Ruido en el ambiente laboral (86/188/CEE).
- Ruido producido por aparatos domésticos (85/598/CEE).

Más recientemente, como desarrollo del "Libro Verde sobre la política futura de lucha contra el ruido", se aprobó la Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental que tiene por objeto establecer un enfoque común destinado a luchar de manera prioritaria contra los efectos de la exposición al ruido ambiental mediante la aplicación progresiva de las siguientes medidas:

- Armonización de índices de ruido y métodos de evaluación.
- Agrupación de datos armonizados en mapas estratégicos de ruido.
- Elaboración de planes de acción.

- Publicación de toda la información sobre ruido ambiental disponible.

Se prevé que todos estos puntos se desarrollen en dos fases, la primera que finaliza en julio de 2007, y la segunda en 2012.

Es de destacar que la aplicación de la Directiva 2002/49/CE, supone la adopción de índices ($L_{den}$ y $L_{night}$), y de métodos de cálculo y medición comunes, para la evaluación de la exposición al ruido ambiental.

También fija, la directiva, unos requisitos mínimos, orientaciones y objetivos generales en lo referente a: cartografía del ruido; planes de acción; información a la población y utilización de índices adicionales.

Así mismo, pretende sentar más bases que permitan elaborar medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por fuentes específicas, en particular los medios de transporte y los equipos al aire libre.

## 3 ACCIONES FRENTE AL RUIDO AMBIENTAL EN ESPAÑA.

La inexistencia en España de una Ley básica sobre contaminación acústica, hasta el año 2003, que se publica la Ley 37/2003, del Ruido, ha tenido como consecuencia que la regulación de esta materia se encuentre dispersa en diferentes textos legales y reglamentarios, tanto estatales como autonómicos, así como en ordenanzas municipales ambientales y sanitarias de algunos Entes Locales.

Tradicionalmente en España, las principales actuaciones de prevención y control del ruido se han desarrollado en el ámbito de los Ayuntamiento a través de las Ordenanzas Municipales y de la incorporación a la acción municipal de departamentos de medio ambiente, siendo una de sus competencias la lucha contra el ruido.

Inicialmente la gestión de protección contra el ruido tuvo una visión fundamentalmente sancionadora y sectorialista, es decir, solamente se recurría al procedimiento de imposición de multas y se penalizaban únicamente las actividades industriales y actos de conducta.

Las actuales Ordenanzas tienden a ampliar el campo de actuación municipal respondiendo más a una gestión basada en la prevención.

La acción se realiza a través de las correspondientes licencias y autorizaciones municipales que abarcan todo tipo de actividades, que en algunos casos incluye el planeamiento urbano y la organización de actividades y servicios. Entre estas se incluyen la organización del tráfico de los transportes, la recogida de residuos, la ubicación de edificios de especial sensibilidad, el aislamiento acústico y la planificación y proyectos de vías de circulación con sus elementos de aislamiento y amortiguación acústica. Se establecen asimismo criterios de prevención específica sobre condiciones acústicas en edificios, ruidos de vehículos, comportamiento de ciudadanos en la vía pública y en la comunicación diaria, trabajo en vías públicas, máquinas y aparatos susceptibles de producir ruidos, así como las condiciones de instalación y apertura de actividades.

Cabe destacar que casi todas las Ordenanzas Municipales hacen referencia a los acuerdos de Ginebra de 20 de marzo de 1958, y directivas de la UE, en lo que al ruido de vehículos se refiere, y a la norma básica de edificación NBE-CA-81, y sus modificaciones posteriores, en lo relativo a aislamiento acústico de edificios.

Más recientemente algunas Comunidades Autónomas han establecido regulaciones específicas sobre protección frente al ruido ambiental, bien leyes o decretos, siendo de destacar que en estos desarrollos normativos se han seguido criterios muy diferentes, lo que ha llevado a la dispersión de la legislación actual.

En el ámbito estatal, excluyendo las disposiciones sobre ruido relativas al medio ambiente laboral, la regulación sobre ruido medioambiental se concreta en las siguientes normas:

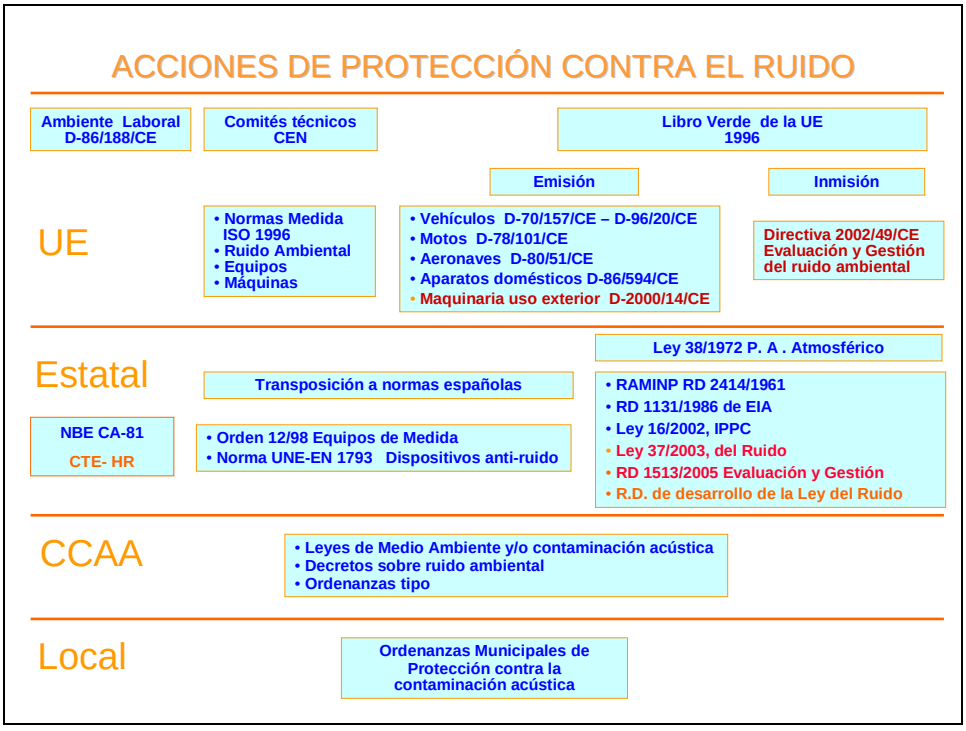
El Reglamento de actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, aprobado por el Decreto 2414/1.961, de 30 de Diciembre, somete a licencia municipal la instalación de industrias o actividades que puedan producir incomodidades, alterar las condiciones normales de salubridad e higiene del medio ambiente, ocasionar daños a las riquezas públicas o privadas o cuando impliquen riesgos graves para las personas o bienes.

Es de destacar, que a pesar de la antigüedad de este Reglamento, sigue siendo la principal base legal de actuación contra ruido ambiental de que disponen los Ayuntamientos, y ha desempeñado y sigue desempeñando un importante papel en la prevención del ruido al facultar a los Entes Locales, a través de la tramitación de licencias, para exigir las medidas correctoras adecuadas, así como para examinar la

idoneidad de los emplazamientos de acuerdo con la calificación de la actividad a implantar.

Otras leyes como la Ley 14/1.986, de 25 de abril, General de Sanidad, la Ley 4/1.989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres, la Ley 22/1.988, de 28 de julio, de Costas, o el Decreto 2816/82, sobre espectáculos públicos y actividades de ocio, regulan con carácter básico, diversos aspectos del ruido ambiental.

Por otra parte, en el Código Técnico de la Edificación (CTE), la Norma Básica de la Edificación NBE-CA 81, sobre condiciones acústicas de los edificios, aprobada por Real Decreto 1.909/1.981, de 24 de julio y sus posteriores modificaciones (ultima de 1.988), señalan las condiciones acústicas que deben reunir los materiales de construcción desde el punto de vista de la absorción y aislamiento acústicos, así como, soluciones constructivas y recomendaciones sobre niveles de ruido tanto en el exterior como en el interior de las edificaciones, para garantizar un nivel acústico adecuado al uso y actividad de sus ocupantes, siendo su aplicación preceptiva en todo el Estado.




El Código Técnico de la Edificación ha sido modificado mediante el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y actualmente está en fase de tramitación el Documento Básico "Protección frente al ruido" (DB-HR), que tiene por objeto establecer reglas y

procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido de los edificios.

Es de desatacar que con la publicación de la Ley del Ruido, se establecen requisitos acústicos que deben cumplir las edificaciones en relación con el ruido ambiental que se contemplan en el nuevo CTE-DB-HR, que posteriormente se analizarán.

# 4 LA NUEVA LEGISLACIÓN BÁSICA SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.

Frente al problema del ruido, en la legislación española, el mandato constitucional de proteger la salud y el medio ambiente engloban, en su alcance, la protección contra la contaminación acústica, que tiene también encaje en algunos derechos fundamentales reconocidos por la Constitución.

## *4.1 LA LEY 37/2003, DEL RUIDO.*

Para hacer efectiva esta protección, la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, constituye la norma básica de carácter general y ámbito estatal reguladora de este fenómeno, siendo su objetivo la prevención, vigilancia y reducción de la contaminación acústica (ruido y vibraciones) para evitar y reducir, los daños que de esta puedan derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente.

Es de desatacar el ámbito de aplicación de la ley que se delimita, desde el punto de vista subjetivo, por referencia a todos los emisores acústicos de cualquier índole, así como, a las edificaciones en su calidad de receptores acústicos.

En el articulado de la ley se incorporaron las previsiones contenidas en el articulado de la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y se establecen las bases para el desarrollo de una estructura básica armonizada de ámbito estatal, que permita reconducir la normativa dispersa sobre contaminación acústica que se ha estado generando con anterioridad, en los ámbitos autonómico y local.

La Ley 37/2003, del Ruido, regula la contaminación acústica con un alcance y contenido más amplio que el de la propia Directiva, ya que además de contemplar el establecimiento de los parámetros y medidas para la evaluación y gestión del ruido ambiental, incluye el ruido y las vibraciones en el espacio interior de determinadas edificaciones. Así mismo, dota de mayor cohesión a la ordenación de la contaminación

acústica en el ámbito estatal, a través de una adecuada distribución de las competencias administrativas y el establecimiento de los instrumentos oportunos para la mejora de la calidad acústica de nuestro entorno.

| **Distribución de competencias administrativas** |
|---|
| *1. Serán de aplicación las reglas contenidas en los siguientes apartados de este artículo con el fin de atribuirla competencia para:*<br>• *La elaboración, aprobación y revisión de los mapas de ruido y la correspondiente información al público.*<br>• *La delimitación de las zonas de servidumbre acústica y las limitaciones derivadas de dicha servidumbre.*<br>• *La delimitación del área o áreas acústicas integradas dentro del ámbito territorial de un mapa de ruido.*<br>• *La suspensión provisional de los objetivos de calidad acústica aplicables en un área acústica.*<br>• *La elaboración, aprobación y revisión del plan de acción en materia de contaminación acústica correspondiente a cada mapa de ruido y la correspondiente información al público.*<br>• *La ejecución de las medidas previstas en el plan.*<br>• *La declaración de un área acústica como zona de protección acústica especial, así como la elaboración, aprobación y ejecución del correspondiente plan zonal específico.*<br>• *La declaración de un área acústica como zona de situación acústica especial, así como la adopción y ejecución de las correspondientes medidas correctoras específicas.*<br>• *La delimitación de las zonas tranquilas en aglomeraciones y zonas tranquilas en campo abierto.* |
| *2. En relación con las infraestructuras viarias, ferroviarias, aeroportuarias y portuarias de competencia estatal, la competencia para la realización de las actividades enumeradas en el apartado anterior, con excepción de la aludida en su párrafo c), corresponderá a la Administración General del Estado.* |
| *3. En relación con las obras de interés público, de competencia estatal, la competencia para la realización de la actividad aludida en el párrafo d) del apartado 1 corresponderá a la Administración General del Estado.* |
| *4. En los restantes casos:*<br>• *Se estará, en primer lugar, a lo que disponga la legislación autonómica.*<br>• *En su defecto, la competencia corresponderá a la comunidad autónoma si el ámbito territorial del mapa de ruido de que se trate excede de un término municipal, y al ayuntamiento correspondiente en caso contrario.* |

En la Ley del Ruido la contaminación acústica se define como “la presencia en el ambiente de ruido o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine,

que implique molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, incluso cuando su efecto sea perturbar el disfrute de los sonidos de origen natural, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente".

Asimismo, en la Ley del Ruido el concepto de emisor acústico comprende cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica, y se excluye del ámbito de aplicación de la ley, la contaminación acústica originada en la práctica de las actividades domésticas o las relaciones de vecindad, siempre y cuando no exceda los límites tolerables, de conformidad con las ordenanzas municipales y los usos locales. También quedan excluidas las actividades militares y la contaminación acústica producida por la actividad laboral en el lugar del trabajo, que se regirán por su legislación sectorial.

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido tiene como finalidad la prevención, la vigilancia y la corrección de la contaminación acústica, mediante el establecimiento de objetivos de calidad sonora, conjugando fundamentalmente el planeamiento urbanístico, la implantación de infraestructuras del transporte y la concesión de licencias a actividades clasificadas, con las medidas de protección contra la contaminación acústica.

Los aspectos más novedosos que contempla la Ley del Ruido, son:

- Zonificación acústica de zonas del territorio en áreas acústicas clasificadas en atención al uso predominante del suelo. Las áreas acústicas son zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. La representación gráfica de las áreas acústicas sobre el territorio dará lugar a la cartografía de los objetivos de calidad acústica.

  Un supuesto peculiar de zonificación acústica es el de las «zonas de servidumbre acústica», que se definen como los sectores del territorio situados en el entorno de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo y portuario en los que las inmisiones podrán superar los objetivos de calidad acústica y donde se podrán establecer restricciones para determinados usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de, al menos, cumplir los valores límites de inmisión establecidos para aquellos.

- .Establecimiento, con carácter básico de los objetivos de calidad acústica aplicables a cada tipo de área acústica y los aplicables al espacio interior habitable de edificaciones sensibles, de forma que se garantice un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica.

  En este sentido se define la calidad acústica como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito.

- Elaboración de mapas estratégicos de ruido en aglomeraciones urbanas, y en el entorno de las grandes infraestructuras de transporte, orientados a disponer de información uniforme sobre los niveles de contaminación acústica en los distintos puntos del territorio, aplicando criterios homogéneos de evaluación que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar.

- Elaboración de mapas de ruido en las áreas acústicas en que se superen los objetivos de calidad.

- Integración de la variable ruido a los procesos de planificación territorial y planeamiento urbanístico, ligando distintas áreas de sensibilidad acústica, con los usos compatibles del suelo. En este sentido se establece:

  a) La planificación territorial y planeamiento urbanístico, que deben tener en cuenta siempre los objetivos de calidad acústica de cada área acústica a la hora

de acometer cualquier clasificación del suelo, aprobación de planeamiento o medidas semejantes.

b) La prohibición, salvo excepciones, de conceder licencias de construcción de edificaciones destinadas a viviendas, usos hospitalarios, educativos o culturales si los índices de inmisión incumplen los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación a las correspondientes áreas acústicas.

Se considera de forma diferenciada la recuperación o corrección de zonas urbanizadas actualmente ruidosas, y la prevención contra el ruido generado en los nuevos desarrollos urbanísticos, con especial referencia a las zonas silenciosas.

Otros aspectos igualmente importantes que aborda la Ley son, la información al público y adopción de medidas de fomento, mediante el desarrollo de campañas para la formación y la sensibilización en los aspectos relacionados con la contaminación acústica, así como el fomento de iniciativas para su reducción, por medio del intercambio de experiencias y la difusión de las buenas prácticas.

A la hora de establecer objetivos de calidad sonora se considera de forma diferenciada la recuperación o corrección de ambientes sonoros degradados, de la prevención contra el ruido en las nuevas situaciones.

Con esta diferenciación se plantea, por una parte, la necesidad de corregir el impacto acústico en situaciones ya consolidadas, donde las posibilidades de actuación son muy limitadas. La situación más típica corresponde a situaciones urbanas, donde las infraestructuras y las edificaciones próximas a ella conviven dentro de un tejido urbano complejo, existiendo, por lo general, niveles de exposición al ruido elevados.

La disminución de estos niveles difícilmente puede abordarse mediante actuaciones estrictamente "acústicas", por lo que es preciso, en la mayoría de los casos, actuar mediante planes específicos de recuperación a medio y largo plazo, que afectan a toda la actividad de la zona, a la gestión del trafico y a la rehabilitación acústica de edificios.

En estos casos, la adopción de unos objetivos de calidad acústica muy estrictos dejaría en una situación anómala a gran parte de lo núcleos urbanos de las ciudades. Para evitarlo, se trata de adoptar unos objetivos de calidad acústica de referencia, asociados a planes y programas de lucha contra el ruido, de forma que se vayan adaptando a los

avances de las políticas de lucha contra el ruido, y modificando en función de la evolución de las demandas sociales.

| ***La Ley del ruido y la planificación territorial y urbanística.*** |
|---|
| *Artículo 6. Ordenanzas municipales y planeamiento urbanístico.*<br><br>*Corresponde a los ayuntamientos aprobar ordenanzas en relación con las materias objeto de esta ley. Asimismo, los ayuntamientos deberán adaptar las ordenanzas existentes y el planeamiento urbanístico a las disposiciones de esta ley y de sus normas de desarrollo.* |
| *Artículo 17. Planificación territorial.*<br><br>*La planificación y el ejercicio de competencias estatales, generales o sectoriales, que incidan en la ordenación del territorio, la planificación general territorial, así como el planeamiento urbanístico, deberán tener en cuenta las previsiones establecidas en esta ley, en las normas dictadas en su desarrollo y en las actuaciones administrativas realizadas en ejecución de aquéllas.* |
| *Disposición transitoria segunda. Planeamiento territorial vigente.*<br><br>*El planeamiento territorial general vigente a la entrada en vigor de esta ley deberá adaptarse a sus previsiones en el plazo de cinco años desde la entrada en vigor de su Reglamento general de desarrollo.* |

Cuando se trata de infraestructuras o actividades que se encuentran todavía en fase de planificación, la estrategia de actuación consiste en establecer unos valores límite claros precisos y estrictos, con el fin de no permitir la creación de situaciones de calidad acústica no deseadas.

La Ley establece, así mismo, los aspectos relativos a, "Inspección y régimen sancionador", estableciendo una tipificación de infracciones y sanciones. Entre las sanciones para infracciones muy graves se contemplan las siguientes:

- Multas de hasta 300.000 €.
- La revocación de la autorización ambiental integrada, la autorización o aprobación del proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental, la licencia de actividades clasificadas u otras figuras de intervención administrativa en las que se hayan establecido condiciones relativas a la contaminación acústica.
- La Clausura temporal o definitiva, total o parcial, de las instalaciones.
- El precintado temporal o definitivo de equipos y máquinas.

- La prohibición temporal o definitiva del desarrollo de actividades.

Por último, la Ley se completa con un conjunto de disposiciones que contienen una serie de medidas que inciden sobre materias regidas por otras normas. Así, se establece que el Código Técnico de la Edificación, previsto en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación deberá incluir un sistema de verificación acústica de las edificaciones. Esto se ve complementado por la afirmación expresa de que el incumplimiento de objetivos de calidad acústica en los espacios interiores podrá dar lugar a la obligación del vendedor de responder del saneamiento por vicios ocultos de los inmuebles vendidos. Ambas medidas han de resultar en una mayor protección del adquirente o del ocupante en cuanto a las características acústicas de los inmuebles, en particular los de uso residencial.

## *4.2 DESARROLLO REGLAMENTARIO DE LA LEY DEL RUIDO.*

Para dotar de eficacia a la Ley se hace necesario el desarrollo reglamentario de su articulado, tal y como se prevé en la misma. Este desarrollo reglamentario se esta produciendo de forma progresiva en dos fases, en la primera a través del Real Decreto 1513/2005, ya aprobado en el Consejo de Ministros de 16 de diciembre de 2005, se regula todo lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, y en la segunda fase, todavía no concluida, contenida en un nuevo proyecto de real decreto, se prevé completar el desarrollo la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Este real decreto se encuentra actualmente en la última fase de su tramitación.

### 4.2.1 Real Decreto 1513/2005, sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental.

El Real Decreto 1513/2005, tiene como finalidad desarrollar la Ley del Ruido en la parte referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, completando aquellos aspectos de la Directiva 2002/49/CE que no fueron recogidos en la Ley, por ser objeto, de acuerdo con sus previsiones, de un desarrollo reglamentario posterior.

Este real decreto, establece un marco básico destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental, al que estén expuestos los seres humanos, en particular, en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas de una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares, en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

Se desarrollan los conceptos de ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas que permiten la consecución del objetivo previsto estableciendo un calendario de actuaciones y fijando el contenido mínimo de los mapas estratégicos de ruido y de los planes de acción, sí como de la información que debe estar a disposición del público.

#### *4.2.1.1 Información al público.*

Uno de los aspectos importantes recogidos en el real decreto es el referente al contenido y calendario de la información a suministrar al público, en relación con los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción derivados de los mismos, que deben elaborarse y aprobarse.

De forma clara, inteligible y fácilmente accesible se pondrá a disposición del público, utilizando las tecnologías de la información disponibles que resulten más adecuadas, la información que permita identificar a las autoridades responsables de la elaboración y aprobación de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción para aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos, así como, de la recopilación de los mapas estratégicos de ruido y planes de acción.

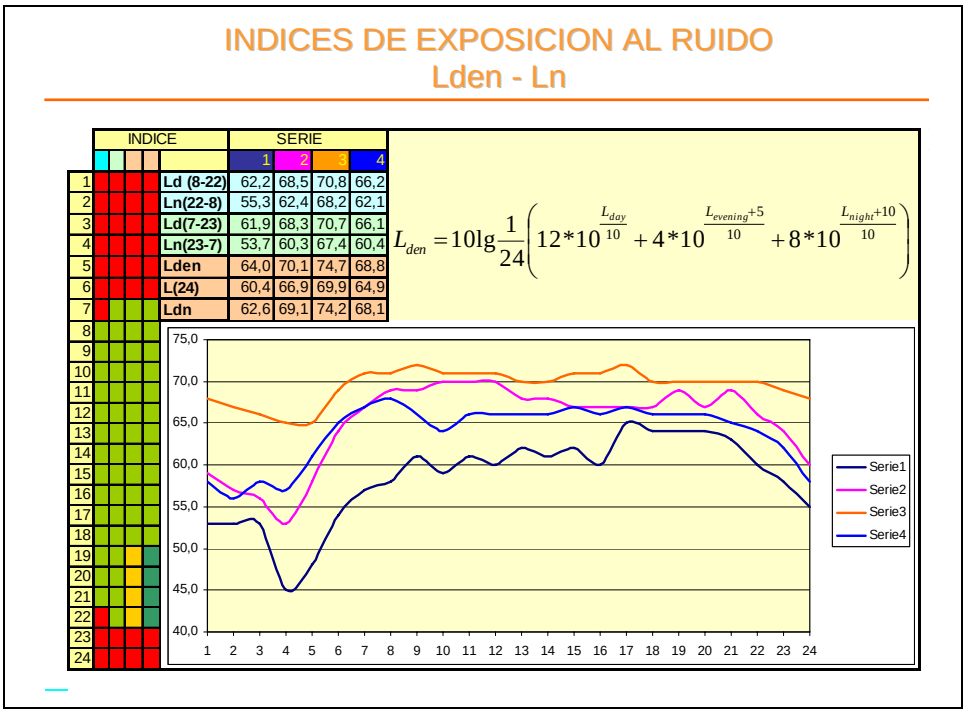
Por otra parte, Las Administraciones Públicas competentes velarán porque los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción que hayan elaborado y aprobado se pongan a disposición y se divulguen entre la población, de acuerdo con la legislación vigente sobre derecho de acceso a la información en materia de medio ambiente y de conformidad con los contenidos que se recogen en los anexos del Real Decreto.

#### *4.2.1.2 Índices de Ruido $L_{den}$ y $L_{n.}$*

Un aspecto fundamental en la evaluación y gestión del ruido ambiental es la aplicación de criterios homogéneos de evaluación que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en distintos ámbitos territoriales. Con esta finalidad se desarrollan las previsiones legales relativas a los índices de ruido que deben aplicarse en la elaboración y revisión de los mapas estratégicos de ruido.

En este sentido, partiendo de que todas las mediciones y evaluaciones acústicas a que se refiere la Ley del Ruido asumen la aplicación de índices acústicos homogéneos correspondientes a las 24 horas del día, al período diurno, al período vespertino y al período nocturno, y también de conformidad con la Directiva 2002/49/CE, se definen dos tipos de índices, el índice de ruido dia-tarde-noche $L_{den}$, cuyo valor se asocia a la molestia

global producida por el ruido ambiental, y el índice de ruido noche $L_n$, cuyo valor se asocia a las alteraciones del sueño durante el periodo nocturno.




#### *4.2.1.3 Métodos de evaluación.*

Definidos los índices de ruido se establecen los distintos métodos de cálculo y medida que se podrán aplicar para evaluar el ruido ambiental originado por las infraestructuras de transporte, las instalaciones industriales y en las aglomeraciones. Es de destacar que los métodos de cálculo previstos para la evaluación del ruido industrial, ruido de aeronaves, ruido del trafico rodado y ruido de trenes son provisionales hasta que se adopten los nuevos métodos homogéneos que se están desarrollando en el marco de la Unión Europea,.

Para la adaptación de los métodos establecidos en el Real Decreto a las definiciones de los índices $L_{den}$ y $L_n$, se deberán tener en cuenta la recomendación de la Comisión Europea, de 6 de agosto de 2003, relativa a orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, el procedente de aeronaves, el del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes.

Estas *Orientaciones* hacen referencia a los métodos de cálculo provisionales y proporcionan datos de emisiones correspondientes a los ruidos procedentes de aeronaves, tráfico rodado y tráfico ferroviario a partir de datos existentes. Conviene

señalar que tales datos se proporcionan sobre la base de una revisión de los datos existentes disponibles para su utilización con los métodos de cálculo recomendados para los ruidos procedentes del transporte. Aunque los datos de emisión facilitados en estas *Orientaciones* no pueden cubrir todas las situaciones concretas que se pueden producir en Europa, en especial por lo que respecta al tráfico rodado y ferroviario, se brindan medios para obtener datos suplementarios realizando las oportunas mediciones. Por último, es de destacar que la utilización de los datos facilitados en las *Orientaciones* no es obligatoria, y se pueden utilizar otros, a condición de que sean adecuados para su uso con los métodos considerados.

MÉTODOS DE CALCULO
Provisionales

- RUIDO INDUSTRIAL: ISO 9613-2: "Acoustics – Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation".
  - ISO 8297:1994 "Acoustics – Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering method";
  - EN ISO 3744: 1995 "Acústica: Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante";
  - EN ISO 3746: 1995 "Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica de fuentes de ruido a partir de presión sonora. Método de control en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante".
- RUIDO DE AERONAVES EN TORNO A AEROPUERTOS: ECAC.CEAC Doc. 29 "Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports", 1997
- RUIDO DEL TRÁFICO RODADO: El método nacional de cálculo francés "NMPB-Routes-96"
- RUIDO DE TRENES: El método nacional de cálculo de los Países Bajos, RMR-96"

#### *4.2.1.4 Mapas estratégicos de ruido.*

Constituyen tareas básicas de la aplicación de la nueva norma, la identificación de las grandes infraestructuras del transporte y de las aglomeraciones sobre las que se deberán realizar mapas estratégicos de ruido, así como su elaboración y aprobación.

Los mapas de ruido son instrumentos que permiten disponer de información uniforme sobre los niveles de contaminación acústica en distintas zonas del territorio, aplicando criterios homogéneos de medición, que permiten hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar. Los mapas de ruido se pueden elaborar

aplicando métodos de cálculo, mediante la realización de mediciones in situ, o bien aplicando una combinación de estas dos técnicas.

La presentación de datos sobre la base de un índice de ruido referente a una situación acústica existente o pronosticada, en la que se indicará la superación de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona específica constituyen los mapas de ruido. Los mapas que deberán elaborarse por aplicación de la nueva norma se refiere a mapas estratégicos de ruido, siendo estos mapas de ruido diseñados para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona.

Se prevé que a la entrada en vigor de este Real Decreto se habrán identificado los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, los grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, los grandes aeropuertos, y las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, y su delimitación territorial. Asimismo, antes del 31 de octubre de 2008, se deberán identificar todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios, así como todas las aglomeraciones y su delimitación territorial, existentes en el conjunto del territorio.

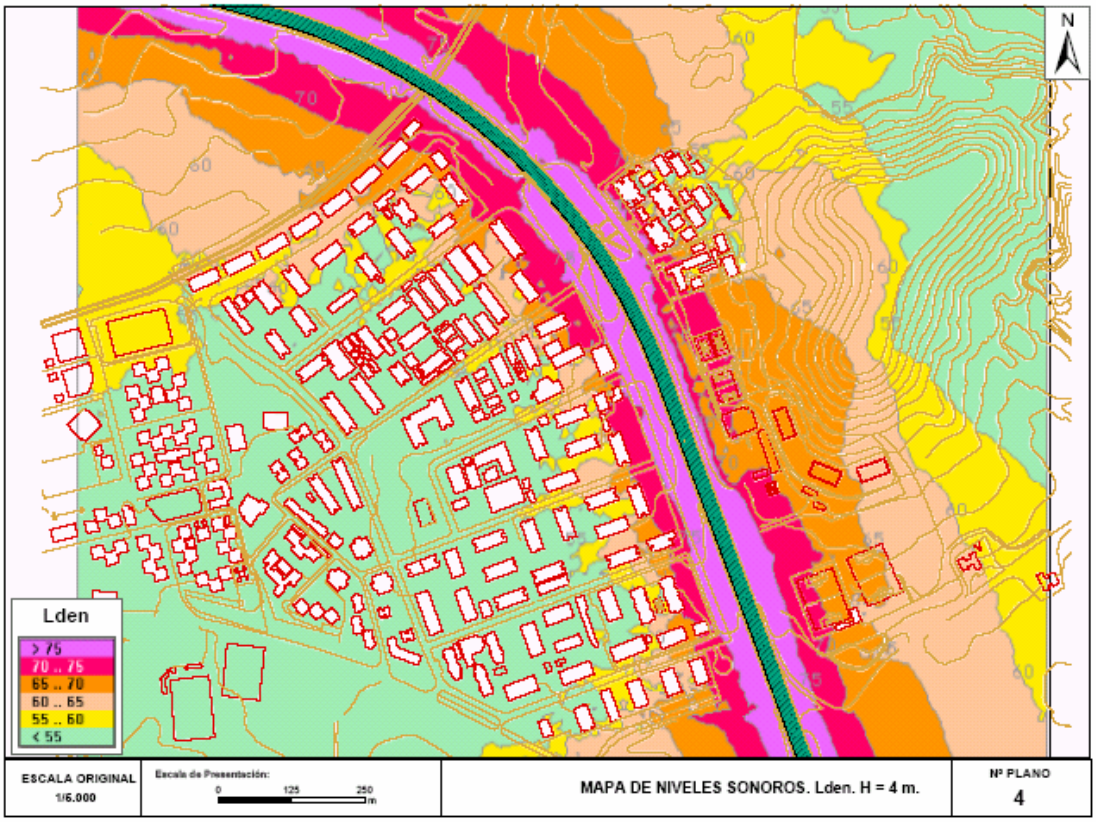
Los mapas estratégicos de ruido se deben elaborar de acuerdo con los requisitos mínimos establecidos en los anexos del Real Decreto dando lugar a los mapas siguientes:

- Mapa de niveles sonoros de $L_{den}$ en dB, a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo, con la representación de líneas isófonas que delimiten los siguientes rangos: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75.

- Mapa de niveles sonoros de $L_n$ en dB(A), a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo, con la representación de líneas isófonas que delimiten los siguientes rangos: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70.

- Mapa con los datos de superficies totales (en $km^2$), expuestas a valores de $L_{den}$ superiores a 55, 65, y 75 dB, respectivamente. Se indicará además el número total estimado de viviendas (en centenares), y el número estimado de personas (en centenares) que viven en cada una de esas zonas. Las isófonas

correspondientes a 55, 65 y 75 dB figurarán en el mapa y se incluirá información sobre la ubicación de las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de esas curvas.




*Mapas de ruido: Niveles sonoros.*
*Fuente: CEDEX. Estudio para la elaboración de mapas de ruido de carreteras. (2004).*

Se establece una programación en la de elaboración de los mapas estratégicos de ruido, con el calendario siguiente:

- Antes del 30 de junio de 2007 los correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250.000 habitantes y a todos los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60.000 trenes al año, y grandes aeropuertos existentes en su territorio.

- Antes del 30 de junio de 2012, y después cada cinco años, los correspondientes a todas las aglomeraciones urbanas y a todos los grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios existentes en su territorio.

Un aspecto importante es la delimitación del ámbito territorial al que se extiende el mapa estratégico de ruido de una aglomeración, para ello se establecen los criterios de densidad de población y proximidad, que aplicados al territorio de los términos municipales definen la extensión del mapa de ruido. En el caso de las grandes infraestructuras del transporte el ámbito territorial de los mapas estratégicos de ruido se extenderá, como mínimo, hasta los puntos del territorio en el entorno de las grandes infraestructuras, que alcancen, debido a la emisión de niveles de ruido propios, valores $L_{den}$ de 55 dB, y valores $L_n$ de 50 dB(A).

#### *4.2.1.5 Planes de Acción.*

Una vez elaborados y aprobados los mapas estratégicos de ruido se elaborarán los correspondientes planes de acción dirigidos a solucionar en el territorio afectado las cuestiones relativas al ruido y sus efectos, y en su caso, a su reducción. La nueva norma establece los requisitos mínimos que deben considerarse en la elaboración de los planes de acción, y se fija un plazo de un año tras la aprobación del mapa de ruido para su elaboración.

Los planes de acción contendrán las medidas concretas que se consideren más adecuadas para la gestión del ruido ambiental, determinando las acciones prioritarias que se deban realizar en caso de superación de los valores límite, o de aquellos otros criterios que se estimen adecuados. Estas medidas deberán aplicarse, en todo caso, a las zonas relevantes establecidas por los mapas estratégicos de ruido.

A la vista de las actuaciones que va a ser necesario emprender para la aplicación del Real Decreto, se resalta la necesidad de la colaboración entre las distintas administraciones públicas responsables de la elaboración de los mapas estratégicos de ruido, sobre todo cuando incidan emisores acústicos diversos en el mismo espacio, con el fin de que se garantice la homogeneidad y coherencia de los resultados. Así mismo, en los supuestos de concurrencia competencial, por razones de eficacia y eficiencia en la actuación pública, se hará necesaria la estrecha colaboración de las administraciones públicas concurrentes en la elaboración de sus correspondientes planes de acción, para evitar duplicidades innecesarias.

Por último, con el objeto de asegurar el cumplimiento de las obligaciones asumidas de suministro de información a la Comisión Europea, derivadas de la aplicación del Directiva 2002/49/CE, así como para lograr una adecuada recopilación de la información sobre

mapas estratégicos de ruido y planes de acción se crea un sistema básico de información de la contaminación acústica (SICA), dependiente del Ministerio de Medio Ambiente.

El sistema básico de información constituido por un Centro de recepción, análisis y procesado de datos, radica en la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, asumiendo las funciones de notificación de las comunicaciones sobre recopilación de información referente a mapas estratégicos de ruido y planes de acción, establecer formatos homogéneos y organizar la información para comunicación a la Comisión Europea, la elaboración y gestión de un sistema telemático de información al público sobre la contaminación acústica, y la elaboración y publicación de estudios y guías de buenas prácticas para la evaluación y gestión de la contaminación acústica.

### 4.2.2 Proyecto de real decreto, por el que se completa el desarrollo básico reglamentario de la Ley del Ruido.

Como se ha visto en el apartado anterior, el Real Decreto 1513/2005, desarrolla parcialmente la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, completando las previsiones contenidas en la Directiva sobre Ruido Ambiental, al establecer los conceptos de ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas necesarias para la consecución del objeto previsto, como son la elaboración de los mapas estratégicos de ruido, de los planes de acción y la información a la población.

Para avanzar en el desarrollo reglamentario de la Ley del Ruido, el proyecto de Real Decreto por el que se completa el desarrollo de la Ley 37/2003, del Ruido, contempla las medidas de carácter básico respecto de las que la propia Ley del Ruido, en su disposición final segunda, establece una habilitación expresa al Gobierno para que en el ámbito de sus competencias, proceda al desarrollo reglamentario de dicha ley, dado que, por razones de técnica normativa, en una norma de rango legal no puede descenderse a un grado de detalle excesivamente técnico y procedimental. Por consiguiente, las frecuentes remisiones reglamentarias contenidas en los preceptos de la Ley del Ruido y su habilitación legal específica, exigen un desarrollo reglamentario de de dichos preceptos.

Para la consecución de dichos objetivos en el proyecto de real decreto:

- Define los índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente

- Delimita los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

- Establece los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones.

- Regula los emisores acústicos fijando valores límite de emisión o de inmisión según corresponda.

- Establece los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

En este sentido, el capítulo I, "Disposiciones generales", contiene los preceptos que establecen el objeto de esta norma y una serie de definiciones que permitan alcanzar un mayor grado de precisión y seguridad jurídica a la hora de aplicar esta disposición de carácter marcadamente técnico.

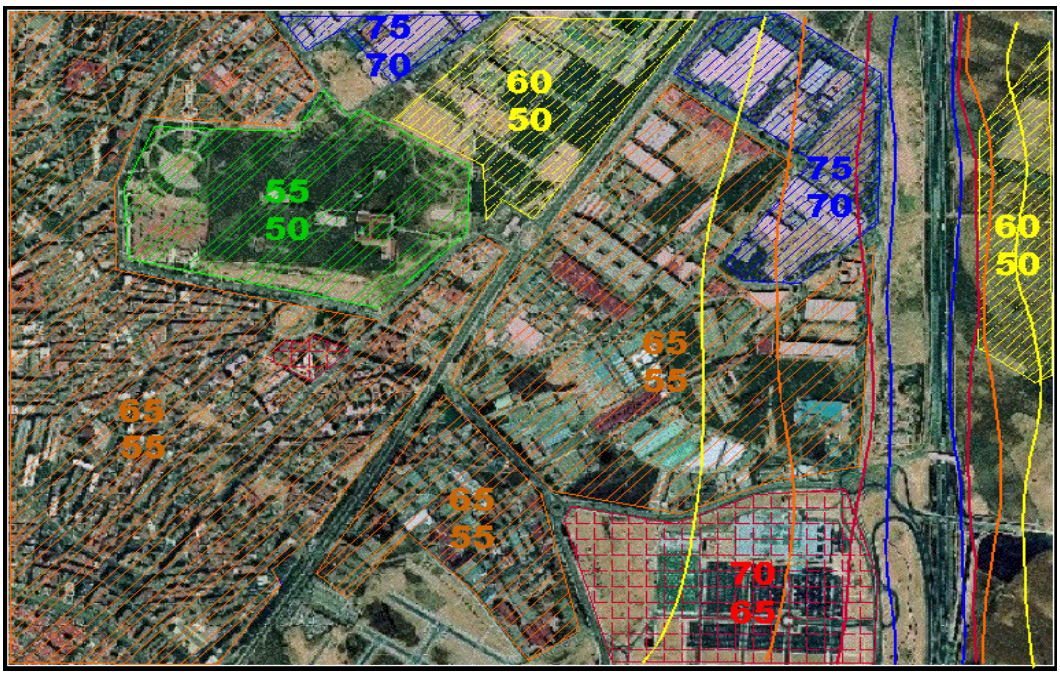
El capítulo II establece los índices para la evaluación del ruido y de las vibraciones, en los distintos periodos temporales de evaluación, de los objetivos de calidad acústica en áreas acústicas o en el espacio interior de edificaciones y de los valores límite que deben cumplir los emisores acústicos. En el anexo I se incluye la definición de cada uno de ellos.

En el capítulo III se desarrolla, por una parte, la delimitación de las áreas acústicas atendiendo al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas y, por otra, la regulación de las servidumbres acústicas. Además se prevé que los instrumentos de planificación territorial y urbanística incluyan la zonificación acústica y se establecen objetivos de calidad acústica aplicables a las distintas áreas acústicas y al espacio interior habitable de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. En el anexo II se fijan los valores de los índices acústicos que no deben superarse para el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica.

Por su peculiaridad, se considera, así mismo, el supuesto de áreas acústicas y edificaciones localizadas en áreas urbanizadas existentes, en las que no se cumplan los

objetivos de calidad acústica. En esta situación, se establece como objetivo de calidad acústica la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar los valores fijados, mediante la aplicación de planes zonales específicos, a los que se refiere el artículo 25.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

## LEY 37/2003, DEL RUIDO
### ZONIFICACIÓN ACÚSTICA – EMISORES ACÚSTICOS




El capítulo IV regula el control de las emisiones de los diferentes emisores acústicos, incluidos los vehículos a motor, para los que se prevé, además, un régimen específico de comprobación de sus emisiones acústicas a vehículo parado. Así mismo, se fijan en el anexo III los valores límite de inmisión de ruido aplicable a las infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias, así como a las infraestructuras portuarias y actividades.

El capítulo V regula los métodos de evaluación de la contaminación acústica, así como el régimen de homologación de los instrumentos y procedimientos que se empleen en dicha evaluación. El anexo IV fija los métodos de evaluación para los índices acústicos definidos en este real decreto.

Por último, la regulación de mapas de contaminación acústica se contiene en el capítulo VI, en aplicación de la habilitación prevista en el artículo 15.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

# 5 INTERRELACIONES ENTRE LA LEY DEL RUIDO Y EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE).

## *5.1 OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA.*

En el proyecto de desarrollo reglamentario de la Ley del ruido se prevé establecer los siguientes objetivos de calidad acústica en las áreas acústicas y en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales:

- ***Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas.***

Con carácter general la no superación en las áreas acústicas, de los valores de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla A, del anexo II. Estos valores tendrán la consideración de valores límite.

En áreas urbanizadas existentes en que se superen los valores límite se aplicarán los criterios siguientes:

a) Si se supera el valor establecido en la tabla A, del anexo II, incrementado en 5 decibelios, su objetivo de calidad acústica será alcanzar el valor incrementado.

b) En caso contrario, el objetivo de calidad acústica será alcanzar el valor de la tabla A, del anexo II, que le sea de aplicación.

En estas áreas acústicas las administraciones competentes deberán adoptar las medidas necesarias para la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar el objetivo de calidad fijado, mediante la aplicación de planes zonales específicos a los que se refiere el artículo 25.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido, $L_d$, $L_e$, o $L_n$, los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen, en el periodo de un año, que:

a) Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.

b) El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.

**Tabla A. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas. (Propuesta)**

| Tipo de área acústica | | Índices de ruido | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $L_d$ | $L_e$ | $L_n$ |
| e | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica | 55 | 55 | 45 |
| a | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial. | 60 | 60 | 50 |
| d | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c). | 65 | 65 | 55 |
| c | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos. | 68 | 68 | 58 |
| b | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial | 70 | 70 | 60 |
| f | Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1) | Sin determinar | Sin determinar | Sin determinar |

*1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la ontaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia cústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la ey 37/2003, de 17 de noviembre.*

*Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.*

- ***Objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior.***

Con carácter general se establece como objetivos de calidad acústica para el ruido y para las vibraciones, la no superación en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en las tablas B y C, del anexo II. Estos valores tendrán la consideración de valores límite.

Cuando en el espacio interior de las edificaciones a que se refiere el apartado anterior, localizadas en áreas urbanizadas existentes, se superen los valores límite, se les aplicará como el objetivo de calidad acústica alcanzar los valores de los índices de inmisión de ruido y de vibraciones establecidos, respectivamente, en las tablas B y C, del anexo II.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica cuando para cada uno de los índices de inmisión de ruido, $L_d$, $L_e$, o $L_n$, los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen, para el periodo de un año, que:

a) Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.

b) El 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.

**Tabla B.- Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales. (1)**

**(Propuesta)**

| Uso del edificio | Tipo de Recinto | Índices de ruido | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $L_d$ | $L_e$ | $L_n$ |
| **Vivienda o uso residencial** | Estancias | 45 | 45 | 35 |
| | Dormitorios | 40 | 40 | 30 |
| **Hospitalario** | Zonas de estancia | 45 | 45 | 35 |
| | Dormitorios | 40 | 40 | 30 |
| **Educativo o cultural** | Aulas | 40 | 40 | 40 |
| | Salas de lectura | 35 | 35 | 35 |

*(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).*

- *Nota: Los objetivos de calidad aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura de entre 1,2 m y 1,5 m.*

Los valores del índice de vibraciones $L_{aw,}$ evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen lo siguiente:

Vibraciones estacionarias:

Ningún valor del índice supera los valores fijados en la tabla C, del anexo II.

- Vibraciones transitorias

  Los valores fijados en la tabla C, del anexo II podrán superarse para un número de eventos determinado de conformidad con el procedimiento siguiente:

  a) Se consideran los dos periodos temporales de evaluación siguientes: periodo día, comprendido entre las 07:00-23:00 horas y periodo noche, comprendido entre las 23:00-07:00 horas.

  b) En el periodo nocturno no se permite ningún exceso.

  c) En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB.

  d) El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3.

**Tabla C. Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales.**

**(Propuesta)**

| Uso del edificio | Índice de vibración $L_{aw}$ |
|---|---|
| **Vivienda o uso residencial** | 75 |
| **Hospitalario** | 72 |
| **Educativo o cultural** | 72 |

Se considerará que, una edificación es conforme con las exigencias acústicas derivadas de la aplicación de objetivos de calidad acústica al espacio interior de las edificaciones, a que se refiere el artículo 20, y la disposición adicional quinta de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, cuando al aplicar el sistema de verificación acústica de las edificaciones, establecido conforme a la disposición adicional cuarta de dicha Ley, se cumplan las exigencias acústicas básicas impuestas por el Código Técnico de la Edificación, aprobado mediante Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

## *5.2 EXIGENCIAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO DEL CTE.*

Las exigencias básicas que se establecen en el artículo 14 de la Parte I del CTE, y el objetivo del requisito básico "Protección frente al ruido", prevén lo siguiente:

- Limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

- Los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio.

El proyecto de Documento Básico “DB HR Protección frente al ruido” prevé parámetros objetivos y sistemas de verificación cuyo cumplimiento asegure la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de protección frente al ruido.

### 5.2.1 Procedimiento de verificación.

Para satisfacer las exigencias del CTE en lo referente a la protección frente al ruido deben:

- Alcanzarse los valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo y no superarse los valores límite de nivel de presión de ruido de impactos (aislamiento acústico a ruido de impactos) que se establecen.

- Cumplirse las especificaciones referentes al ruido y a las vibraciones de las instalaciones.

Para la correcta aplicación debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone en el propio documento.

### 5.2.2 Caracterización y cuantificación de las exigencias.

Para satisfacer las exigencias deben cumplirse las condiciones establecidas aplicadas a los elementos constructivos totalmente acabados, es decir, albergando las instalaciones del edificio o incluyendo cualquier actuación que pueda modificar las características acústicas de dichos elementos.

Con el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE se entenderá que el edificio es conforme con las exigencias acústicas derivadas de la aplicación de los objetivos de calidad acústica al espacio interior de las edificaciones incluidas en la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido y su desarrollo reglamentario.

### 5.2.3 Aislamiento acústico a ruido aéreo. Valores límite de aislamiento.

Los elementos constructivos interiores de separación, así como las fachadas, las cubiertas, las medianerías y los suelos en contacto con el aire exterior que conforman cada recinto de un edificio deben tener, en conjunción con los elementos constructivos adyacentes, unas características acústicas referidas en los *recintos protegidos* a:

- Protección frente al ruido generado en la misma unidad de uso.
- Protección frente al ruido procedente de otras unidades de uso.
- Protección frente al ruido procedente de zonas comunes.
- Protección frente al ruido procedente de recintos de instalaciones y de recintos de actividad.
- Protección frente al ruido procedente del exterior.

Por lo que se refiere a la protección frente al ruido procedente del exterior el aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre un recinto protegido y el exterior viene condicionado por el objetivos de calidad acústica en el interior del recinto definido por la ley del ruido y establecidos en su desarrollo reglamentario y el nivel de ruido en el ambiente exterior en que se ubica evaluado con el índice $L_d$ definido en esa normativa.

En este sentido se prevé que el aislamiento acústico no será menor que los valores indicados en la tabla siguiente, en función del uso del edificio.

En el caso de que no se disponga de datos oficiales (mapas de ruido) del valor del índice $L_d$, se prevé utilizar el valor equivalente correspondiente al *área acústica* donde se ubique el edificio, en función del uso predominante del suelo, como se establece en el artículo 7 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

| **Valores de aislamiento a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido $L_d$ (Propuesta)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Residencial y sanitario** | | **Cultural, docente, administrativo y religioso** | |
| | **Dormitorios** | **Estancias** | **Salas de lectura** | **Aulas** |
| **$L_d < 60$** | 32 | 30 | 30 | 30 |
| **$60 \leq L_d < 65$** | 37 | 32 | 32 | 30 |
| **$65 \leq L_d < 70$** | 42 | 37 | 37 | 32 |
| **$70 \leq L_d < 75$** | 47 | 42 | 42 | 37 |
| **$L_d \geq 75$** | 52 | 47 | 47 | 42 |

Se prevé, así mismo, que cuando en la zona donde se ubique el edificio predomine el ruido de aeronaves según establezcan los mapas de ruido correspondientes, el valor de aislamiento acústico ($D_{2m,nT,Atr}$) obtenido en la tabla se incrementará en 4 dBA.

# EXIGENCIAS BÁSICAS FRENTE AL RUIDO EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS

Amelia Romero Fernández
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 Introducción

El 29 de Marzo de 2006 entró en vigor el CTE: Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, el Código Técnico de la Edificación (sin el Documento Básico de "Protección frente al ruido[1]"). Se trata del instrumento normativo que regula las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones permitiendo dar satisfacción a los requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar.

El sector de la edificación es uno de los principales sectores económicos con evidentes repercusiones en el conjunto de la sociedad.

La sociedad española, en general, demanda cada vez más calidad en los edificios. Esta calidad se entiende como la satisfacción, por parte de los usuarios, de los denominados requisitos básicos, que son establecidos por la LOE y que se refieren, tanto a la seguridad estructural y la protección contra incendios, como a otros aspectos vinculados al bienestar de las personas, sean la protección frente al ruido, el aislamiento térmico o la accesibilidad para personas con movilidad reducida, es decir: abarcan tanto los aspectos de funcionalidad y de seguridad de los edificios, como aquellos referentes a la habitabilidad.

### 1.1 Trastornos de la salud debido al ruido

El ruido en general y en el ámbito edificatorio es causante de frecuentes problemas a los usuarios: trastornos del sueño, pérdida de atención, de rendimiento, cambios de conducta u otros que pueden llegar incluso a causar riesgos para la salud y problemas de estrés. Además, en los últimos años ha aumentado la concienciación social con los problemas del ruido y existe una mayor demanda en la sociedad de incrementar el confort acústico de las viviendas.

[1] Este documento, aunque desarrollado técnicamente no se incluyó en la tramitación del CTE por estar pendiente de su armonización con el desarrollo reglamentario de la Ley del Ruido, lo que podría hacer necesarios algunos cambios.

La aparición de reglamentación relacionada con los problemas del ruido en edificación, tanto a nivel europeo como a nivel estatal (LOE y CTE, Ley del ruido, etc.) implica una necesaria adecuación de la normativa acústica existente.

## 1.2 Aislamiento y acondicionamiento acústico

Estos son los dos puntos que se tratan en más profundidad en el DB-HR del CTE. Ambos son dos campos de la **acústica arquitectónica**, que trata lo relacionado con los sonidos en la construcción y su entorno.

El **aislamiento acústico** es la capacidad de los elementos constructivos para atenuar la transmisión del sonido, es decir, se refiere a los procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos de un recinto o exterior a otro recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. El aislamiento implica a dos recintos distintos. Ejemplo: Aislamiento entre dos viviendas.

El **acondicionamiento acústico** es el estudio de las actuaciones para mejorar la calidad acústica en el interior de los recintos, supuestamente aislados del exterior; se refiere a las características del campo sonoro que deben darse en función del uso de la sala para un funcionamiento acústico correcto. Implica a 1 único recinto. Ejemplo: Un aula, una sala de conferencias.

## 1.3 Tipos de ruido en la edificación

### 1.3.1. Ruido aéreo

Tiene origen en una perturbación en el aire, después se transmite a través del aire (u otro medio sólido) y es percibido por el receptor a través del aire. Como ejemplos cabe mencionar: el ruido de tráfico, una conversación o la excitación de un sistema constructivo.

En este último caso las ondas sonoras inciden sobre un sistema constructivo separador entre recintos; éste responde a la excitación entrando en vibración y convirtiéndose en un nuevo foco sonoro, que transmite el ruido al recinto colindante.

### 1.3.2. Ruido de impactos

Tiene origen en la excitación mecánica de elementos sólidos; se transmite por vía sólida y es percibido por el receptor a través del aire. El ejemplo más claro es un impacto sobre un forjado; el impacto genera unas vibraciones que se propagan por el forjado a los tabiques, pilares y demás elementos constructivos en contacto con el forjado, que se convierten, a su vez, en fuentes de ruido aéreo. Otros ejemplos de ruido de impactos son: pisadas, caídas de objetos, vibraciones de equipos e instalaciones, etc.

El ruido de impactos se transmite a gran distancia, por el mero hecho de que la velocidad de propagación del sonido en un medio sólido es mayor que en el aire.

# 2 El Documento Básico de protección frente al ruido

## 2.1 Novedades

En líneas generales, las aportaciones del DB-HR consisten en un aumento de los niveles de aislamiento exigidos, además de la inclusión en la reglamentación de las condiciones acústicas de aulas, comedores, restaurantes y salas de conferencias.

Desde el Código Técnico de la Edificación se entiende que los edificios deben proyectarse, construirse y mantenerse, de tal forma que los usuarios estén protegidos frente a:

- Los ruidos aéreo y de impactos procedentes de:
    - Otras unidades de uso
    - Zonas comunes de la edificación
    - Recintos de instalaciones
    - Recintos de actividad
    - El exterior
- El ruido reverberante excesivo en comedores, restaurantes, aulas y salas de conferencias de un volumen determinado.
- Los ruidos y las vibraciones procedentes de instalaciones del edificio.

## 2.2 Relación con la Ley del Ruido

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido tiene como objetivo prevenir vigilar y reducir la contaminación acústica. Para ello deben elaborarse, aprobarse y revisarse mapas de ruido. Éstos contendrán información de los índices $L_{den}$ (nivel día-tarde-noche) y $L_{night}$ (nivel noche), y permitirán la clasificación del territorio en áreas acústicas.

En cuanto a las edificaciones, la Ley del Ruido considera a los edificios como receptores acústicos, estableciéndose los índices de calidad acústica del espacio interior de las edificaciones destinadas a uso residencial, sanitario, docente o cultural.

La Ley del Ruido demanda al CTE un sistema de verificación acústica de las edificaciones y como respuesta a esta demanda el DB HR Protección frente al ruido:

- Establece las exigencias de aislamiento acústico frente al ruido exterior.
- Proporciona un método de cálculo para el aislamiento de fachadas y cubiertas.
- Proporciona un conjunto de soluciones de aislamiento para llegar al cumplimiento de dichas exigencias.

## 2.3 Objetivos y exigencias básicas

El objetivo del requisito básico “Protección frente el ruido” consiste en **limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización**, el **riesgo de molestias o enfermedades** que el ruido pueda producir a los usuarios, como consecuencia de las características de su **proyecto, construcción, uso y mantenimiento**

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los **elementos constructivos que conforman sus recintos** tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio, y para limitar el ruido reverberante de los recintos.

## 2.4 Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de este DB es el que se establece con carácter general para el CTE en su artículo 2 (Parte I), exceptuando los casos que se indican a continuación:

- Los recintos ruidosos[2], que se regirán por su reglamentación específica;
- Los recintos y edificios destinados a espectáculos, tales como auditorios, salas de música, teatros, cines, etc., que serán objeto de estudio especial en cuanto a su diseño, y se considerarán recintos de actividad respecto a los recintos protegidos y a los recintos habitables colindantes.
- Las aulas y las salas de conferencias cuyo volumen sea mayor que 350 m3, que serán objeto de un estudio especial en cuanto a su diseño, y se considerarán recintos protegidos respecto de otros recintos y al exterior.

# 3 Aislamiento acústico

Las exigencias de aislamiento tienen como objetivo limitar la transmisión de ruido aéreo y de impactos entre recintos colindantes tanto verticalmente como horizontalmente.

El código técnico pretende proteger los **recintos habitables** del ruido, que son aquellos destinados al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen no solo ciertas condiciones acústicas, sino también térmicas y de salubridad.

Se consideran **recintos habitables**:

a) Habitaciones y estancias, tales como dormitorios, comedores, bibliotecas, salones...etc.) de edificios residenciales.

b) Aulas, bibliotecas, despachos en edificios de uso docente.

c) Quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario.

d) Oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo.

e) Cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso.

f) Zonas comunes de circulación en el interior de los edificios.

g) Cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Dentro de los **recintos habitables**, tienen una especial consideración los recintos de los apartados a, b, c y d, que son aquellos que por su uso requieren unas condiciones acústicas mejores y que denominamos **protegidos**.

[2] Recinto ruidoso: Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, en el recinto, mayor que 80 dBA, no compatible con el requerido en los recintos protegidos

## 3.1 Valores límite

La tabla siguiente contiene los valores límite de aislamiento de **recintos protegidos y habitables**:

**Tabla 3.1 Valores límite de aislamiento**

**Elementos de separación vertical entre:**

| **Recinto emisor** | **Recinto receptor de una unidad de uso diferente** | |
|---|---|---|
| | **Protegido**<br>Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA) | **Habitable**<br>Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ ,(dBA) |
| **Protegido**<br>**Habitable**<br>**Zona común**<br>**si no existen puertas entre ambos recintos** [(1)] | 50 | 45 |
| **De instalaciones o de actividad** | 55 | |
| [(1)]Cuando existan puertas entre recintos protegidos y zonas comunes, el índice de reducción acústica ponderado A de la puerta, no será menor que 30 dBA y de 20 dBA en el caso de recintos habitables; en ambos casos, el índice global de reducción acústica ($R_A$) del muro no será menor que 54 dBA. | | |

| **Tabiquería:** | **Recinto receptor de una unidad de uso diferente** | |
|---|---|---|
| | **Protegido**<br>Índice de reducción acústica $R_A$ (dBA) | **Habitable**<br>Índice de reducción acústica $R_A$ (dBA) |
| | 33 | 33 |

**Medianerías:**

| | |
|---|---|
| En contacto con otro edificio, $D_{nT,A}$ | 50 |
| En contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT,Atr}$ | 40 |

**Elementos de separación horizontal entre:**

| **Recinto emisor** | **Recinto receptor de una unidad de uso diferente** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Protegido** | | **Habitable** | |
| | Ruido aéreo $D_{nT,A}$ (dBA) | Impactos $L'_{nT,w}$ (dB) | Ruido aéreo $D_{nT,A}$ (dBA) | Impactos [(1)] $L'_{nT,w}$ (dB) |
| **Protegido**<br>**Habitable**<br>**Zona común** | 50 | 65 | 45 | - |
| **De instalaciones o de actividad** | 55 | 60 | | |
| [(1)] Esta exigencia no es de aplicación en el caso de *recintos protegidos* colindantes con una caja de escaleras. | | | | |

| **Cubiertas transitables**, $L'_{nT,w}$ (dB) | **Protegido** | **Habitable** |
|---|---|---|
| | 65 | - |

**Fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el exterior:**

El aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{2m,nT,Atr}$) entre un recinto protegido y el exterior se indica en la tabla siguiente en función del uso del edificio y del nivel sonoro continuo equivalente día ($L_d$) de la zona donde se ubica el edificio:

| **$L_d$** dBA | **Uso del edificio** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Residencial y sanitario** | | **Cultural, docente, administrativo y religioso** | |
| | **Dormitorios** | **Estancias** | **Salas de lectura** | **Aulas** |
| $L_d \leq 60$ | 30 | 30 | 30 | 30 |
| $60 < L_d \leq 65$ | 32 | 30 | 32 | 30 |
| $65 < L_d \leq 70$ | 37 | 32 | 37 | 32 |
| $70 < L_d \leq 75$ | 42 | 37 | 42 | 37 |
| $L_d > 75$ | 47 | 42 | 47 | 42 |

Existen dos casos especiales en que estos valores se modifican:

- Cuando se prevea que algunas fachadas, tales como fachadas de patios de manzana cerrados o patios interiores, así como fachadas exteriores en zonas o entornos tranquilos, no van a estar expuestas directamente al ruido de automóviles, aeronaves, de actividades industriales, comerciales o deportivas, se considerará un índice de ruido día, Ld, 10 dB menor que el índice de ruido día de la zona.
- Cuando en la zona donde se ubique el edificio el ruido exterior dominante sea el de aeronaves según establezcan los mapas de ruido correspondientes, el valor de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, obtenido en la tabla anterior se incrementará en 4 dBA.

## 3.2 Comparación DB HR y NBE CA-88

Respecto a la NBE-CA-88, el DB HR supone un aumento de las exigencias de aislamiento, lo que se traduce en un aumento del confort acústico de la edificación.

Otra de las diferencias, es que los índices que definen el aislamiento en el DB-HR y en la NBE-CA-88 son distintos. El aislamiento de la norma básica se corresponde con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos; para ruido aéreo se trata del índice de reducción acústica ponderado A ($R_A$) y para ruido de impactos del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio ($L_n$).

Sin embargo, en el CTE, el aislamiento acústico a ruido aéreo viene definido como la **diferencia de niveles estandarizada ponderada A**, $D_{nT,A}$, que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no únicamente el aislamiento de elementos constructivos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el **nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado**, $L'_{nT,w}$., que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado.

**Tabla 3.2 Índices en la NBE-CA-88 y en el DB HR – Protección frente al ruido**

| Índices de aislamiento | NBE-CA-88 | DB HR - Protección frente al ruido |
|---|---|---|
| Ruido aéreo | $R_A$ | $D_{nT,A}$ |
| Ruido de impactos | $L_n$ | $L'_{nT,w}$ |
| Ruido procedente del exterior | $a_g$ | $D_{2m,nT,Atr}$ / $D_{2m,nT,A}$ |
| | **Valores de laboratorio** | **Valores obtenidos in situ** |

El CTE se ajusta a un mejor comportamiento acústico de los elementos ya construidos, ya que el **aislamiento acústico final en obra** de un elemento, difiere del comportamiento en laboratorio. Esto se debe a que en obra, la transmisión de ruido se propaga por vía indirecta además de por vía directa (a través del elemento separador).

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen otros motivos por los cuales el aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo en una situación de campo es menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio, como son:

- Defectos en la ejecución (falta de sellado).
- Presencia de instalaciones que pueden actuar como puentes acústicos, transmitiendo el sonido entre las hojas que componen los elementos de separación.

Las nuevas exigencias de aislamiento del DB HR suponen que es necesario el cálculo de las transmisiones indirectas, y tener en cuenta que la solución constructiva no depende únicamente del elemento de separación, por ejemplo: Una pared, sino de todos los elementos que están en contacto con ella, como son tabiques, fachada y forjados. Además se deberán poner en práctica, unas condiciones de ejecución en obra que eliminen los puentes acústicos que puedan disminuir el aislamiento final de la solución.

Otra de las aportaciones del CTE es la posibilidad medir el aislamiento in situ y obtener un valor comparable al de la exigencia. Esto no sucedía en la norma básica, en la que los índices son obtenidos en laboratorio. Por eso, en el caso de una medición in situ, el valor obtenido no es comparable con el valor de las exigencias de la NBE-CA-88.

El tratamiento de la envolvente del edificio, fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior es otra novedad en el CTE. El aislamiento a ruido aéreo de estos elementos se define en función del nivel de ruido exterior de la zona dónde se ubica el edificio y según el uso del recinto, y se expresa también mediante una magnitud de aislamiento in situ.

## 3.3 Cálculo del aislamiento acústico

### 3.3.1. Vías de transmisión del sonido

La transmisión de ruido entre dos recintos o del exterior se produce por dos vías:

- **Vía directa (Dd)**, a través del elemento constructivo de separación.
- **Vía indirecta o de flancos (Df, Fd, Ff)**, debido a las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación principal.

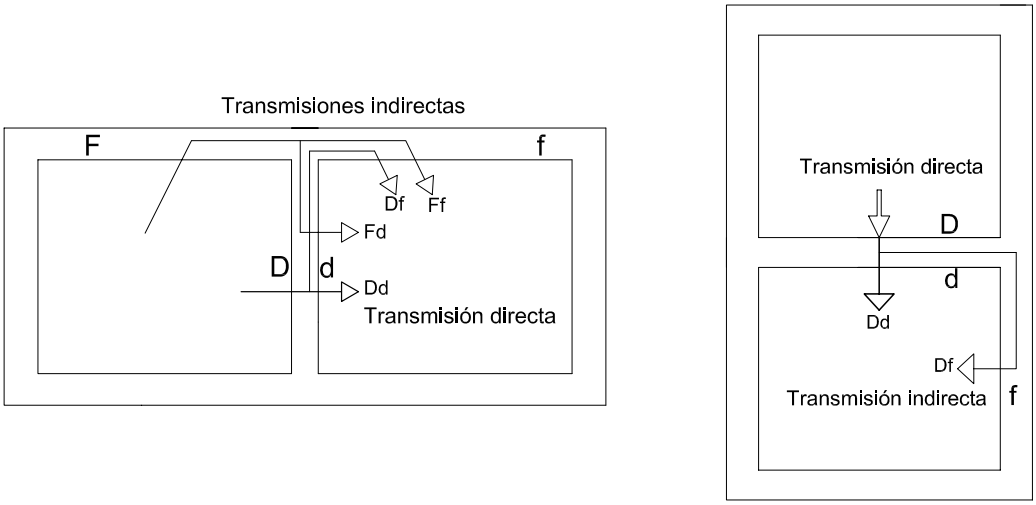



**Fig. 3.1 Vías de transmisión del ruido. Ruido aéreo y de impactos**

Las transmisiones indirectas dependen de:

- El aislamiento de los elementos constructivos que forman la unión
  - De yeso laminado / fábrica
  - La existencia de bandas elásticas
- La existencia de trasdosados/suelos flotantes/falsos techos que reducen la cantidad de energía transmitida a la pared/forjado
- La unión: (Amortiguamiento de la unión)
- La forma (en T o en +). Se modela mediante el índice $K_{ij}$, como veremos en el método de cálculo.

### 3.3.2. Opciones de cálculo

El CTE propone como herramientas para el proyectista dos opciones cuyos métodos están basados en la norma UNE-EN-12354, Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos:

- Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.
- Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos.
- Parte 3: Aislamiento acústico frente a ruido exterior.

Estas dos opciones son:

- Opción simplificada: Soluciones de aislamiento
- Opción General: Método de cálculo de aislamiento.

### 3.3.3. Opción simplificada: Soluciones de aislamiento

El procedimiento de las soluciones de aislamiento es una simplificación del método general que:

- Incluyen las pérdidas por flancos.
- Cumplen simultáneamente ruido aéreo e impactos.

En el CTE, se considera una solución de aislamiento al **conjunto** de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (particiones interiores verticales y horizontales, medianerías, fachadas y cubiertas) y que influyen en la transmisión de ruido y de vibraciones entre recintos adyacentes o entre un recinto y el exterior.

El procedimiento de las soluciones de aislamiento se puede aplicar a edificios de uso residencial, docente o administrativo y consiste en una serie de tablas que contienen los parámetros acústicos que definen y caracterizan los elementos constructivos que conforman los recintos.

La opción simplificada del CTE es objeto de otra ponencia de este seminario y será en ella donde se explique con más detalle.

### 3.3.4. Opción general: Método de cálculo

El método de cálculo para aislamiento acústico está basado en el procedimiento de cálculo de la UNE EN 12354 y permite determinar el aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos entre recintos adyacentes o de un recinto frente al exterior. Al igual que ocurre con las soluciones de aislamiento, los datos de partida son las características acústicas de los materiales obtenidos mediante mediciones en laboratorio. Además de esto, se necesitan datos de la geometría de los recintos y la forma de unión de unos elementos con otros.

El apartado del método de cálculo describe todo el procedimiento de cálculo de transmisiones directas e indirectas y está dividido en:

- Ruido aéreo entre recintos interiores.
- Ruido aéreo en fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.
- Ruido de impactos.

La citada norma ofrece dos procedimientos de cálculo:

- Un método de ingeniería, cálculo más detallado, por bandas de frecuencia
- Un método simplificado, basado en valores globales de aislamiento. Éste último es el método de cálculo del DB-HR.

La siguiente figura representa un esquema del procedimiento de cálculo:

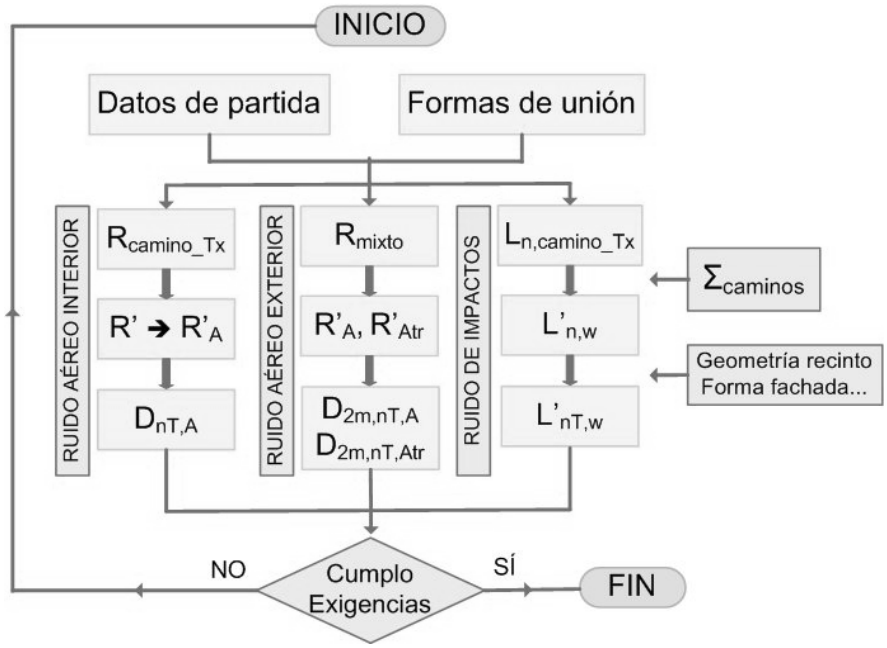



**Fig. 3.2 Representación esquemática del método de cálculo de aislamiento acústico.**

# 4 Absorción acústica y Tiempo de reverberación

## 4.1 Objetivo de las exigencias de absorción acústica y tiempo de reverberación

Uno de los aspectos regulados en el Documento Básico de protección frente al ruido (DB HR), es la absorción acústica de las zonas comunes y el tiempo de reverberación de aulas, salas de conferencias, comedores y restaurantes.

En la parte I del CTE se establece que para cumplirse las exigencias de protección frente al ruido de la LOE, debe **limitarse el ruido reverberante de los recintos**. Esta exigencia tiene dos motivos:

- Al limitar el ruido reverberante de los recintos, se consigue que disminuyan los niveles de ruido en el interior de los edificios.
- Además, se consigue una mayor inteligibilidad de la palabra, que es especialmente importante en recintos como aulas y salas de conferencias.

## 4.1 Exigencias de acondicionamiento acústico en el CTE

La expresión **acondicionamiento acústico** suele estar asociada a recintos como auditorios o teatros, que tienen una acústica excepcional. Sin embargo, a menudo nos encontramos con recintos de uso cotidiano donde las condiciones acústicas no son las adecuadas. Así por ejemplo, a menudo tenemos aulas donde es casi imposible seguir una clase o restaurantes demasiado ruidosos donde es imposible entablar una conversación si no es a gritos. Esto se debe a que estos establecimientos suelen tener todas sus superficies reflectantes. Al ser de un tamaño considerable y contar con muy poca absorción, el sonido permanece más tiempo en el ambiente, incrementándose paulatinamente los niveles de ruido de fondo.

Es este tipo de recintos, a los que normalmente se les da poca importancia, en los que incide el DB HR, para que desde la etapa de diseño se tenga en cuenta las condiciones acústicas, de tal forma que se elijan materiales adecuados para que el tiempo de reverberación se mantenga dentro de un límite que no dificulte la transmisión o la percepción de la palabra.

### 4.1.1. Valores límite de absorción acústica

La exigencia de absorción acústica sólo se aplica a las **zonas comunes**.

Una zona común es una zona que da servicio a varias unidades de uso, como por ejemplo un pasillo en un colegio, el pasillo que da servicio a varios despachos y un rellano en un edificio de viviendas. Se entiende que se trata siempre de espacios cerrados.

En estos espacios, el objetivo de las exigencias de absorción acústica es limitar los niveles de ruido de fondo de los pasillos, vestíbulos y cajas de escaleras de tal forma que no interfieran con las actividades que se están desarrollando en los recintos adyacentes.

La **EXIGENCIA** dice que los elementos constructivos que delimitan una zona común deben tener una absorción acústica tal que el área de absorción acústica por metro cúbico sea al menos 0,2 $m^2$.

**Exigencia en zona común: $A \geq 0{,}2\ m^2/m^3$**

### 4.1.2. Valores límite de tiempo de reverberación

Las exigencias de tiempo de reverberación se aplican a:

- Aulas de volumen menor que 350 $m^3$.
- Salas de conferencias de volumen menor que 350 $m^3$.
- Restaurantes y comedores.

El objetivo de las exigencias de tiempo de reverberación aplicadas a aulas y a salas de conferencias es mejorar la inteligibilidad y mantener el tiempo de reverberación dentro de unos límites de tal forma que se mejore la comunicación entre el profesor y los alumnos.

Las **EXIGENCIAS** de tiempo de reverberación son las siguientes:

| | |
|---|---|
| Aulas y salas de conferencias vacías, | T ≤ 0,7 s |
| Aulas y salas de conferencias vacías, pero con butacas | T ≤ 0,5 s |
| Comedores y restaurantes | T ≤ 0,9 s |

## 4.2 Cálculo de la absorción acústica

La absorción acústica es la cantidad de energía acústica absorbida por un objeto. $A_f = \alpha_f \cdot S$. Se calcula a partir de la expresión siguiente:

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_{w,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^{N} A_{O,w,j} + 4 \cdot \overline{m_f} \cdot V \qquad [m^2] \tag{4.1}$$

en la que

$\alpha_{w,i}$ coeficiente de absorción acústica ponderado de cada paramento;

$S_i$ área de paramento cuyo coeficiente de absorción es $\alpha_{i,}$ [$m^2$];

$A_{O,w,j}$ área de absorción acústica equivalente ponderada de cada mueble fijo absorbente diferente [$m^2$];

V volumen del *recinto*, [$m^3$].

$\overline{m_f}$ coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz y de valor 0,006, $m^{-1}$ r.

El término $4 \cdot \overline{m_f} \cdot V$ es despreciable en los recintos de volumen menor que 250 $m^3$.

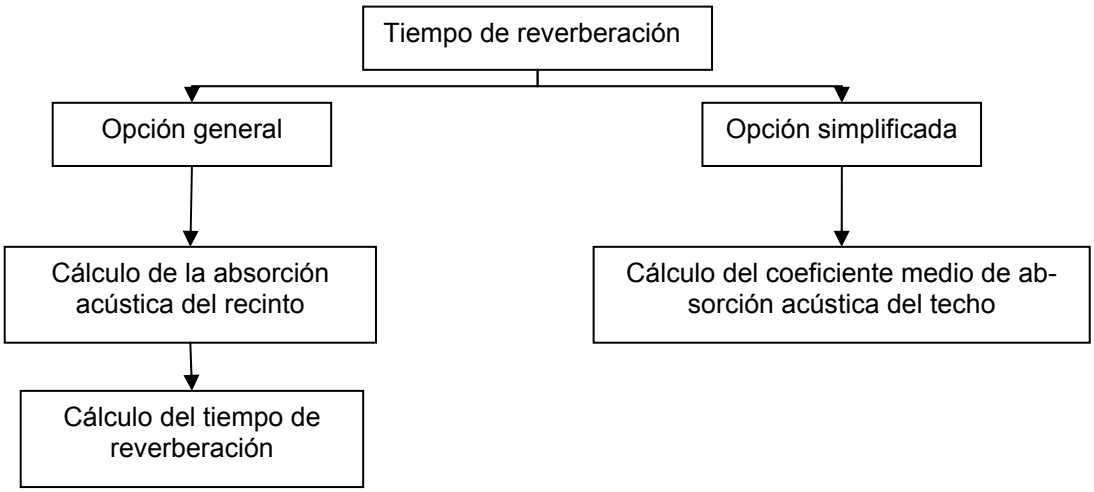
Para ello es necesario conocer:

- El coeficiente de absorción acústica de los materiales que forman los paramentos.
- El área de absorción acústica media equivalente de cada objeto.

## 4.3 Cálculo del tiempo de reverberación

El DB HR establece dos opciones:

- La opción general, que consiste en el cálculo del tiempo de reverberación a partir del volumen y de la absorción acústica de cada uno de los recintos;
- La opción simplificada, que consiste en emplear un tratamiento absorbente acústico aplicado generalmente en el techo. La opción simplificada sólo es válida en el caso de de aulas de volumen hasta 250 m3, restaurantes y comedores.




### 4.3.1. Opción general

El método de cálculo de la opción general consiste en el cálculo del tiempo de reverberación, que se calcula mediante la conocida expresión de Sabine:

$$T = \frac{0{,}16\ V}{A} \quad [s] \qquad (4.2)$$

en la que

V volumen del recinto, en $m^3$;

A absorción acústica total del recinto, en $m^2$, que se obtiene tal y como se ha comentado en el apartado anterior.

### 4.3.2. Opción simplificada

En la mayoría de los casos puede emplearse un tratamiento absorbente uniforme aplicado únicamente en el techo; los valores mínimos del coeficiente de absorción acústica medio ($\alpha_t$) del material o techo suspendido se obtienen:

En la obtención de estas fórmulas, se ha despreciado la absorción del suelo y se ha considerado 0,03 el coeficiente de absorción de las paredes:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aulas de volumen hasta 250 m$^3$:**<br><br>- sin butacas tapizadas<br>$\alpha_t = h \cdot \left( 0{,}23 - \frac{0{,}12}{\sqrt{S_t}} \right)$ | | | | | | | | | |
| Dan valores como: (en función de la altura del recinto) | h | 2,5 | 2,75 | 3 | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 | |
| | $\alpha_t$ | 0,54 | 0,59 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,86 | |
| - con butacas tapizadas<br>$\alpha_t = h \cdot \left( 0{,}32 - \frac{0{,}12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0{,}26$ | | | | | | | | | |
| Dan valores como: (en función de la altura del recinto) | h | 2,5 | 2,75 | 3 | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 | |
| | $\alpha_t$ | 0,51 | 0,59 | 0,66 | 0,74 | 0,81 | 0,89 | 0,96 | |
| **Restaurantes y comedores:**<br><br>$\alpha_t = h \cdot \left( 0{,}18 - \frac{0{,}12}{\sqrt{S_t}} \right)$ | | | | | | | | | |
| Dan valores como: (en función de la altura del recinto) | h | 2,5 | 2,75 | 3 | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 | 5 | 6 |
| | $\alpha_t$ | 0,44 | 0,48 | 0,53 | 0,57 | 0,62 | 0,66 | 0,70 | 0,88 | 1,06 |

Siendo

h altura libre del recinto, en m;

$S_t$ área del techo, en m$^2$.

Puede ocurrir, para recintos con techos altos, con mucho volumen pero poca superficie de techo, que el valor de la absorción acústica del techo sea muy grande, incluso superior a 1. En estos casos, puede repartirse la absorción, entre el techo y los paramentos; el coeficiente de absorción acústica en estos casos se calcula de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^{n} (\overline{\alpha_f})_i \cdot S_i = \alpha_t \cdot S_t \qquad (4.3)$$

# 5 Ruido y vibraciones de las instalaciones

En general, las instalaciones de un edificio pueden influir en el confort acústico de estas tres formas:

- Deteriorando los elementos constructivos.
- Creando puentes acústicos en los elementos de separación entre unidades de uso diferentes.
- Generando ruidos y vibraciones.

Los dos primeros puntos pueden resolverse mediante unas buenas prácticas constructivas, el punto tercero es el que el DB trata en un apartado específico. Para limitar la transmisión de ruido y vibraciones producida por éstas, el DB HR indica una serie de **condiciones de montaje** específicas para cada tipo de instalación.

En el documento DB HR se tratan cada una de los siguientes sistemas de instalaciones y sus particularidades de montaje:

- Equipos generadores de ruido estacionario, tales como calderas, bombas de impulsión, maquinaria de los ascensores, compresores, etc.
- Se limita la potencia acústica ($L_w$) de los equipos instalados en:
    - Recintos de instalaciones, colindantes con recintos habitables o protegidos (en función de las características del recinto de instalaciones, V, T,… y de las características del equipo y del sistema antivibratorio que utilice)

      (Aunque se recomienda que estos recintos no sean colindantes con recintos protegidos y recintos habitables del edificio)
    - Recintos protegidos (en función de las características del recinto protegido, V, T, …)

$$L_W \leq L_{eqA,T} - 10 \cdot \log\left[\frac{\phi}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right] \quad [dB] \qquad (4.4)$$

en la que

$L_w$ nivel de potencia acústica del equipo, [dB];

$L_{eqA,T}$ nivel sonoro continuo equivalente estandarizado, ponderado A, cuyo valor se establece en la tabla 3.7, [dBA];

r distancia al equipo, [m];

A absorción del *recinto* vacío, que debe obtenerse según la expresión 3.26 del apartado 3.2.2, [$m^2$];

Φ Factor de directividad de la fuente, cuyo valor viene dado en la tabla 3.8.

**Tabla 5.1 Valores del nivel sonoro continuo equivalente estandarizado, ponderado A, $L_{eqA,T}$**

| Uso del edificio | Tipo de recinto | Valor de $L_{eqA,T}$ (dBA) |
|---|---|---|
| Sanitario | Estancias | 35 |
| | Dormitorios y quirófanos | 30 |
| | Zonas comunes | 40 |
| Residencial | Dormitorios y estancias | 30 |
| | Zonas comunes y servicios | 50 |
| Administrativo | Despachos profesionales | 40 |
| | Oficinas | 45 |
| | Zonas comunes | 50 |
| Docente | Aulas | 40 |
| | Sala lectura y conferencias | 35 |
| | Zonas comunes | 50 |
| Cultural | Cines y teatros | 30 |
| | Salas de exposiciones | 45 |
| Comercial | | 50 |

**Tabla 5.2 Valores del factor de directividad de equipos situados en el interior de recintos**

| Situación del equipo en el recinto | Factor de directividad, Φ |
|---|---|
| En el centro del recinto | 1 |
| En una superficie: Suelo, techo o partición | 2 |
| En la arista formada en el encuentro de dos elementos constructivos | 4 |
| En un rincón | 8 |

    - Cubiertas: El nivel de potencia acústica máximo de los equipos situados en cubiertas y zonas exteriores anejas, será tal que en el entorno del equipo y en los recintos habitables y protegidos no se superen los objetivos de calidad correspondientes (establecidos por la Ley del Ruido)

- Redes hidráulicas
- Redes de aire acondicionado
- Ventilación
- Evacuación de residuos
- Ascensores y montacargas.

# 6 Conclusiones

La entrada en vigor del Documento Básico de Protección frente al ruido implicará una serie de cambios significativos. En relación al aislamiento acústico, éstos serán fundamentalmente el aumento de los niveles de ruido exigidos y el uso de índices comparables con una medida. Como consecuencia de ese planteamiento del aislamiento in situ, el concepto de **solución de aislamiento** es el de una solución global, que depende del resto de elementos constructivos, además del elemento separador, así como de la geometría, uniones, etc.

Supone en uso de soluciones novedosas, bien porque aumentan de espesor, bien por tratase de otras tipologías de soluciones que hoy en España son poco corrientes, como por ejemplo, soluciones de mixtas, soluciones de fábrica sobre bandas elásticas, etc. Se hace extensivo el uso de suelos flotantes y, en ocasiones, de techos suspendidos con material absorbente.

La ejecución correcta de las soluciones de aislamiento pasa a desempeñar un papel fundamental, haciendo que un mínimo error en la puesta en obra sea fatal para la consecución de los requisitos de aislamientos necesarios.

Aparecen por primera vez nuevas exigencias relacionadas con el acondicionamiento acústico, absorción acústica y tiempo de reverberación, con la finalidad de mejorar los niveles de ruido de fondo en las zonas comunes, comedores y restaurantes y de mejorar la inteligibilidad en aulas y salas de conferencias. Como solución generalizada y más sencilla se propone la instalación de un techo acústico en el que se concentre la absorción del recinto.

# CÁLCULOS ACÚSTICOS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS

Amelia Romero Fernández
Mª Teresa Carrascal García
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 Introducción

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, que es una onda mecánica que se propaga a través de un medio. A efectos prácticos, la acústica estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido. Así son ramas de la acústica:

- Acústica Física: análisis de los fenómenos sonoros mediante modelos físicos y matemáticos.
- Acústica arquitectónica o Arquitectura acústica: tiene que ver tanto con diseño de las propiedades acústicas de un recinto a efectos de fidelidad de la escucha (salas de conciertos, teatros, aulas, salas de conferencias, etc.), para esto el arquitecto emplea 2 tipos de materiales los que son absorbentes del sonido y los que reflejan el sonido, como de las formas efectivas de aislar del ruido los recintos habitables.
- Psicoacústica: estudia la percepción del sonido en humanos, la capacidad para localizar espacialmente la fuente, la calidad observada de los métodos de compresión de audio, etcétera.
- Bioacústica: estudio de la audición animal (murciélagos, perros, delfines, etc.)
- Acústica subacuática: relacionada sobre todo con la detección de objetos mediante sonido sonar.
- Acústica musical: estudio de la producción de sonido en los instrumentos musicales, y de los sistemas de afinación de la escala.
- Electroacústica: estudia el tratamiento electrónico del sonido, incluyendo la captación (micrófonos y estudios de grabación), procesamiento (efectos, filtrado comprensión, etc.) amplificación, grabación, producción (altavoces), etc.

Todas estas ramas de la acústica, ya sea por exigencias de la ciencia, la ingeniería o la industria, requieren amplios conocimientos de física y la realización continua de cálculos complejos y tediosos, por lo que resulta imprescindible el desarrollo y uso de herramientas informáticas que ayuden a los proyectistas.

Estos programas informáticos aplicados a la acústica empezaron a desarrollarse a mediados de los años 80, aunque hasta el año 1990 no empezaron a crearse como tal. Cada vez la necesidad de simulaciones más rápidas y exactas en los procesos y diseños es mayor, y es necesario considerar un número muy amplio de factores. Las herramientas informáticas intentan dar respuesta a estas necesidades mediante nuevas técnicas de modelado y simulación en campos como la propagación de ondas acústicas; además, gracias a poder de las computadoras actuales los técnicos pueden disponer de los modelos de cálculo como una herramienta muy valiosa para enfrentarse a la complejidad de los fenómenos acústicos.

En términos generales, el método informático consiste en la aplicación de modelos de cálculo ó *predictivos* (conjunto de algoritmos matemáticos) mediante programas informáticos creados a tales efectos, a los cuales se les debe suministrar una gran cantidad de datos. Es fundamental disponer de unos buenos datos de entrada, completos y precisos, para obtener unos resultados más acordes a la realidad.

A lo largo de esta ponencia nos centraremos en el estudio de los cálculos y medios informáticos relativos a la acústica ambiental (mapas de ruido) y acústica arquitectónica (predicción de aislamiento y modelado de acondicionamiento acústico de salas).

# 2 Acústica ambiental

La acústica ambiental estudia la propagación del sonido en ambiente exterior, mediante los mecanismos de propagación del sonido de absorción, reflexión y difracción.

En este ámbito la simulación y predicción acústica se aplica en el estudio de impacto acústico y evaluación de ruido ambiental, en el dimensionado de barreras y pantallas acústicas y estudio de su eficacia, y sobre todo en el cálculo y representación de mapas de ruido.

## 2.1 Los mapas de ruido

Un mapa de ruido es una presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un índice de ruido en la que se indicará la superación de cualquier valor límite vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona específica.

En general, es la representación gráfica de los niveles de presión sonora (ruido) existentes en una determinada zona. Dicha representación puede efectuarse de dos formas: por medio de isófonas, o líneas que unen puntos cuyos niveles de presión sonora son iguales, o por medio de colores, en cuyo caso los puntos cuyo nivel de presión sonora es igual se representan con un mismo color.

Existen distintas metodologías a la hora de realizar un mapa de ruido. Éste puede ser bien medido, bien calculado, es decir, realizando una predicción mediante una herramienta informática. Evidentemente, cada opción tendrá sus ventajas e inconvenientes y se adaptará mejor o peor a cada circunstancia. A grandes rasgos podemos decir que la principal limitación del procedimiento de medida es que sólo pueden tomarse datos en una situación real, dificulta el estudio de situaciones futuras y requiere un gran consumo de recursos para obtener los valores promedios anuales que exige la directiva 2002/49/CE, transpuesta en nuestra Ley del Ruido. Por el contrario, el mapa calculado requiere menos recursos, es más rápido, permite discriminar focos de ruido, pero la precisión del resultado depende del modelo empleado y la precisión de los datos de entrada.

Los métodos de cálculo que proporciona la Directiva 2002/49/CE son los siguientes:

**Tabla 3.1 Métodos de cálculo de la directiva**

| Fuente | Método de cálculo |
|---|---|
| Industria | ISO-9613-2 |
| Aeronaves | ECAC-CEAC |
| Tráfico rodado | NMPB-Routes-96 |
| Trenes | Método nacional de Países Bajos |

## 2.2 Aplicaciones informáticas

Las aplicaciones informáticas utilizadas en la elaboración de mapas de ruido, implementan los modelos de cálculo de la tabla anterior. Además, tienen en cuenta la potencia radiada por la fuente emisora, la vía de transmisión del ruido (distancia a la fuente, absorción del aire, reflexiones, dirección y velocidad del viento, etc) y la geometría del lugar (orografía, existencia de edificios, etc.)

Los resultados que se obtienen dependen de la precisión y calidad de los datos de entrada y del esfuerzo para caracterizar acústicamente la zona (toma de decisiones).

El método informático consiste en la aplicación de modelos de cálculo ó *predictivos* (conjunto de algoritmos matemáticos) mediante programas informáticos creados a tales efectos, a los cuales se les debe suministrar una gran cantidad de datos, los cuales básicamente pueden resumirse como **datos geográficos** (para crear el modelo tridimensional de la zona), **datos del tránsito**, como ser cantidad de vehículos y velocidad, según la categoría de los mismos (automóviles, colectivos y camiones, motos) para los distintos períodos del día y **datos estadísticos** y **meteorológicos**. Una vez creado el modelo en 3D e ingresado todos estos datos en la computadora, estaremos en condiciones de ejecutar el software y trazar las *curvas isófonas*, es decir, las curvas que unen puntos de igual nivel sonoro similares a otras curvas de nivel que estamos habituados a ver en los planos de agrimensura (curvas de niveles de altitud).

Es muy importante valorar en los programas informáticos su facilidad de importar y exportar distintos ficheros, y su capacidad de incorporación a Sistemas de Información Geográficos (GIS).

En el mercado existe una amplia oferta de programas informáticos para la realización de mapas de ruido.

# 3 Acústica arquitectónica

La acústica arquitectónica estudia la propagación del sonido en ambiente interior, tratando lo relacionado con los sonidos en la construcción y su entorno, en dos vertientes: el aislamiento acústico y el acondicionamiento acústico. En el primer caso nos referiremos tanto al comportamiento de los materiales y sistemas constructivos en laboratorio como al aislamiento entre recintos. En cuanto al acondicionamiento acústico de recintos nos referiremos a la absorción y tiempo de reverberación y a la inteligibilidad de la palabra fundamentalmente, aunque existen otros parámetros de calidad acústica de salas (tiempo de caída inicial EDT, distancia crítica, claridad C, brillo, sonoridad, etc).

Las aplicaciones informáticas en el campo de la acústica arquitectónica son muy versátiles, permitiendo el estudio de:

- Predicción de aislamiento en laboratorio
- Predicción de aislamiento in situ
- Cálculo del coeficiente de absorción de materiales

- Acondicionamiento acústico de salas
- Auralización

# 3.1 Modelos de cálculo para aislamiento acústico en laboratorio

## 3.1.1. Ruido aéreo

Los dos parámetros que caracterizan el aislamiento acústico de los elementos constructivos son:

- el índice de reducción acústica, R, y sus expresiones globales: $R_A$, $R_w(C, C_{tr})$, $R_{A,tr}$;
- la mejora del índice de reducción acústica, $\Delta R$ y sus expresiones globales: $\Delta R_A$, $\Delta R_w(C,C_{tr})$, que caracteriza los revestimientos, tales como trasdosados, suelos flotantes y techos suspendidos.

Estos índices caracterizan el aislamiento acústico de los elementos constructivos **en laboratorio,** es decir, son índices que indican el aislamiento de un elemento constructivo cuando mo existen transmisiones indirectas, o éstas son despreciables. Existen diferentes métodos analíticos de estimar el aislamiento acústico de los elementos constructivos de una hoja o varias hojas, que se comentarán brevemente en los apartados siguientes.

### 3.1.1.1 Elementos homogéneos

Los elementos constructivos de una hoja de fábrica, de yeso o de hormigón se describen macroscópicamente como elementos homogéneos, en los que el aislamiento acústico es función de la masa, y en menor medida de la rigidez y el amortiguamiento.

En general, cuanto más pesado o más denso es un elemento constructivo, menos vibra y menos energía transmite cuando es excitado por el campo acústico. Existen numerosas ecuaciones obtenidas de forma semiempírica que relacionan la masa por unidad de superficie con el índice global de reducción acústica (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2 Leyes de masa**

| Fuente | Leyes de masa | |
|---|---|---|
| **UNE EN 12354-1** | Si m ≥ 150 kg/m$^2$ | $R_w = 37{,}5 \cdot \log m - 42$ (dB)<br>C está comprendida entre [-2, -1]<br>$C_{tr} = 16 - 9 \cdot \log m$ , con $C_{tr}$ comprendido entre (-7,-1) |
| **NBE CA 88** | Si m < 150 kg/m$^2$<br>Si m ≥ 150 kg/m$^2$ | $R_A = 16{,}6 \cdot \log m + 2$ (dBA)<br>$R_A = 36{,}5 \cdot \log m - 41{,}5$ (dBA) |
| **DB HR - CTE** | Si m ≤ 150 kg/m$^2$<br>Si m ≥ 150 kg/m$^2$ | $R_A = 16{,}6 \cdot \log m + 5$ (dBA)<br>$R_A = 36{,}5 \cdot \log m - 38{,}5$ (dBA) |

La diferencia entre las diferentes leyes de masa se debe a varios factores, algunos relacionados con las diferentes propiedades de los productos y otros relacionados con las instalaciones de los laboratorios y con los diferentes métodos de medida empleados.

De estas ecuaciones se desprende que al aumentar la masa o el espesor de una partición al doble, sólo se consigue un aumento del índice global de reducción acústica de entre 5 y 11 dB. Para obtener un aislamiento acústico mayor, es imprescindible recurrir a otras soluciones, como a paredes dobles, trasdosados de placas de yeso laminado...etc.
Si se analiza el espectro del índice de reducción acústica, R, de una partición de una hoja pueden observarse tres zonas claramente diferenciadas (Véase figura 3.3):

a) la zona de dominio de la elasticidad, por debajo de la frecuencia natural o de resonancia de la partición;

b) la zona de dominio de la masa, que está comprendida entre la frecuencia natural de la partición y la frecuencia crítica. El aislamiento acústico en esta zona del espectro depende de la masa por unidad de superficie de la partición y de la frecuencia, de tal forma que El índice de reducción acústica aumenta teóricamente a razón de 6 dB/octava.
La frecuencia crítica es aquella a la que la longitud de onda incidente coincide con la longitud de onda de flexión. En este punto las velocidades de la onda incidente y la de la onda de flexión se suman y el elemento radia una cantidad de energía considerable. Este fenómeno, denominado coincidencia, es el responsable del descenso de aislamiento acústico experimentado en un rango de frecuencias aproximado de una octava.
La llamada ley de masas teórica permite estimar el aislamiento de una partición de una hoja en función de su masa, y es sólo válida en el intervalo de frecuencias comprendido entre la frecuencia de resonancia y la frecuencia crítica. La expresión siguiente sólo es válida para una incidencia de campo (Φ = 0 – 78º) y para elementos cuyo índice global de aislamiento acústico no supere los 45 dB.

$$R = 20 \cdot \log(m \cdot f) - 48 \quad (dB) \qquad (3.1)$$

donde:
R, índice de reducción acústica, en dB
m, masa por unidad de superficie, en kg/m$^2$
f, frecuencia, en Hz

c) la zona dominada por la rigidez y el amortiguamiento, que se da a partir de la frecuencia crítica.

Para frecuencias superiores a la crítica, el aislamiento acústico de una partición de una hoja depende del factor de pérdidas internas del material, η, que representa la fracción de energía mecánica disipada en forma de energía calorífica, de tal forma que cuanto mayor sea este, mayor es el aislamiento acústico de la partición.

Por encima de la frecuencia crítica, el aislamiento acústico de una pared homogénea ideal aumenta entre 9 y 10 dB por octava.

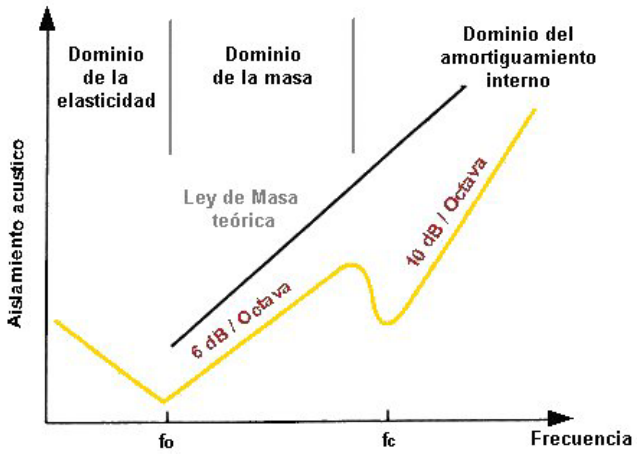



Figura 3.3. Comportamiento ideal de un elemento de una hoja

### 3.1.1.2 Elementos de varias hojas

En cualquier elemento constructivo que esté formado por varias hojas, el sonido se transmite desde la hoja exterior a la hoja interior a través de la cámara.

Los sistemas de paredes dobles presentan un aumento del aislamiento respecto a las particiones sencillas debido al efecto de la cámara, que rompe la continuidad del material y disminuye la energía acústica transmitida gracias al cambio de densidades. Cada vez que una onda acústica incide en un medio diferente, parte de la energía incidente es reflejada, y por tanto, la transmisión de ruido al siguiente material es menor.

Este comportamiento es similar al de un sistema mecánico masa-muelle-masa y depende de los siguientes cuatro factores:

a) La masa por unidad de superficie de cada una de las hojas.
b) La distancia entre las hojas
c) El material de la cámara.
d) La conexión mecánica entre las hojas.

El espectro de una fachada multicapa tiene tres zonas diferenciadas:

a) una zona de frecuencias inferiores a la frecuencia de resonancia de la partición ($f < f_0$), en la que el tabique se comporta como una partición simple de masa equivalente a la suma de las masas de ambas hojas ($m_1 + m_2$) y su aislamiento se rige por la ley de masa.

   La ecuación siguiente permite estimar el índice de reducción acústica, R, y la frecuencia de resonancia ,$f_{0,}$ de un sistema formado por dos hojas de fábrica.

$$R = 20\cdot\log\left[\left(m_1 + m_2\right)f\right] - 48 \ \text{(dB) Si } f<f_{0,} \tag{3.2}$$

$$f_0 = 84\cdot\sqrt{\frac{1}{d}\left(\frac{1}{m_1}+\frac{1}{m_2}\right)} \ \text{(dB)} \tag{3.3}$$

   donde:
   $m_1$, masa por unidad de superficie de la hoja 1, en kg/m2.
   $m_2$, masa por unidad de superficie de la hoja 2, en kg/$m^2$.
   f, frecuencia, en Hz.
   $f_0$, frecuencia de resonancia, en Hz.
   d, espesor de la cámara, en m.

b) Zona comprendida entre la frecuencia de resonancia y la primera frecuencia de resonancia de la cámara ($f_0 > f > f_{r,1}$). En esta zona del espectro, el aislamiento acústico de la partición aumenta a razón de 18 dB/octava y resulta superior al de un tabique de la misma masa. Su aislamiento acústico puede estimarse según:

$$R = R_{m1} + R_{m2} + 10\cdot\log d + 10\cdot\log\alpha' + 10\cdot\log\left(\frac{h+l}{h\cdot l}\right) + 3 \ \text{(dB) Si } f_0 < f < f_{r,1} \tag{3.4}$$

$$f_{r,1} \cong \frac{172}{d} \ \text{(dB)} \tag{3.5}$$

   donde:
   $R_{m,1}$ es el índice de reducción acústica de la hoja 1, en dB.
   $R_{m,2}$ es el índice de reducción acústica de la hoja 2, en dB.
   d es el espesor de la cámara, en m.
   h es la altura de la partición, en m.

l es la anchura de la partición, en m.
$\alpha' = K \cdot \alpha$

donde:
$\alpha$, es el coeficiente de absorción del material de la cámara.
K es un factor que depende de d, la distancia de separación entre las hojas:
K = 0,1, si d ≤ 0,1 m.
K = 0,2, si 0,1 < d < 0,3 m.
K = 0,5, si 0,3 ≤ d < 0,5 m

c) Zona de ondas estacionarias o de frecuencias de resonancia en la cámara, ($f > f_{r,1}$). Es el intervalo de frecuencias susceptibles de generar ondas estacionarias y provocar disminuciones del aislamiento, que se pueden controlar introduciendo un material absorbente acústico en la cámara.

A partir de la primera frecuencia de resonancia de la cámara, el aislamiento acústico puede estimarse mediante:

$$R = R_{m1} + R_{m2} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4}\right) \text{ (dB) } f > f_{r,1} \quad (3.6)$$

### 3.1.1.3 Trasdosados

La mejora de índice de reducción acústica, $\Delta R$ y sus expresiones globales, $\Delta R_A$ y $\Delta R_w$, expresan el incremento del aislamiento a ruido aéreo que aporta un trasdosado de placas de yeso laminado, un suelo flotante o un techo suspendido, de tal forma que $\Delta R$ puede sumarse de forma lineal al índice de reducción acústica del elemento base:

$$R_{\text{elemento base + trasdosado}} = R_{\text{elemento base}} + \Delta R_{\text{trasdosado}} \quad (3.7)$$

Para poder caracterizar un revestimiento, ya sea un techo, un suelo o un trasdosado, por el parámetro $\Delta R$, éste debe ser independiente del elemento base, y cumplir las siguiente condiciones:

a) su masa por unidad de superficie tiene que ser despreciable en comparación con la del elemento base;

b) la frecuencia de coincidencia del sistema debe estar por debajo del intervalo de frecuencias medido, que suele ser de 100 a 5000 Hz;

c) el acoplamiento entre el revestimiento y el elemento base debe ser escaso.

Para que se cumplan estas condiciones, es necesario que la masa por unidad de superficie del elemento base tiene que ser muy superior a la del trasdosado. La norma ISO 140 – 6, que contiene el procedimiento de medición del la mejora del índice de reducción acústica de esta clase de revestimientos, especifica que la masa del elemento base debe ser superior a 350 kg/m$^2$. Sin embargo, en la práctica, los trasdosados se aplican generalmente a elementos mucho más ligeros cuyas masas están comprendidas entre 100 y 200 kg/m$^2$.

Es estos casos, la mejora del índice de reducción acústica depende del elemento base sobre el que se coloca el trasdosado, y se da el siguiente fenómeno: cuanto más ligero o menos aislante es el elemento homogéneo de la base, mayor es la mejora que proporciona el trasdosado. Esto explica que los resultados de $\Delta R$ sobre un elemento base no siempre sean aplicables a

otros elementos base y que siempre deban aplicarse con el elemento base con el que se ha obtenido.

La norma UNE EN 12354 – 1 contiene un método de cálculo de la mejora del índice de reducción acústica.

### 3.1.2. Ruido de impactos

#### 3.1.2.1 Forjados

En cuanto al aislamiento a ruido de impactos de forjados, existen varias aproximaciones para estimar el nivel de presión de ruido de impactos de forjados homogéneos, es decir, aquellos forjados unidireccionales y bidireccionales, losas macizas de hormigón, losas alveolares...etc.

En la norma UNE EN 12354 – 2 se recogen varias leyes de reciprocidad, es decir, expresiones que correlacionan el aislamiento a ruido aéreo y de impactos de un forjado homogéneo:

$$R + L_n = 43 + 30 \log f \qquad \text{1/3 de octava} \qquad (3.8)$$

$$R + L_n = 38 + 30 \log f \qquad \text{Octavas} \qquad (3.9)$$

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \log m \qquad \text{Valores globales. } (100 \le m \le 600 \text{ kg/m}^2) \qquad (3.10)$$

donde:

R es el índice de reducción acústica, en dB;

$L_n$ es el nivel de presión de ruido de impactos, en dB;

f es la frecuencia, en Hz;

$L_{n,w,eq}$ es el nivel de presión de ruido de impactos normalizado, en dB;

m es la masa por unidad de superficie, en kg/m$^2$.

#### 3.1.2.2 Suelos flotantes

La reducción del nivel de ruido de impactos, $\Delta L$, expresa el incremento del aislamiento a ruido de impactos que se produce por la instalación de suelos flotantes y otros revestimientos en los forjados como moquetas, alfombras, revestimientos de caucho...etc.

Los suelos flotantes consisten en una capa rígida sobre un material aislante a ruido de impactos. Este conjunto tiene el efecto de provocar una discontinuidad perpendicular a la dirección de recorrido de las ondas de vibración y por consiguiente una disminución del ruido estructural transmitido.

Como capa rígida, suele disponerse de una capa de mortero de 40 o 50 mm de espesor. También pueden utilizarse los llamados suelos secos, que consisten en varias placas de yeso laminado dispuestas sobre el material aislante a ruido de impactos.

En cuanto a los aislantes a ruido de impactos, suelen ser materiales elásticos y flexibles. Suelen utilizarse las lanas minerales, el polietileno reticulado, el poliestireno expandido elastificado...etc.

Para estimar la reducción del nivel de impactos normalizado, pueden utilizarse la norma UNE EN 12354-2. Este procedimiento es conservador y permite estimar $\Delta L$ a partir de la rigidez di-

námica, s', del material aislante a ruido de impactos y de la masa por unidad de superficie de la capa de mortero dispuesta por encima de él.

La frecuencia de resonancia, $f_0$, de un suelo flotante es:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m}} \qquad (3.11)$$

donde:

s' es la rigidez dinámica del material aislante a ruido de impactos, en $MN/m^3$;

m es la masa por unidad de superficie de la capa rígida dispuesta por encima del material aislante a ruido de impactos, en $kg/m^2$.

Para suelos con capa rígida de mortero, $\Delta L$ es:

$$\Delta L = 30 + \log \frac{f}{f_0} \qquad (3.12)$$

y para soleras seca:

$$\Delta L = 40 + \log \frac{f}{f_0} \qquad (3.13)$$

donde:

f, es la frecuencia, en Hz;

$f_0$ es la frecuencia de resonancia según está indicado en la ecuación 3.11.

### 3.1.3. Aplicaciones informáticas

Existen diversas herramientas informáticas que permiten hacer una estimación del aislamiento acústico en laboratorio de paredes, techos y suelos. Estas aplicaciones son una herramienta que permite la optimización de las prestaciones acústicas de soluciones constructivas existentes, la modelización de variaciones en un elemento constructivo y el desarrollo de nuevos sistemas constructivos, sin tener que recurrir a los ensayos en cámara.

Para particiones de una hoja, estos programas suelen usar la ley de masas. El procedimiento de cálculo es similar al expuesto en el apartado 3.1.1.1. Con la masa por unidad de superficie, m, y el módulo de elasticidad, E, se calcula la frecuencia crítica de la partición. El dato de la frecuencia crítica divide el espectro en dos zonas y en cada una de ellas se aplicarán diferentes ecuaciones.

En cuanto a las paredes dobles, estos programas suelen basarse en los modelos de cálculo de Ljunggren, Rindell, Sharp, Cremer, F. Fahy...etc.

## 3.2 Modelos de cálculo para aislamiento acústico in situ

Los modelos de cálculo generales se basan en el **análisis estadístico energético (S.E.A.)** basado en flujos de potencia acústica entre sistemas. El modelo de cálculo normativo, obtenido a partir de simplificaciones generales del método S.E.A., viene especificado en la norma UNE EN 12354.

Esta norma está adoptada como modelo de predicción en la mayoría de países europeos y presenta dos tipos de cálculo:

- Simplificado: utiliza únicamente índices globales de aislamiento (método recogido en el DB HR del CTE).

- Detallado: utiliza cálculos en frecuencias y añade otra serie de datos de entrada, como diferencias entre las condiciones de contorno laboratorio/obra real, etc.

El objetivo de ambos es evaluar y sumar cada uno de los posibles caminos de transmisión del sonido para obtener una estimación del comportamiento del edificio a partir del comportamiento de sus soluciones constructivas, tanto a ruido aéreo como a ruido de impactos.

### 3.2.1. Método de cálculo de aislamiento a ruido aéreo

La **diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, ($D_{nT,A}$)** utilizada para interiores se calcula mediante la expresión:

$$D_{nT,A} = R'_A + 10 \cdot \lg\left(\frac{0{,}32 \cdot V}{S_s}\right) \quad [\text{dBA}] \qquad (3.14)$$

en la que

V Volumen del *recinto* receptor, en $m^3$;

$S_s$ Área compartida del elemento de separación, en $m^2$,

$R'_A$ Índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, en dBA.

El índice global de reducción acústica aparente se puede calcular mediante la suma de las contribuciones del aislamiento del elemento separador y de los 12 caminos principales de transmisiones indirectas (n=4)

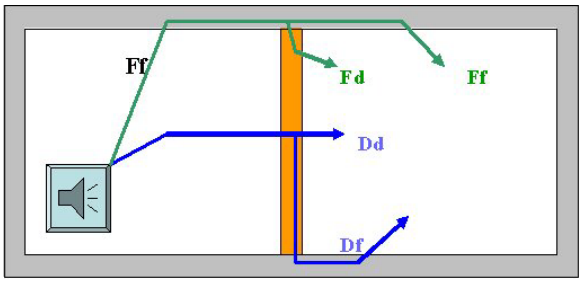



**Fig. 3.1Caminos de transmisión**

**1 x Dd**

**4 x Fd**

**4 x Df**

**4 x Ff**

$$R'_A = -10 \cdot \lg\left(10^{-0{,}1R_{Dd,A}} + \sum_{F=f=1}^{n} 10^{-0{,}1R_{Ff,A}} + \sum_{f=1}^{n} 10^{-0{,}1R_{Df,A}} + \sum_{F=1}^{n} 10^{-0{,}1R_{Fd,A}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{ai=ei,Si} 10^{-0{,}1Dn,ai,A}\right) \textit{[dBA]} \qquad (3.15)$$

en la que

$R_{Dd,A}$ Aislamiento para la *transmisión directa* (elemento separador), en dBA;

$R_{Ff,A}$, $R_{Df,A}$, $R_{Fd,A}$ Aislamiento para cada uno de los caminos de *transmisión indirecta*, en dBA

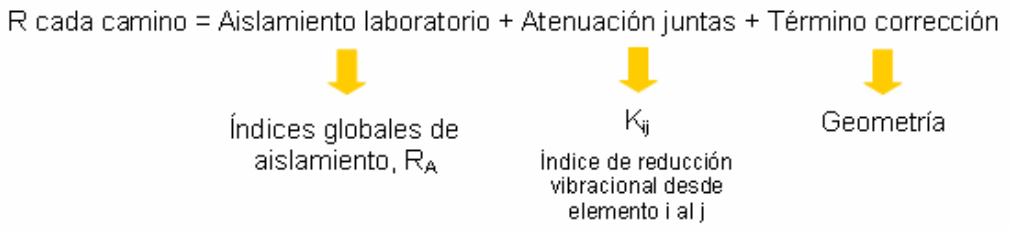
$D_{n,ai,A}$ Diferencia de niveles normalizada para la transmisión de ruido aéreo por vía directa de *elementos de construcción pequeños* tales como aireadores ($D_{n,e,A}$), o por vía indirecta ($D_{n,s,A}$) a través de distribuidores y pasillos o a través de sistemas tales como conductos de instalaciones;

n Número de elementos de flanco del recinto, que normalmente es 4 pero puede ser diferente según el diseño del recinto;

$S_s$ Área compartida del elemento de separación, en $m^2$;

$A_0$ Área de absorción equivalente de referencia, de valor $A_0$=10 $m^2$.

El índice de reducción acústica o aislamiento de cada camino de transmisión se calcula considerando:




Para el camino directo:

$$R_{Dd,A} = R_{S,A} + \Delta R_{Dd,A} \quad [dBA] \tag{3.16}$$

en la que

$R_{S,A}$ aislamiento del elemento de separación (laboratorio), en dBA

$\Delta R_{Dd,A}$ mejora de aislamiento, por efecto de revestimientos del lado de la emisión y de la recepción, en dBA:

Un *revestimiento*: $\Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{D,A}$ ó $\Delta R_{d,A}$

Dos *revestimientos*: $\Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{D,A} + \frac{\Delta R_{d,A}}{2}$ ó $\Delta R_{Dd,A} = \Delta R_{d,A} + \frac{\Delta R_{D,A}}{2}$

Para las transmisiones por flancos:

$$R_{ij,A} = \frac{R_{i,A} + R_{j,A}}{2} + \Delta R_{ij,A} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 l_f} \quad [dBA] \tag{3.17}$$

en la que

ij Ff; Fd o Df, para representas los distintos caminos de transmisión;

$R_{i,A}$ índice global de reducción acústica del elemento de flanco emisor i, en dBA,

$R_{j,A}$ índice global de reducción acústica del elemento de flanco receptor j, en dBA,

$\Delta R_{ij,A}$ mejora de aislamiento, por efecto de los revestimientos de los elementos de flanco, en dBA.

$K_{ij}$ índice de reducción de vibraciones para el camino por flancos ij

$S_s$ área compartida del elemento de separación, en $m^2$

$l_f$ longitud común de la arista de unión entre el elemento de separación y los elementos de flancos F y f, en m;

$l_0$ longitud de la arista de unión de referencia, de valor $l_0$=1 m.

Los índices de reducción de vibraciones (Kij) se estiman a partir de la relación entre las masas de lo elementos que acometen en la unión, mediante diferentes ecuaciones en función del tipo de junta (Uniín rígida en T, rígida en cruz, con elementos elásticos, etc).

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \tag{3.18}$$

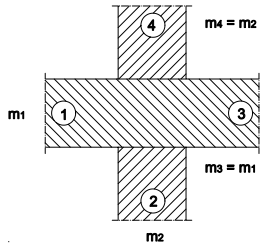
en la que

$m'_i$ Masa por unidad de superficie del elemento i en el camino de transmisión ij, en $kg/m^2$;

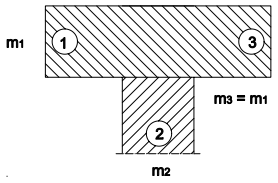
$m'_{\perp i}$ Masa por unidad de superficie del otro elemento, perpendicular al i, que forma la unión, en kg/m$^2$.

**Ejemplo de uniones:**

**Unión rígida en + de elementos homogéneos:**

| | |
|---|---|
|  | $K_{13} = 8{,}7 + 17{,}1M + 5{,}7 \cdot M^2$ dB;<br><br>$K_{12} = 8{,}7 + 5{,}7 \cdot M^2 \ (= K_{23})$ dB; |

**Unión rígida en T de elementos homogéneos:**

| | |
|---|---|
|  | $K_{13} = 5{,}7 + 14{,}1M + 5{,}7 \cdot M^2$ dB;<br><br>$K_{12} = 5{,}7 + 5{,}7 \cdot M^2 \ (= K_{23})$ dB; |

En el caso de **fachadas** el método de cálculo es el siguiente:

La **diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, de la fachada para ruido de tráfico ($D_{2m,nT,Atr}$)** se calcula mediante la expresión:

$$D_{2m,nT,Atr} = D_{2m,nT,A} + C_{tr} \qquad \text{[dBA]} \tag{3.19}$$

en la que

$C_{tr}$ Término de adaptación espectral del elemento más débil, normalmente la ventana.

Este término de corrección es el valor en dB, que se añade al valor de una magnitud global obtenida por el método de la curva de referencia de la norma ISO 717-1 ($R_w$, por ejemplo), para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular. Cada índice global, ponderado A, lleva incorporado el término de adaptación espectral del índice global asociado, derivado del método de la curva de referencia.

La **diferencia de niveles $D_{2m,nT,A}$** se calcula mediante la expresión:

$$D_{2m,nT,A} = R'_A + \Delta L_{fs} + 10 \cdot \lg \frac{V}{6T_0 S} \qquad \text{[dBA]} \tag{3.20}$$

en la que

$R'_A$ índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, en dBA;

$\Delta L_{fs}$ mejora del aislamiento o diferencia de niveles por la forma de la fachada, en dB;

Las correcciones por la forma de la fachada, $\Delta L_{fs}$, son muy variadas, situándose entre –1 dB y +7 dB, en las formas habituales de balcones y terrazas;

V volumen del recinto receptor, en m$^3$;

S área total de la fachada o de la cubierta, vista desde el interior del recinto, en $m^2$;

$T_0$ tiempo de reverberación de referencia; para viviendas es $T_0$=0,5 s.

Para calcular $R'_A$ se procede de la misma manera que en el caso de recintos interiores, considerando las transmisiones directas e indirectas. Normalmente las transmisiones indirectas pueden despreciarse.

$$R'_A = -10 \cdot \lg\left(10^{-0,1R_{m,A}} + \sum_{F=f=1}^{n} 10^{-0,1R_{Ff,A}} + \sum_{f=1}^{n} 10^{-0,1R_{Df,A}} + \sum_{F=1}^{n} 10^{-0,1R_{Fd,A}} + \frac{A_0}{S} \sum_{ai=ei,Si} 10^{-0,1Dn,ai,A}\right) \quad (3.21)$$

Aislamiento Mixto

Transmisiones indirectas (0 a 2dB)

Rejillas de ventilación, aireadores, etc

El **aislamiento mixto** se calcula según la siguiente expresión:

$$R_{m,A} = -10 \cdot \lg\left(\sum_{j=1}^{n} \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{i,A}}{10}}\right) \quad [dBA] \quad (3.22)$$

en la que

$R_{i,A}$ índice global de reducción acústica ponderado A, del elemento i, en dBA;

S área total del elemento constructivo mixto, en $m^2$;

$S_i$ área del elemento i, en $m^2$.

### 3.2.2. Método de cálculo de aislamiento a ruido de impactos

Cálculo muy similar al visto en aislamiento a ruido aéreo, con la diferencia de que los caminos de transmisión son diferentes e incluso puede no existir camino directo. Nuevamente se trata de sumar niveles sonoros causados por cada camino.

Las situaciones con transmisiones más importantes del ruido de impactos corresponden a recintos superpuestos, recintos adyacentes y recintos con una arista horizontal.

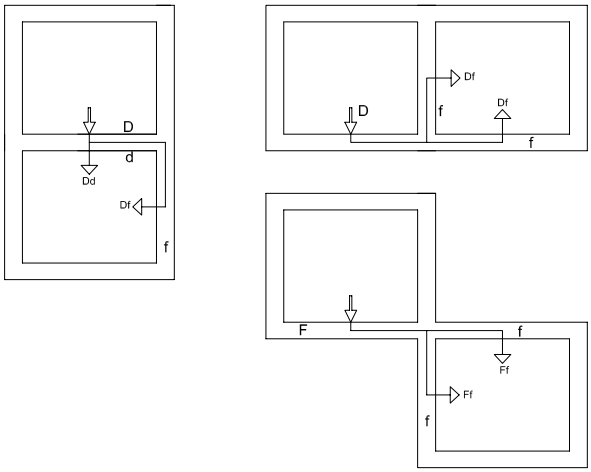



**Fig. 3.2 Definición de los caminos de transmisión entre dos recintos (Vista en sección).**

El nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado se calcula mediante la expresión:

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \cdot \lg(0{,}032 \cdot V) \qquad [dB] \tag{3.23}$$

en la que

V volumen del recinto receptor, en $m^3$;

$L'_{n,w}$ nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, en dB.

En el caso de **recintos superpuestos** el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado viene dado por:

$$L'_{n,w} = 10 \cdot \lg\left(10^{0{,}1 L_{n,w,d}} + \sum_{j=1}^{n} 10^{0{,}1 L_{n,w,ij}}\right) \qquad [dB] \tag{3.24}$$

en la que

$L_{n,w,d}$ nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, debido a la *transmisión directa*, en dB;

$L_{n,w,ij}$ nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, debido a la *transmisión indirecta*, o por flancos, en dB;

n número de flancos o de elementos de flanco, generalmente 4.

Para el **camino directo**:

$$L_{n,w,d} = L_{n,w,situ} - \Delta L_{w,situ} - \Delta L_{d,w,situ} \qquad [dB] \tag{3.25}$$

en la que

$L_{n,w,situ}$ nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, medido in situ, en dB;

$\Delta L_{w,situ}$ reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento del lado de la emisión, (p.e. suelos flotantes), medido in situ, en dB;

$\Delta L_{d,w,situ}$ reducción del nivel global de presión de ruido de impactos por revestimiento del lado de la recepción, medido in situ, en dB.

Para las **transmisiones indirectas**:

La transmisión indirecta desde el elemento i al j vale:

$$L_{n,w,ij} = L_{n,w,situ} - \Delta L_{w,situ} + \frac{R_{A,i,situ} - R_{A,j,situ}}{2} - \Delta R_{A,j,situ} - K_{ij} - 10 \cdot \lg \frac{S_i}{l_{ij} l_0} \qquad [dB] \tag{3.26}$$

en la que

$R_{A,situ}$ índice global de reducción acústica de un elemento, medido in situ, [dBA];

$\Delta R_{A,j,\ situ}$ mejora del índice global de reducción acústica por revestimiento del elemento j, medido in situ, [dB];

$K_{ij}$ índice de reducción de vibraciones para cada camino de transmisión del elemento i al j, [dB];

En el caso de **recintos al mismo nivel y recintos con una arista horizontal común** el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado viene dado por la expresión siguiente; nótese cómo en esta situación no existe transmisión directa:

$$L'_{n,w} = 10 \cdot \lg\left(\sum_{j=1}^{n} 10^{0.1 L_{n,w,ij}}\right) \qquad [dB] \tag{3.27}$$

### 3.2.3. Aplicaciones informáticas para aislamiento acústico

El paso desde los valores de aislamiento de los sistemas constructivos en laboratorio (NBE-CA-88) a términos de aislamiento in situ (DB HR) es complejo, como acabamos de ver. Por esa razón el uso de herramientas informáticas simplifica mucho ese proceso.

Existen distintos software en el mercado para la predicción de aislamiento acústico in situ. Estos programas implementan los modelos de cálculo definidos en la norma UNE EN 12354, y a partir de un modelo geométrico de los recintos y de una potente base de datos de materiales y elementos constructivos son capaces de estimar el aislamiento acústico a ruido aéreo, de impactos o frente al exterior de los recintos.

Algunas de estas herramientas son capaces de interaccionar con los programas de acústica ambiental para importar fuentes de ruido y niveles de ruido exteriores.

## 3.3 Acondicionamiento acústico

El acondicionamiento acústico estudia las actuaciones para mejorar la calidad acústica en el interior de los recintos, supuestamente aislados del exterior, según su uso. Para ello se estudian las características que debe tener el campo sonoro para cada uso del recinto; estas características serán diferentes si el recinto está destinado a escuchar ópera o música, o si se trata de un aula o sala de conferencias.

### 3.3.1. Absorción acústica y Tiempo de reverberación

La **absorción acústica** es el fenómeno físico producido por la disipación de la energía acústica en un recinto y su conversión en energía calorífica.

$$E_i = E_a + E_r + E_t \qquad (3.28)$$

en la que

$E_i$ energía incidente

$E_a$ energía absorbida

$E_r$ energía reflejada

$E_t$ energía transmitida

| | |
|---|---|
| Materiales | $\alpha = \frac{E_a}{E_i}$ |
| Superficies | $A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot S_i$ |
| Recintos | $A = A_{parametros} + A_{objetos} + A_{aire} = \sum_{l=1}^{k} \alpha_l \cdot S_l + \sum_{l=1}^{N} N \cdot A_0 + 4 \cdot m \cdot V$ |

El Tiempo de reverberación es el tiempo que se requiere en un espacio cerrado para que un sonido en una frecuencia determinada disminuya 60 dB, después de haber cesado la fuente. Es una característica del recinto y es importante controlarlo ya que tiempo de reverberación altos pueden producir un aumento del nivel de ruido de fondo y el enmascaramiento de la palabra, siendo entonces crítica la inteligibilidad.

### 3.3.2. Inteligibilidad

La inteligibilidad es la capacidad de comprensión de la palabra en un recinto determinado. Ésta depende tanto de factores objetivos (distancia al orador, nivel de voz del orador, tiempo de reverberación de la sala, nivel de ruido de fondo) como de factores subjetivos (conocimiento del orador en cuanto a su forma de hablar, lengua, vocabulario que utiliza, etc).

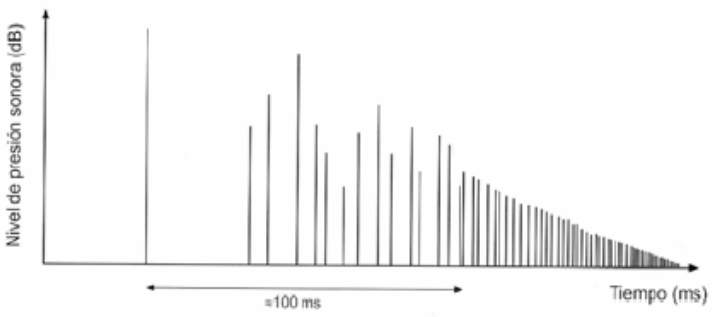
### 3.3.3. Aplicaciones informáticas para acústica de salas

La predicción acústica de salas es, en general, el proceso en el que por medio de algoritmos de acústica geométrica se deducen u obtienen ecogramas en bandas de octavas basados en el modelo CAD 3D de una sala.

Es necesario asignar a las superficies del modelo de la sala las propiedades de material dependientes de la frecuencia (absorción, difusión) y la directividad a las fuentes sonoras. A partir de estos ecogramas se pueden estimar un gran número de parámetros numéricos, como inteligibilidad del habla (STI, RASTI) o el tiempo de reverberación.

En la actualidad, con el gran desarrollo de la informática y los ordenadores, el estudio de la acústica de recintos ha experimentado un extraordinario avance. El uso de las técnicas de trazado de rayos sonoros en forma tridimensional en el proyecto de nuevos locales, ha dado paso a nuevas posibilidades en la predicción de sus propiedades acústicas. Esta técnica mediante ordenadores permite estudiar simultáneamente la dirección y distribución en el tiempo y en el espacio de las reflexiones que inciden, por ejemplo, en un auditorio. Para obtener un grado razonable de precisión con estas técnicas, debe existir una cierta relación entre la densidad de los rayos sonoros y las dimensiones de la superficie a estudiar; por consiguiente, se tienen que simplificar los planos de un local.

Un **ecograma** es la representación del sonido directo y las reflexiones en un punto receptor de la sala, como se puede apreciar en la figura siguiente.




Existen dos técnicas de modelado acústico de recintos basadas en la teoría de acústica geométrica que utilizan estas aplicaciones informáticas: **Fuentes imagen** y **Trazado de rayos**.

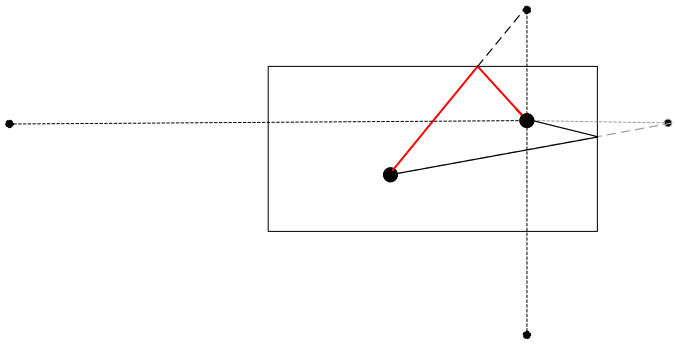
La **acústica geométrica** considera el campo sonoro como una combinación de rayos; en vez de onda sonora habla de “rayo”. Mediante esta teoría se pueden determinar los puntos de incidencia de los rayos sobre las superficies límite del recinto, así como las pérdidas de energía debida a la absorción sonora de los materiales.

Esta energía depende de varios factores:

- La energía total radiada.
- El número de rayos emitidos.
- La directividad de la fuente.

**Fuentes imagen (*Image Source*)**

Esta técnica se basa en el empleo de las posiciones especulares del emisor y del receptor,



sobre las superficies que limitan el recinto, para calcular las direcciones de llegada de los rayos al receptor y las direcciones de salida del emisor respectivamente. En la figura, se presenta un ejemplo ilustrativo para un recinto bidimensional, donde se ha simulado el rayo directo y los rayos que sufren una reflexión. Requiere menos recursos computacionales.

**Fig. 3.3 Método basado en fuentes imagen.**

### Trazado de Rayos (*Ray Tracing*)

El concepto de trazado de rayos es muy sencillo y se representa en la figura siguiente. La potencia acústica emitida por una fuente sonora se describe mediante un número finito de rayos, que se consideran como portadores de la energía acústica. Estos rayos se propagan por el espacio a la velocidad del sonido y se reflejan después de cada colisión con los límites del recinto. Durante ese tiempo, la energía disminuye como consecuencia de la absorción acústica del aire y de las paredes que se encuentran en el camino de propagación. Cuando los rayos cruzan los receptores definidos previamente, se lleva a cabo un proceso de cálculo y se almacena toda la información. Finalmente, se obtiene la respuesta al impulso en cada receptor, y con ella todos los parámetros acústicos deseados. Requiere más recursos computacionales.

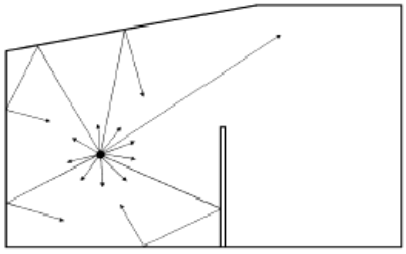


**Fig. 3.4 Representación en 2D del algoritmo de *Ray Tracing*.**

Dos herramientas muy útiles que suelen implementar los software de modelado acústico de recintos son la **renderización** y la **auralización**:

La **renderización** es un proceso de cálculo complejo desarrollado por un ordenador destinado a generar una imagen 2D a partir de una escena 3D.

La **auralización** es el proceso de simular y hacer audible (auralizar), mediante medios electrónicos u otros medios, los efectos de reproducir un sonido conocido de referencia a través de un sistema de refuerzo sonoro (altavoces) en un determinado espacio. En otras palabras, la auralización te permite escuchar cómo “sonaría” una sala y su sistema de refuerzo sonoro antes de que la sala se construya.

# 4 Bibliografía

ARAU, Higini. ABC de la Acústica Arquitectónica. Grupo Editorial CEAC, S.A., España 1999

DÍAZ SANCHIDRIÁN, César. Apuntes de acústica en la edificación y el urbanismo. Cuadernos del Instituto Juan de Herrera, Madrid, 2002.

ISO 140 – 16. Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements. Part 16: Laboratory measurement of the sound reduction index improvement by additional lining.

Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 sobre condiciones acústicas en los edificios.

RECUERO LÓPEZ, Manuel. Acústica Arquitectónica. Soluciones prácticas. Editorial Paraninfo. S.A. Madrid 1992.

UNE EN 12354-1: 2000. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (EN 12354-1:2000)

UNE EN 12354-2: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. (EN 12354-2:2000)

UNE EN 12354-3: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido del exterior. (EN 12354-3:2000)

# SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE PARTICIÓN PARA SATISFACER LAS EXIGENCIAS BÁSICAS

Mª Teresa Carrascal García
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 Resumen

La siguiente ponencia tiene como objetivo mostrar las soluciones constructivas que satisfacen las exigencias básicas del DB HR Protección frente al ruido, incluido dentro del Código Técnico de la Edificación, CTE. A pesar de que este documento aún esté en proceso de tramitación, es importante saber de antemano qué cambios importantes se producen con respecto a la normativa anterior, la norma básica de la edificación sobre condiciones acústicas, NBE CA 88, cuáles son las soluciones constructivas que cumplen el borrador del DB HR y cómo repercutirá en las prácticas y sistemas constructivos.

En esta ponencia se expondrá además el enfoque de la opción simplificada del borrador del DB HR. Debido a que este documento no está en vigor aún, los valores que figuran en las tablas pueden sufrir variaciones respecto a la versión que pueda ser aprobada definitivamente. Sin embargo, el enfoque y el tipo de soluciones no experimentarán cambios.

## 2 Introducción

El DB HR establece los nuevos valores límite de aislamiento acústico, tanto a ruido aéreo, como a ruido de impactos de los edificios. Respecto a la normativa anterior, el DB HR Protección frente al ruido supone un incremento considerable de los valores mínimos exigidos, que se traduce en un aumento del confort acústico de la edificación. Sin embargo, este hecho implica inevitablemente algunos cambios, ya que las soluciones de particiones que se usan en la actualidad son insuficientes y no cumplen con los nuevos requisitos de aislamiento acústicos.

En este sentido, hay que señalar que no solamente se trata de aumento de las exigencias de aislamiento acústico, sino que además el DB HR parte de un planteamiento novedoso. En el CTE el aislamiento acústico exigido es el aislamiento final en la edificación o aislamiento acústico in situ. Los índices que expresan el aislamiento acústico exigido son magnitudes que pue-

den obtenerse en el edificio terminado mediante un ensayo de aislamiento acústico y el valor de esta medición es directamente comparable con el de la exigencia.

Esto no ocurría con la NBE CA 88. El aislamiento de la norma básica se corresponde con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos; para ruido aéreo se trata del índice de reducción acústica ponderado A, $R_A$, y para ruido de impactos del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio, $L_n$.

Sin embargo, en el DB HR el aislamiento acústico a ruido aéreo viene definido como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$, que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no únicamente el aislamiento de elementos constructivos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado.

Para cualquier elemento constructivo, su **aislamiento acústico final en obra** difiere del valor obtenido en laboratorio. Esto se debe a que en obra, la transmisión de ruido entre dos recintos o del exterior se produce por dos vías (véase figura 2.1):

1. **Vía directa, Dd**, a través del elemento constructivo de separación.
2. **Vía indirecta o de flancos, Df, Fd y Ff**, debido a las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación principal.

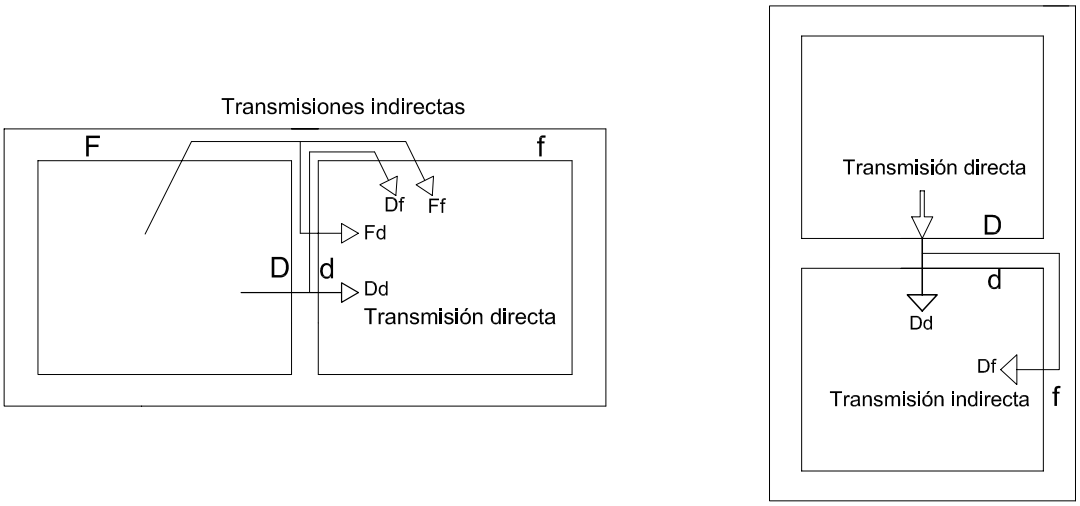



**Figura 2.1. Vías de transmisión del ruido. Ruido aéreo y de impactos.**

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen otros motivos por los cuales el aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo en el edificio terminado es menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio, como son:

1. Defectos en la ejecución: Presencia de rozas sin retacar en los elementos de fábrica, falta de estanquidad en la puesta en obra de las carpinterías, discontinuidades del suelo flotante...etc.
2. Puentes acústicos, debido a encuentros mal diseñados o instalaciones en los elementos constructivos.

Por todo ello, el DB HR supone que los proyectistas deben evaluar las transmisiones indirectas cada vez que quieran diseñar un elemento de separación, además de prestar especial atención a la ejecución y al diseño de encuentros.

# 3 DB HR Protección frente al ruido: Opciones general y simplificada

Para cumplir las exigencias de aislamiento acústico, el DB HR establece dos opciones:

a) La opción general, que consiste en un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma UNE EN 12354, partes 1, 2 y 3.

b) Opción simplificada, que contiene soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos.

La figura 3.1 contiene el esquema organizativo del DB HR.

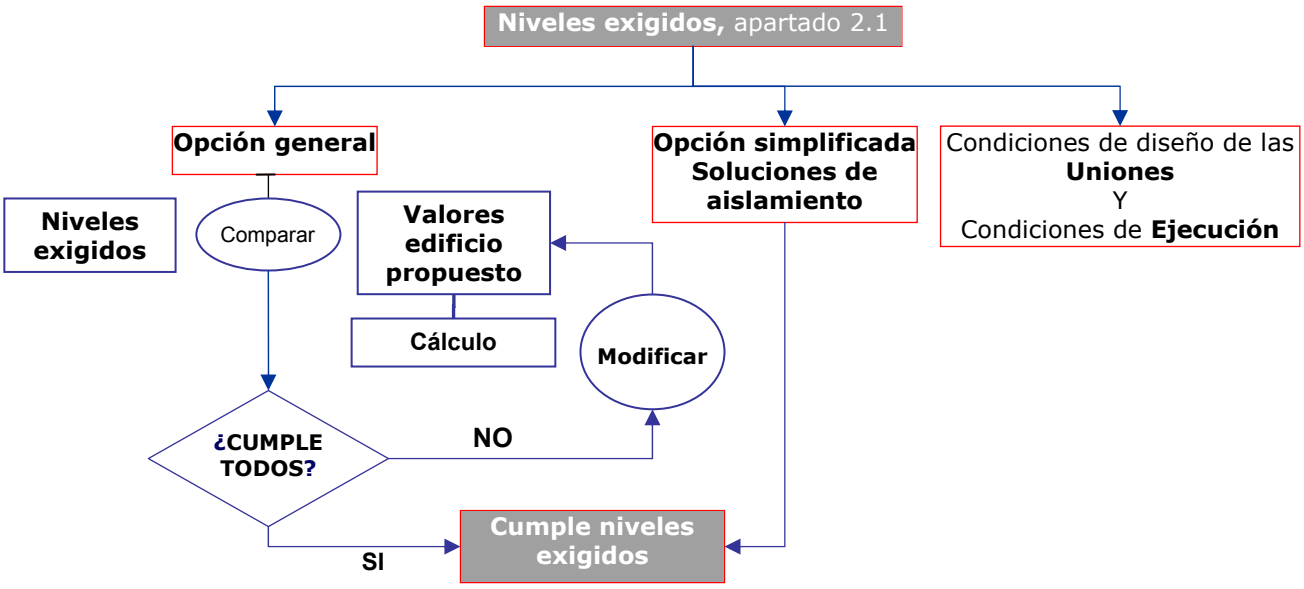



**Figura 3.1. Esquema organizativo del DB HR. Opciones general y simplificada.**

En la opción simplificada se entiende que una solución de aislamiento es el conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación verticales y horizontales, tabiquería, medianerías, fachadas y cubiertas), ya que todos ellos van a influir en la transmisión del ruido y de las vibraciones entre recintos adyacentes o entre el exterior y un recinto.

La opción simplificada se estructura por elementos constructivos de la manera siguiente:

a) Tabiquería

b) Elementos de separación verticales

c) Elementos de separación horizontales

d) Medianerías

e) Fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior

En cada uno de estos apartados de la opción simplificada, figuran una serie de tablas donde, como se expondrá en los apartados siguientes, no aparece la descripción constructiva concreta de cada partición, sino que aparece una serie de valores mínimos de aislamiento acústico de laboratorio que los elementos constructivos por separado deben cumplir. Es decir, las tablas transforman unas exigencias que se refieren al edificio terminado, en valores de aislamiento en laboratorio que se aplican a los elementos constructivos por separado y que son fáciles de consultar en catálogos de elementos constructivos o a fabricantes.

Las ventajas de la opción simplificada con respecto a la opción general del DB HR son fundamentalmente la rapidez y sencillez. El proyectista no tiene que realizar cálculos complejos para

valorar las transmisiones indirectas, simplemente debe elegir entre un conjunto de soluciones que el propio documento propone, aquéllas que son más convenientes para su proyecto.

Sin embargo, como contrapartida, en las tablas sólo figura la prestación que el elemento constructivo tiene que cumplir y no figura la solución concreta. De tal forma que para diseñar una partición conforme a la opción simplificada, es necesario disponer de información sobre el aislamiento acústico en laboratorio de los elementos constructivos.

El motivo por el que no se especifica la solución constructiva concreta es permitir que el DB HR sea un documento abierto para fomentar la innovación. Así cualquier solución que cumpla con los valores de las tablas, es una solución adecuada. Esto encaja con el planteamiento general del CTE como código basado en prestaciones. Para explicarlo más claramente con un ejemplo: Si se definiesen de forma exhaustiva las particiones que cumplen el DB HR, sería una lista muy extensa, faltarían soluciones y podría ser una barrera a la innovación.

La opción simplificada es un método conservador que es aplicable a edificios residenciales en altura. Puede aplicarse edificios de otros usos, pero en estos casos, éste método puede resultar demasiado conservador.

# 4 Elementos constructivos que cumplen las exigencias del DB HR

## 4.1 Elementos de separación verticales

Para una mejor comprensión del DB HR, es necesario matizar qué se considera un elemento de separación vertical. En el DB HR se entiende que un elemento de separación vertical es aquél que separa dos unidades de uso diferentes, tales como dos viviendas o dos aulas. También se consideran elementos de separación verticales, aquellas particiones que separan una unidad de uso de una zona común, de un recinto de instalaciones o de un recinto de actividad.

Por el contrario, en el DB HR se considera que la tabiquería es el conjunto de particiones interiores dentro de una unidad de uso.

Los elementos de separación verticales recogidos en la opción simplificada se dividen en tres tipos (véase la figura 4.1):

a) Tipo 1: Elementos mixtos. Formados por un elemento base acústicamente homogéneo y pueden llevar o no un trasdosado por ambos lados.

b) Tipo 2: Elementos de fábrica con bandas elásticas. Elementos de dos hojas de fábrica con bandas elásticas colocadas en los encuentros de al menos una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y fachadas

c) Tipo 3: Elementos de entramado. Elementos de dos hojas de placas de yeso laminado.

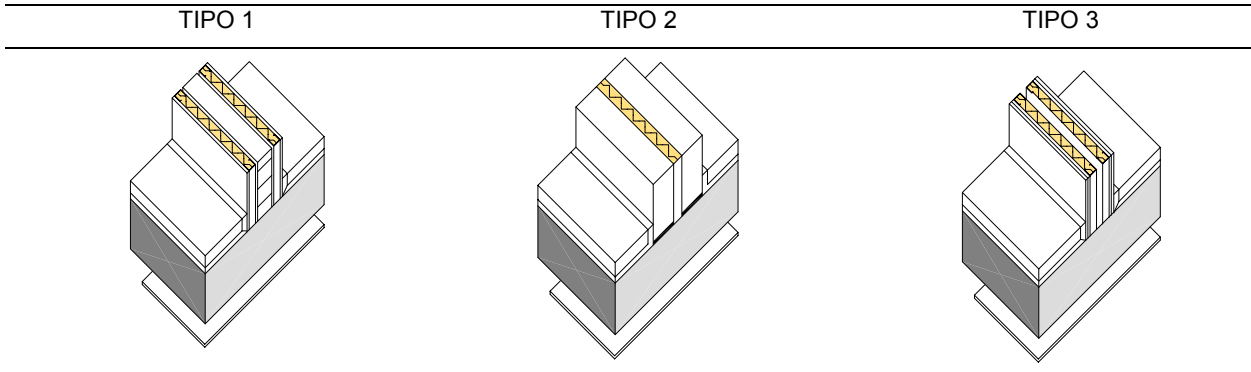



**Figura 4.1. Elementos de separación verticales**

### 4.1.1 Elementos de separación verticales de Tipo 1

Los elementos de separación verticales están formados por un elemento base de una o dos hojas, que puede ser:

a) Un elemento de fábrica de ladrillo o bloque de hormigón.

b) Un elemento de hormigón armado.

c) Un panel prefabricado de hormigón, cerámico o de yeso.

Además, pueden estar trasdosados por ambos lados. En el DB HR se recogen siguientes tipos de trasdosados (Véase figura 4.2):

a) Trasdosado autoportante, formado por placas de yeso laminado sujetas a una perfilería de acero autoportante. La cámara debe estar rellena con un material absorbente acústico, tal como una lana mineral de baja densidad, o cualquier tipo material poroso y elástico de fibras sintéticas.

b) Trasdosado adherido, formado por un panel aislante adherido al elemento base con mortero o atornillado al mismo. El panel aislante debe estar compuesto por un material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones, como una lana mineral, revestida por una placa de yeso laminado.

c) Trasdosado cerámico, formado por un ladrillo hueco sencillo de 4 o 5 cm de espesor, con bandas elásticas en todo su perímetro, es decir, en los encuentros con suelo, techo y fachadas, y un material absorbente acústico en la cámara de separación entre el elemento base y el trasdosado.

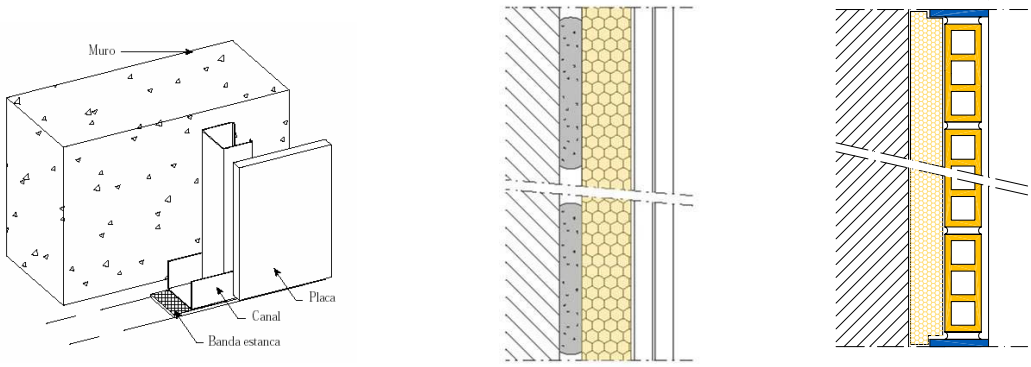



**Figura 4.2. Diferentes tipos de trasdosados. Autoportante, adherido y cerámico.**

### 4.1.2 Elementos de separación verticales de Tipo 2

Los elementos de separación verticales de tipo 2 son una novedad en el CTE. Se trata soluciones de dos hojas de fábrica con bandas en todo su perímetro.

El objetivo de utilizar banda elásticas es el de disminuir las transmisiones indirectas a ruido aéreo y de impactos entre recintos, especialmente las transmisiones Df y Fd, (Véase figura 2.1). Al disminuir las transmisiones indirectas hasta hacerse prácticamente despreciables, el aislamiento de la partición aumenta. Esta técnica permite el diseño de particiones de dos hojas de fábrica ligeras (de 130 – 180 kg/m$^2$) para cumplir los requisitos de aislamiento acústico, mientras que sin las bandas elásticas éstas soluciones nunca cumplirían con las nuevas exigencias del CTE.

Dentro de este tipo se recogen dos grupos de particiones (Véase figura 4.3):

a) Particiones formadas por dos hojas de fábrica con bandas elásticas en el perímetro de las dos hojas, con una cámara de separación de 4 cm como mínimo rellena de material absorbente acústico o amortiguador de vibraciones, tal como una lana mineral.

b) Particiones formadas por una hoja de fábrica y un trasdosado cerámico, es decir, una hoja de ladrillo hueco sencillo, de 4 o 5 cm de espesor, con bandas elásticas instaladas en todo su perímetro. En la cámara de separación entre el elemento base y el trasdosado, debe disponerse de un material absorbente acústico.

Las bandas elásticas son tiras de 10 mm de espesor de material elástico que interrumpen la transmisión de las vibraciones en los encuentros de una partición con suelos, techos y otras particiones. Su rigidez dinámica, s', tiene que ser menor que 100 MN/mm$^3$. En el mercado existen distintos materiales que hacen esta función, como el poliestireno expandido elastificado y el polietileno.

**Figura 4.3. Elementos de fábrica sobre bandas elásticas.**

### 4.1.3 Elementos de separación verticales de Tipo 3

Los elementos de separación verticales de tipo 3 están formados por placas de yeso laminado sujetos a una perfilería doble autoportante.

### 4.1.4 Tablas de elementos de separación verticales de la opción simplificada

La tabla 4.1 contiene parte de la tabla del DB HR de los elementos de separación verticales que cumplen las exigencias de aislamiento a ruido aéreo.

Los elementos de separación verticales se caracterizan mediante los siguientes parámetros, que corresponden a magnitudes que se pueden obtener mediante ensayos en cámara:

a) Para el elemento base, los elementos de tipo 2 y tipo 3:
   - m, masa por unidad de superficie, en kg/m$^2$;
   - $R_A$, índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA;

b) $\Delta R_A$, mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA, debida al trasdosado.

En el caso de los elementos de separación verticales de tipo 1, los valores de trasdosado dependerán del tipo de tabiquería del recinto receptor. Cualquier solución que cumpla con los valores de masa y $R_A$, y en cada caso, con los valores de $\Delta R_A$ es una solución que cumple el

CTE. Los valores entre paréntesis corresponden a los elementos que pueden ser usados como particiones entre una unidad de uso y un recinto de actividad o de instalaciones.

**Tabla 4.1 Ejemplo de la tabla de la opción simplificada del DB HR para los elementos de separación verticales**

| Elementos de separación verticales | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Tipo** | **Elemento base** | | ***Trasdosado*** (en función de la tabiquería del *recinto* receptor) | |
| | | | Tabiquería de fábrica con apoyo directo | Tabiquería de entramado autoportante y tabiquería de fábrica con bandas elásticas |
| | m<br>kg/m$^2$ | $R_A$<br>dBA | $\Delta R_A$<br>dBA | $\Delta R_A$<br>dBA |
| **TIPO 1**<br>Una hoja o dos hojas de fábrica con trasdosado | 100 | 36 | | 16 |
| | 120 | 38 | | 12 |
| | 160 | 41 | 21 | 10 |
| | 200 | 46 | 12<br>(16) | 5<br>(12) |
| **TIPO 2**<br>Dos hojas de fábrica con *bandas elásticas* perimétricas | 130 | 54 | - | - |
| | 170 | 54 | - | - |
| | (230) | (62) | - | - |
| **TIPO 3**<br>*Entramado autoportante* | 44 | 62 | | |

Las soluciones del DB HR son poco habituales en la edificación. El aumento de las exigencias supone utilizar lógicamente soluciones de mayor aislamiento acústico, es decir, mayor espesor, mayor masa o el empleo de tecnologías novedosas, como son en este caso el uso de bandas elásticas para limitar las vibraciones entre elementos constructivos. Por ejemplo, soluciones muy extendidas hasta la fecha, como la de medio pie de ladrillo perforado o bloque de hormigón de 20 cm, ya no serían válidas cuando el DB HR entrara en vigor, si no se dispone de un trasdosado por ambas caras.

## 4.3 Tabiquería

La tabiquería está formada por el conjunto de particiones interiores de una unidad de uso. En esta opción se contemplan los tipos siguientes (Véase la figura 4.4):

a) Tabiquería de fábrica o de paneles prefabricados cerámicos o yeso con apoyo directo en el forjado o en el suelo flotante, sin interposición de bandas elásticas.

b) Tabiquería de fábrica o de paneles prefabricados cerámicos o yeso con bandas elásticas dispuestas al menos en los encuentros inferiores con los forjados.

c) Tabiquería de placas de yeso laminado.

La tabiquería, además de ser una partición entre dos espacios, es un elemento de flanco que influye en la transmisión de ruido entre recintos. Por eso se exige en la opción simplificada que la tabiquería cumpla unos valores mínimos de valores de masa y de índice de reducción acústica, $R_A$, de esta forma se limitan las transmisiones por flancos a través de la tabiquería y que son, en la mayoría de los casos, las que más merman el aislamiento acústico de los elementos de separación horizontales.

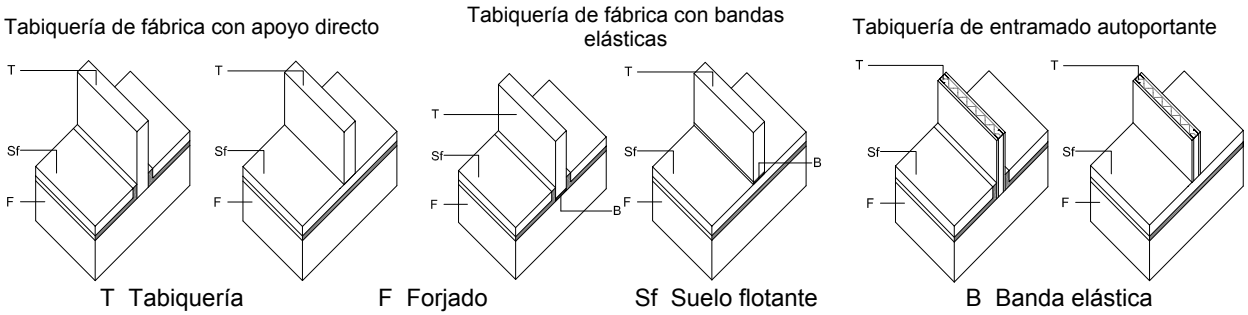



**Figura 4.4 Tipos de tabiquería recogidos en el DB HR**

En la tabla 4.2, figuran los que debe cumplir la tabiquería. Se trata de unos valores mínimos, que en algún caso son ligeramente superiores a las exigencia de $R_A \geq 33$ dBA del apartado de valores límite de aislamiento acústico del DB HR.

**Tabla 4.2. Ejemplo de la tabla de la opción simplificada del DB HR para la tabiquería**

| Tipo | m<br>kg/m$^2$ | $R_A$<br>dBA |
|---|---|---|
| Fábrica con apoyo directo | 70 | 35 |
| Fábrica con *bandas elásticas* | 65 | 33 |
| *Entramado autoportante* | 25 | 43 |

## 4.4 Elementos de separación horizontales

La opción simplificada se aplica a forjados con un comportamiento homogéneo, es decir, forjados unidireccionales, bidireccionales, con chapa colaborante, losas de hormigón y losas alveolares, que son la mayoría de los forjados utilizados en la edificación. La opción no se aplica a forjados de madera, esto no quiere decir que los forjados de madera no cumplan las exigencias del DB HR, sino que no están recogidos en la opción y para justificar su empleo debería utilizarse la opción general.

Los elementos de separación horizontales que cumplen con las exigencias del código están formados por:

a) El soporte estructural, ya sea un forjado o una losa.

b) Un suelo flotante, que consiste en una capa rígida sobre un material aislante a ruido de impactos. Este conjunto tiene el efecto de provocar una discontinuidad perpendicular a la dirección de recorrido de las ondas de vibración.

   Como capa rígida, suele disponerse de una capa de mortero de 40 o 50 mm de espesor. También pueden utilizarse los llamados suelos secos, que consisten en varias placas de yeso laminado dispuestas sobre el material aislante a ruido de impactos.

   En cuanto a los aislantes a ruido de impactos, suelen ser materiales elásticos y flexibles. Suelen utilizarse las lanas minerales, el polietileno reticulado, el poliestireno expandido elastificado...etc.

c) Un falso techo en aquellos casos en los que el aislamiento requerido sea mayor, como es el caso de aquellos forjados que limitan con recintos de instalaciones o de actividad.

   El falso techo debe estar formado por una placa de yeso laminado, anclada al forjado mediante una subestructura metálica. En la cámara o plenun debe disponerse de un material absorbente acústico, tipo manta, que repose en el dorso de las placas y en la zona superior de la subestructura portante del techo.

Al igual que sucede con el resto de elementos constructivos, en la opción simplificada los componentes del elemento de separación horizontal están definidos por los parámetros de aislamiento acústico en laboratorio siguientes:

a) Para el forjado:
   - m, masa por unidad de superficie, en $kg/m^2$;
   - $R_A$, índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA;

b) Para el suelo flotante:
   - $\Delta R_A$, mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA.
   - $\Delta L_w$, mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA.

c) Para el techo suspendido:
   - $\Delta R_A$, mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, en dBA.

La tabla 4.3 muestra el tipo de tabla que va a contener el DB HR. Para diseñar un elemento de separación horizontal, es necesario encontrar una combinación de techo suspendido, suelo flotante y forjado que cumpla con cualquiera de las filas de la tabla.

Los valores entre paréntesis corresponden a los elementos que pueden ser usados como particiones entre una unidad de uso y un recinto de actividad o de instalaciones.

**Tabla 4.3. Ejemplo de las tablas de la opción simplificada del DB HR para los elementos de separación horizontales**

| **Forjado[1] (F)** | | ***Suelo flotante* y techo suspendido (Sf) y (Ts)** en función de la tabiquería del *recinto* receptor | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Tabiquería de fábrica o *paneles prefabricados pesados* con apoyo directo** | | | **Tabiquería de *entramado autoportante* o de fábrica o *paneles prefabricados pesados* con *bandas elásticas*** | | |
| | | *Suelo flotante*[2][3] | | Techo suspendido[4] | *Suelo flotante*[2][3] | | Techo suspendido[4] |
| **m** $kg/m^2$ | **$R_A$** dBA | **$\Delta L_w$** dB | **$\Delta R_A$** dBA | **$\Delta R_A$** dBA | **$\Delta L_w$** dB | **$\Delta R_A$** dBA | **$\Delta R_A$** dBA |
| 300 | 52 | 26<br>(31) | 15<br>5<br>10<br>(15)<br>(10)<br>(7) | -<br>10<br>5<br>(7)<br>(12)<br>(15) | 25<br>(30) | 6<br>3<br>0<br>(9)<br>(6)<br>(4) | -<br>3<br>6<br>(-)<br>(4)<br>(6) |

## 4.5 Medianerías

Desde el punto de vista del CTE, una medianería es aquel cerramiento que linda con otros edificios ya construidos o que se puedan construirse con posterioridad.

En este caso, cualquier solución que tenga un índice de reducción acústico ponderado A, $R_A$, mayor que 48 dBA, es una solución apta para cumplir con las exigencias del DB HR.

Sin embargo, debe recordarse que las medianerías deben cumplir con el aislamiento térmico especificado en el DB HE – 1 Ahorro de energía, y si además están expuestas, deben cumplir con el Documento Básico DB HS 1 Protección frente a la humedad. Es importante recordar que el CTE está organizado por requisitos y no por elementos constructivos. Esto implica que sea necesario consultar varios documentos para diseñar un elemento constructivo. En el caso de las medianerías, no son las exigencias acústicas las más determinantes, sino las térmicas y las de salubridad.

## 4.6 Envolvente del edificio. Fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior

En el DB HR, el valor de aislamiento acústico mínimo que debe tener cualquier elemento constructivo de la envolvente depende del índice de ruido día de la zona donde se ubica el edificio. Lógicamente, aquellos edificios que estén en zonas más contaminadas acústicamente, deben tener un aislamiento acústico mayor que otros edificios que estén en zonas tranquilas o alejadas de las zonas industriales o de las infraestructuras de transporte.

El aislamiento de una fachada o de cualquier elemento de la envolvente del edificio depende de:

a) El aislamiento del muro de fachada.

b) El aislamiento de la ventana.

c) El aislamiento del capialzado.

d) El aislamiento de los aireadores.

e) Los elementos constructivos que forman el recinto y que están conectado a la fachada, ya que son los responsables de las transmisiones indirectas, aunque en el caso de las fachadas son muy pequeñas, se estiman que son ± 2 dB.

f) La forma de la fachada. La existencia de petos, balcones, voladizos, puede modificar las reflexiones del sonido y disminuir la presión acústica en el interior de los recintos. Sin embargo, la disminución del aislamiento es sólo de un par de decibelios.

g) La absorción acústica del recinto.

De todos estos condicionantes, los elementos que son determinantes en el aislamiento acústico de una fachada son las ventanas, los aireadores y los capialzados.

En el caso de las fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, la opción simplificada contiene una tabla con los valores mínimos de aislamiento acústico en laboratorio que deben cumplir la ventana, el muro de fachada, la caja de persiana y el aireador, si lo hubiera. Los parámetros que caracterizan cada uno de estos elementos constructivos son:

a) Para el muro de fachada: $R_A$, índice global de reducción acústica, ponderado A;

b) Para la ventana: $R_{A,tr}$, índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves;

c) Para los aireadores: $D_{n,e,A}$, diferencia de niveles normalizada, ponderada A.

La tabla 4.4 muestra el tipo de tabla que va a contener el DB HR. Para elegir los componentes de la fachada, es necesario saber cuál es el nivel límite exigido en el DB HR, y cuál es el porcentaje de huecos visto desde el interior del recinto.

**Tabla 4.4. Ejemplo de las tablas de la opción simplificada del DB HR para la envolvente del edificio**

| ***Nivel límite exigido*** *(Tabla 2.1)* $D_{2m,nT,Atr}$ dBA | **Parte ciega [1] 100 %** $R_A$ dBA | **Parte ciega [1] ≠ 100 %** $R_A$ dBA | **Huecos** **Porcentaje de huecos** $R_{A,tr}$ de la ventana y de la caja de persiana y $D_{n,e,A}$ del aireador dBA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Hasta 15 %** | **De 16 a 30%** | **De 31 a 60%** | **De 61 a 80%** | **De 81 a 100%** |
| $D_{2m,nT,Atr}$ = 30 | 33 | 35 | 26 | 29 | 31 | 32 | 33 |
| | | 40 | 25 | 28 | 30 | 31 | |
| | | 45 | 25 | 28 | 30 | 31 | |
| $D_{2m,nT,Atr}$ = 32 | 35 | 35 | 30 | 32 | 34 | 34 | 35 |
| | | 40 | 27 | 30 | 32 | 34 | |
| | | 45 | 26 | 29 | 32 | 33 | |
| $D_{2m,nT,Atr}$ = 37 | 39 | 40 | 35 | 37 | 39 | 39 | 39 |
| | | 45 | 32 | 35 | 37 | 38 | |
| | | 50 | 31 | 34 | 37 | 38 | |

# 5 La importancia del diseño de los encuentros

Además de realizar el correcto diseño de los elementos constructivos, es decir, elegir aquellos elementos que cumplan con los valores especificados en la opción simplificada, es necesario un correcto diseño de las uniones y una ejecución correcta para evitar puentes acústicos, que pueden disminuir el aislamiento acústico esperado de forma significativa.

Debido a que no existe ninguna manera de evaluar de antemano la influencia de un puente acústico en el aislamiento de una partición, lo más indicado es realizar un diseño adecuado de las uniones y vigilar la ejecución de cada partición.

La transmisión indirecta o por flancos depende de los siguientes factores:

a) El **tipo de elemento constructivos**, de su masa por unidad de superficie y de su índice de reducción acústica.

b) Forma de la unión. Si es en cruz o en T.

c) Tipo de unión. Cada familia de elementos constructivos lleva asociado un sistema constructivo y una forma de transmitir las vibraciones:

- Para los elementos de fábrica, la transmisión de vibraciones de un elemento a otro depende de si están unidos rígidamente o de si en la unión hay un elemento flexible interpuesto que minimice las transmisiones.
- Para las particiones de yeso laminado ancladas a un entramado portante, la transmisión de vibraciones varía en función del tipo de elemento al que se unen, si es de fábrica o si se unen a otro elemento de yeso laminado.

Debido a esto, es necesario un diseño adecuado de las uniones de tal forma que se minimicen las transmisiones indirectas.

Los puntos más importantes suelen ser los encuentros entre:

a) **Suelo flotante con elementos de separación verticales y pilares**.

Para evitar la transmisión de vibraciones producidas por el ruido de impactos a las paredes o a los pilares, deben eliminarse los contactos entre ellos, para ello, se interpondrá entre ambos una capa de material elástico o del mismo material aislante a ruido de impactos del suelo flotante. El rodapié se anclará a paramento vertical y se interpondrá una capa de material elástico entre el rodapié y el pavimento. (Véase figura 5.1).

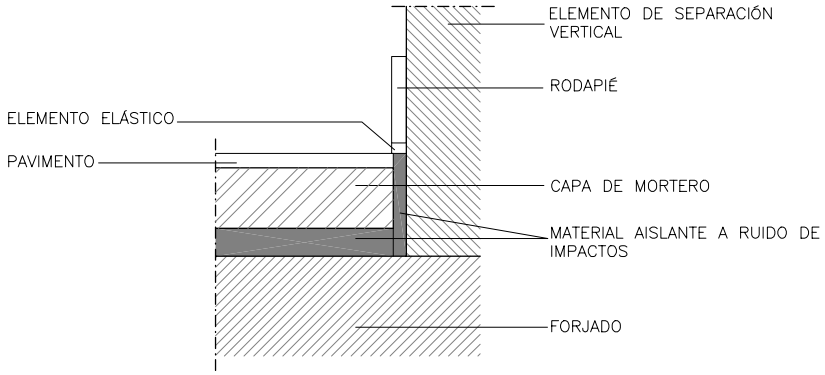



**Figura 5.1. Encuentro del suelo flotante con particiones**

b) **Fachada con elemento de separación vertical y con tabiquería.**El trasdosado de la fachada es muchas veces un camino de transmisión débil cuando se trata de medir el aislamiento entre dos recintos colindantes.

En este caso es fundamental interrumpir la hoja interior de la fachada en su encuentro con el elemento de separación vertical. (Véase figura 5.2)

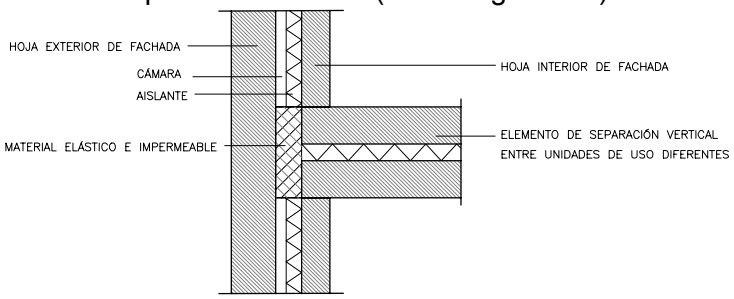



**Figura 5.2 Encuentro de un elemento de separación de fábrica con la fachada**

Si la hoja interior de la fachada es de entramado autoportante, debe interrumpirse cuando acometa a un elemento de separación vertical. Debe interponerse un material elástico e impermeable en la cámara de manera que se elimine el puente acústico. (Véase figura 5.3)

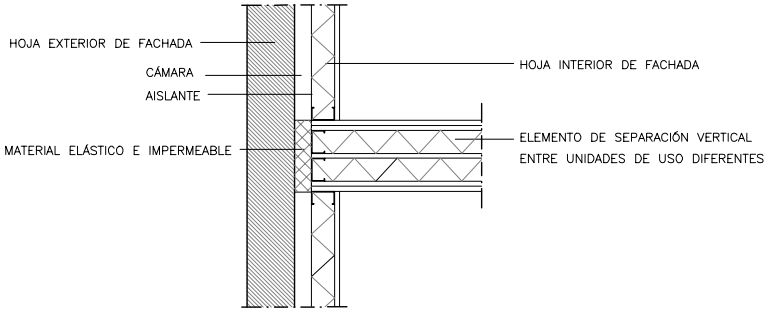



**Figura 5.3. Encuentro de un elemento de separación de placas de yeso laminado con la fachada**

**c) Elementos de separación vertical y tabiquería**

Este caso es similar al anterior. Para conseguir un buen aislamiento acústico entre dos recintos de dos unidades diferentes, los elementos de separación verticales entre unidades de uso diferentes han de ser continuos y la tabiquería debe interrumpirse cuando acometa a los elementos de separación verticales entre unidades de uso diferentes.

**d) Conductos de instalaciones con elementos constructivos.** Los conductos de instalaciones son un medio de transmisión de ruido y vibraciones. Además de llevar fluidos

en su interior, suelen atravesar los elementos constructivos. Si en las uniones entre los conductos y los elementos constructivos no se interponen elementos elásticos o amortiguadores, las vibraciones de equipos, tales como compresores, grupos de presión...etc. llegarán a recintos que pueden estar muy alejados de los recintos de instalaciones.

En este caso deben recubrirse los conductos con un material elástico, que impida el paso de vibraciones a la estructura del edificio y que selle las holguras de los huecos efectuados en el forjado para paso de instalaciones y deben eliminarse los contactos entre el suelo flotante y los conductos de instalaciones que discurran bajo él. Para ello, los conductos se revestirán de un material flexible.

# 7 La importancia de la ejecución

Los defectos constructivos más comunes que pueden disminuir el aislamiento acústico de una partición son:

a) La **falta de estanqueidad** supone una disminución muy notable del aislamiento acústico. Por ello es necesario sellar los encuentros entre elementos constructivos y especialmente entre el cerco y precerco de ventanas, entre las placas de yeso laminado, en los techos suspendidos....etc.

b) Las **instalaciones**, que ocupan cada vez más espacio en la edificación y son un conjunto muy heterogéneo de dispositivos. Es preciso vigilar los siguientes puntos:

- **Rozas**, que deben retacarse con mortero.
- **Cajas de registro para mecanismos eléctricos**. Es fundamental disponerlas de paredes de dos hojas y si se disponen por ambas caras de un elemento de separación vertical no deben ser coincidentes.
- **Los enchufes, interruptores de instalaciones contenidas en los elementos de separación vertical o tabiques,** que no serán pasantes.
- **Puntos de contacto entre las instalaciones y los elementos constructivos**, donde se interpondrán elementos elásticos y sistemas antivibratorios.
- **Suelos flotantes**. Si hay tuberías que discurran por el suelo deben sujetarse al forjado mediante mortero y quedarse debajo del material aislante a ruido de impactos.

c) **Deficiencias en la construcción de los elementos constructivos**:

- Ausencia del material absorbente acústico de relleno de las cámaras.
- Puentes acústicos producidos por instalaciones o rebabas que conecten rígidamente las dos hojas de una partición.
- Juntas entre placas de yeso laminado mal selladas.
- Defectos en la colocación de la lámina aislante a ruido de impactos, discontinuidades, falta de solape, defectos...etc.

# 9 Conclusiones

La entrada en vigor del Documento Básico de Protección frente al ruido implicará una serie de cambios significativos en la edificación.

En relación al aislamiento acústico, destaca como cambio novedoso el aumento de los niveles de ruido exigidos y el uso de índices comparables con una medida. Esto se traducirá en un

aumento de la calidad acústica de los edificios, pero implica la adopción de nuevas soluciones o sistemas constructivos poco empleados en la actualidad.

En cuanto a los elementos de separación verticales, las soluciones de la NBE CA 88, que en la actualidad son habituales como partición entre dos unidades de uso, no van a poder usarse cuando entre en vigor el DB HR. En su lugar, deben emplearse inevitablemente soluciones de mayor masa y mayor espesor. O bien, deben emplearse otros sistemas novedosos, como son las particiones con doble perfilería autoportante de yeso laminado o las paredes dobles de fábrica apoyadas sobre bandas elásticas.

En cuanto a los elementos de separación horizontales, se hace extensivo el uso de suelos flotantes, y en aquellos casos donde sea necesario, se emplearán techos suspendidos.

Uno de los cambios más significativos es el tratamiento de las fachadas. Las ventanas deben ser más estancas y en algunos casos deberán usarse vidrios dobles asimétricos, vidrios laminados, vidrios triples, ventanas dobles....etc.

Además del uso de soluciones de mayor calidad, es necesario un mayor control en la ejecución, ya que un pequeño fallo en la puesta en obra puede acarrear la no consecución de los valores de aislamiento requeridos.

Debido a que el enfoque del DB HR es prestacional, como el del resto de documentos del CTE, en el DB HR no aparece la descripción de las soluciones concretas, sino las prestaciones con las que cada elemento debe cumplir. Por lo que es necesario un buen conocimiento del comportamiento acústico de los sistemas constructivos es decir, conocer su aislamiento acústico en laboratorio.

# 10 Bibliografía

Amendment of the Building Regulations to allow Robust Standard Details to be used as an alternative to precompletion testing. Part 4. Robust Standard Details. August 2003. ODPM

Beiblatt 1 zu DIN 4109. November 1989. Schallschutz im Hochbau. Ausfürungbeispiele und Rechenverfahren

CARRASCAL GARCÍA, M. Teresa, ROMERO FERNÁNDEZ, Amelia, et al. “Criterios para el desarrollo de las tablas de soluciones de aislamiento a ruido de impactos basadas en la norma UNE EN 12354-2. Aplicación al DB HR.” I Congreso Nacional de Aislamiento Térmico y Acústico, Madrid, 7, 8 y 9 de junio de 2006.

CARRASCAL GARCÍA, M. Teresa, ROMERO FERNÁNDEZ, Amelia. “Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio.” I Jornadas de Investigación en Construcción. Madrid, 2, 3 y 4 de junio de 2005.

LORD AND TEMPLETON. Detailing for Acoustics. Spon Press. London 1996.

Proyecto de Documento Básico DB HR Protección frente al ruido.

ROMERO FERNÁNDEZ, Amelia, CARRASCAL GARCÍA, M. Teresa, et al. “Criterios para el desarrollo de las tablas de soluciones de aislamiento a ruido aéreo basadas en la norma UNE EN 12354 parte I”. I Congreso Nacional de Aislamiento Térmico y Acústico, Madrid, 7, 8 y 9 de junio de 2006.

UNE 102040: 2000 IN. Montajes de los sistemas de tabiquería de placas de yeso laminado con estructura metálica. Definiciones, aplicaciones y recomendaciones.

UNE 102041: 2004 IN. Montajes de sistemas trasdosados con placas de yeso laminado. Definiciones, aplicaciones y recomendaciones

UNE EN 12354-1: 2000. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (EN 12354-1:2000)

UNE EN 12354-2: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. (EN 12354-2:2000)

UNE EN 12354-3: 2001. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido del exterior. (EN 12354-3:2000)

# TALLER DE MEDICIONES ACÚSTICAS

Borja **FRUTOS VÁZQUEZ**
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

# Índice

**TALLER DE MEDICIONES ACÚSTICAS** ..... **2**

**1 INTRODUCCIÓN** ..... **2**

**2 EL RUIDO: CONCEPTOS GENERALES** ..... **2**

2.1 Ruido.2

2.2 Naturaleza del ruido ..... 3

2.3 Fuentes de ruido ..... 3

2.4 Medida del ruido ..... 3

**3 PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO: EXIGENCIAS NORMATIVAS** ..... **6**

3.1 Norma Básica de la Edificación: NBE-CA-88 ..... 6

3.2 Ordenanzas Municipales: Medioambiente ..... 6

3.3 Código Técnico de la Edificación: (CTE- Protección frente al ruido) ..... 7

**4 MEDICIONES ACÚSTICAS** ..... **7**

4.1 Tipos de mediciones en arquitectura ..... 7

4.2 Índices usados para evaluar el aislamiento acústico ..... 8

4.3 Parámetros y fórmulas ..... 8

4.4 Procedimientos de medida ..... 9

**5 CONCLUSIÓN** ..... **18**

# TALLER DE MEDICIONES ACÚSTICAS

Borja **FRUTOS VÁZQUEZ**
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 INTRODUCCIÓN

Los ruidos, "generalmente" indeseables, son causa de malestar para las personas tanto en espacios destinados a vivienda como en áreas de trabajo.

Por tal motivo existen textos normativos en lo referente a la protección frente al ruido, que se refleja en la Normativa Básica de la Edificación y en las Ordenanzas Municipales. En estos textos se fijan unos valores de confort que finalmente se traducen en unas exigencias de aislamiento acústico para los materiales usados en la construcción. Estos materiales y sistemas constructivos deben garantizar un aislamiento tal que los valores registrados en el interior del habitáculo no superen los máximos permitidos según la norma de referencia.

Las mediciones acústicas en arquitectura son el instrumento que nos revelará el aislamiento que presenta un determinado cerramiento y el confort acústico resultante en un espacio interior.

## 2 EL RUIDO: CONCEPTOS GENERALES

### 2.1 Ruido.

El ruido se podría definir como un sonido o mezcla de sonidos que por su naturaleza e intensidad impliquen riesgo, daño o molestia para las personas en el desarrollo de sus actividades.

Un sonido resulta cuando un cuerpo produce una perturbación mecánica en un medio elástico. Esta perturbación de las partículas del medio se traduce en una vibración de las mismas entorno a su posición de equilibrio, lo que provoca una onda de propagación longitudinal a través del medio físico.

La onda originada son presiones y depresiones causadas por la vibración de las partículas, que finalmente llegan a nuestros oídos y son traducidas por el cerebro en diversos sonidos.

Por tanto podríamos decir que en realidad lo que circula por el medio físico y que nosotros percibimos como sonido, son presiones y depresiones, movimiento de las partículas en torno a su posición de equilibrio.

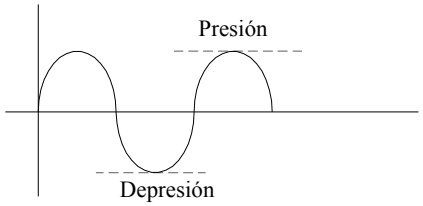



**Figura 2.1: Onda sonora**

## 2.2 Naturaleza del ruido

Dependiendo de la naturaleza de la onda, los ruidos presentan características diferentes.

- Periodo (Segundos): Tiempo transcurrido entre una compresión y la contigua.

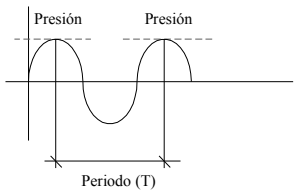



**Figura 2.2: Periodo de una onda**

- Longitud de onda (metros): Distancia entre una compresión y la contigua.
- Frecuencia (Hercios): La inversa del periodo: Número de ciclos por segundo. La relación que tiene con la longitud de onda es inversa. A mayor frecuencia, la longitud de onda será menor.

La frecuencia define el tono del sonido. Nuestro oído es sensible en un espectro que abarca desde la frecuencia de 16 Hz hasta la frecuencia de 20.000 Hz.

TONOS GRAVES: Frecuencias comprendidas entre 125 – 250 Hz

TONOS MEDIOS: Frecuencias comprendidas entre 500 – 1000 Hz

TONOS AGUDOS: Frecuencias comprendidas entre 2000 – 4000 Hz

Un sonido puro se reflejará en una única frecuencia, pero lo más normal será encontrar una combinación de sonidos a diferentes frecuencias. Lo que registramos en una medición acústica serán niveles de presión de ruido (dB) para cada una de las frecuencias del espectro que estemos usando, normalmente en bandas de octava o en bandas de tercios de octava

## 2.3 Fuentes de ruido

Como se ha dicho, el ruido es una propagación de ondas en un medio físico producidas por una perturbación de las partículas del mismo.

Atendiendo al origen de la perturbación distinguiremos varias clases de ruido:

- Ruido aéreo: Un cuerpo emisor provoca la perturbación en un medio gaseoso (Aire)

- Ruido de Impactos: El ruido se origina por un impacto en un cuerpo sólido. Este provoca una vibración del mismo que produce una radiación de energía acústica al aire.

## 2.4 Medida del ruido

Para comprobar el aislamiento de un cerramiento o el confort acústico en el interior de un local se recurre a las mediciones acústicas.

Este proceso consiste en evaluar el nivel de ruido resultante tras interponer un elemento constructivo. De esta manera hallaremos el aislamiento acústico del mismo expresado en decibelios dentro de un espectro de frecuencias.

El ruido se cuantifica midiendo la presión causada por la onda en el medio físico, por ello la magnitud principal de medida es la presión sonora (Pa). Este parámetro es el que registran los instrumentos de

medida aunque no se suele usar como dato para los cálculos y resultados. El decibelio es la magnitud adimensional que nos dará el nivel de ruido resultante:

DECIBELIO (NIVEL DE PRESIÓN SONORA) $L_p = 20 \text{Log} P/P_0$ **(2.1)**

P = Presión sonora resultante

$P_0$ = Presión sonora (Umbral mínimo audible. $2.10^{-5}$ Pa)

Las presiones se traducen mediante esta fórmula en Niveles de Presión sonora expresados en una magnitud adimensional (DECIBELIO (dB))

## 2.4.1. Bandas espectrales de frecuencia

Los niveles de ruido obtenidos se expresan para cada una de las bandas de frecuencias del espectro en el que se esté trabajando.

Las frecuencias preferentes son las siguientes (Norma UNE EN ISO 266):

Bandas de octava (Al doblar la frecuencia se pasa de una octava a otra)

| 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|

Bandas de tercios de octava (cada octava se divide en tres)

| 100 | 125 | 160 | 200 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

## 2.4.2 Expresión de las curvas de ruido

Para expresar los resultados de una medición acústica se usan los niveles de presión sonora en decibelios (dB) en función de las bandas de frecuencia que se hayan considerado para el ensayo.

A continuación se presenta un ejemplo de una medición acústica dado por un sonómetro de precisión:

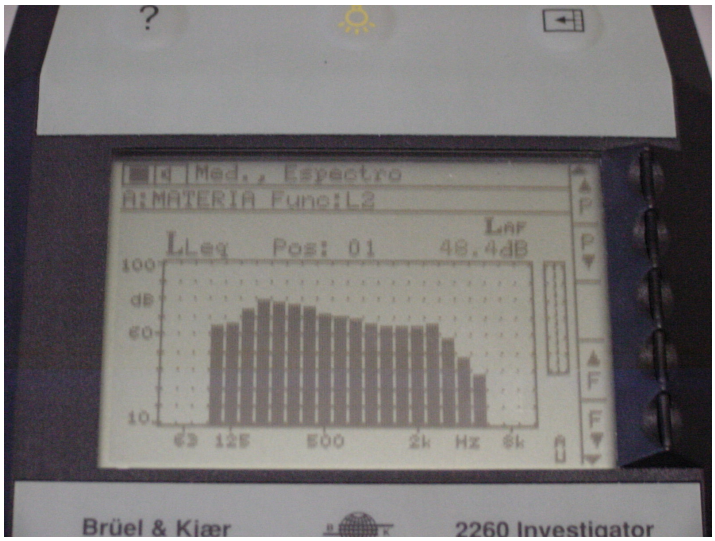



**Figura 2.3: Curva de niveles de presión sonora en función de las bandas de tercios de octava**

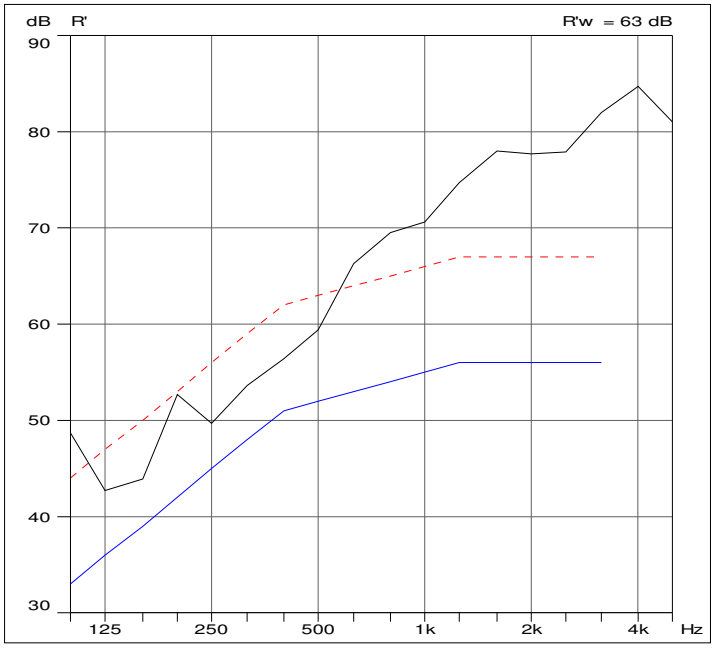



**Figura 2.4: Curva de aislamiento acústico a ruido aéreo**

## 2.4.3 Curvas de ponderación: Ponderación A

La percepción de ruido es un concepto subjetivo que varía de una persona a otra. Por otro lado, nuestro sistema auditivo es más sensible a unas frecuencias que a otras. Según diversos estudios realizados se han establecido unas curvas correctoras de los niveles de presión sonora para cada una de las frecuencias. Quizás, la más utilizada sea la curva de ponderación A por ser la que más se adapta a los ruidos cotidianos. Existen otras como la curva B, C, D, E que son adecuadas para otro tipo de ruidos con mayor sonoridad.

**Tabla 2.1: Tabla de ponderación A**

| **Hz** | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **dB** | -19,1 | -16,1 | -13,4 | -10,9 | -8,6 | -6,6 | -4,8 | -3,2 | -1,9 | -0,8 | 0 | 0,6 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,5 |

Cualquier registro de niveles en dB se puede ponderar a dBA aplicando la tabla adjunta. De esta manera obtenemos unos niveles de ruido adecuados a la percepción humana.

La Normativa NBE-CA-88 especifica que los valores resultantes de la medición acústica se deben expresar con la corrección que implica la curva de ponderación A.

# 3 PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO: EXIGENCIAS NORMATIVAS

El ruido es causa de molestia en las personas por lo que se han desarrollado textos normativos que regulan la emisión del mismo y la protección de los edificios frente al ruido.

Los textos normativos regulan:

- Niveles máximos de presión sonora en el interior de locales para conseguir un confort acústico. (Diferenciando entre horario nocturno y diurno ; Diferenciando entre distintos usos de los mismos)
- Niveles de aislamiento acústico de los elementos constructivos para garantizar los valores máximos de inmisión.

- NBE-CA-88. Vigente en la actualidad. Valores de aislamiento. Inmisiones.
- Código Técnico de la Edificación (En fase de aprobación. Sustituirá a la NBE CA 88). Valores de aislamiento. Inmisiones. Cálculo predictivo.
- Ordenanzas municipales. Inmisiones.
- Ley del Ruido (Ley 37/2003, 17 de noviembre). Mapas de ruido. Gestión del ruido por ayuntamientos

## 3.1 Norma Básica de la Edificación: NBE-CA-88

Esta Norma, de obligado cumplimiento, nace de la necesidad de proteger a los ocupantes de los edificios de las molestias físicas y psíquicas que ocasionan los ruidos. De esta manera se establece unas exigencias mínimas para el aislamiento a ruido de los distintos cerramientos y particiones de un edificio para mantener así un nivel acústico aceptable.

**Tabla 3.1: Valores de aislamiento acústico mínimos exigibles a los elementos constructivos según su función de cerramiento. NBE-CA-88**

Artículo 10º. Particiones interiores.

(Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

30 dBA en separación de áreas del mismo uso

35 dBA en separación de áreas de usos distintos

Artículo 11º. Paredes separadoras de propiedades o usuarios distintos

45 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

Artículo 12º. Paredes separadoras de zonas comunes interiores

45 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

Artículo 13º. Fachadas

30 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

Artículo 14º. Elementos Horizontales de propietarios o usuarios distintos

45 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

80 dBA (Aislamiento Acústico a ruido de impactos)

Artículo 15º. Cubiertas

45 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

## 3.2 Ordenanzas Municipales: Medioambiente

Estas ordenanzas, redactadas en algunos municipios, tienen el propósito, por un lado, de fijar unos valores máximos de emisión acústica a la atmósfera y a los locales colindantes en función de las áreas de ruido, y por otro, establecer unos valores de inmisión acústica que no superen el confort en el interior de los locales. También establece unos aislamientos para los cerramientos de los locales.

## 3.3 Código Técnico de la Edificación: (CTE- Protección frente al ruido)

Este documento, aun sin vigor, sustituirá a la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88, estableciendo unas exigencias de aislamiento acústico a los elementos constructivos de un edificio.

Ejemplos: EXIGENCIAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO "CTE - DB HR"

- Particiones interiores.(Aislamiento Acústico a ruido aéreo)

  RA > 33 dBA en separación entre unidades del mismo uso
- Paredes o forjados separadoras de propiedades o usuarios distintos

  DnT,A > 50 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)
- Paredes separadoras de zonas comunes interiores

  DnT,A > 50 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)
- Paredes separadoras de zonas de instalaciones

  DnT,A > 55 dBA (Aislamiento Acústico a ruido aéreo)
- Fachadas. D2m,nT,Atr

  Dependerá del área donde se sitúe el edificio (índice de ruido día Ld)
- Forjados Impactos. L'nT,W < 65 dBA (Nivel de presión acústica a ruido de impactos)

# 4 MEDICIONES ACÚSTICAS

## 4.1 Tipos de mediciones en arquitectura

Existen diferentes tipos de ruido como ya se ha expuesto anteriormente, por tanto, las mediciones deben ajustarse a la tipología del ruido.

Hay que distinguir entre:

- Ruido aéreo
- Ruido de impactos

También se deberá realizar un tipo de ensayo u otro si la medición se realiza, en laboratorio, con todas las especificaciones que para él existen, o si la medición se realiza "in situ". Los resultados obtenidos de mediciones "in situ" y de mediciones en laboratorio, no son comparables.

Las Normas que indican el procedimiento de ensayo para cada medición se recogen en el juego completo de Normas UNE EN ISO 140:

Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas

Parte 2: Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión

Parte 3: Medición en laboratorio de aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción

Parte 4: Medición in situ de aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales

Parte 5: Medición in situ de aislamiento acústico al ruido aéreo de las fachadas y de sus componentes

Parte 6: Medición en laboratorio del aislamiento de suelos a ruido de impacto

Parte 7: Medición in situ del aislamiento de suelos a ruido de impacto

Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimientos de suelos sobre forjado normalizado pesado

Parte 9: Medición en laboratorio de aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales de un techo suspendido con plenum

Parte 10: Medición en laboratorio de aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños

Parte 12: Medición en laboratorio de aislamiento acústico al ruido aéreo entre locales y a ruido de impactos de una rampa elevada

Parte 14: Directrices para situaciones especiales “in situ”

Absorción Acústica: UNE EN 20354 Determinación de la absorción acústica en una cámara reverberante

La absorción acústica de un material es la capacidad que éste posee para disipar energía acústica en otras formas de energía.

Una pared revestida con un material acústico reducirá la reflexión del rayo acústico.

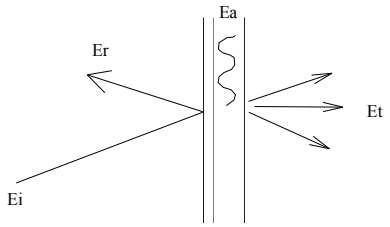



**Figura 4.1: Absorción**

Ei = **Ea** + Er + Et **(4.1)**

Ei: Energía emitida

**Ea:** Energía absorbida

Er: Energía reflejada

Et: Energía transmitida

La absorción acústica influirá en la medición por lo que en los cálculos habrá que tenerla en cuenta tal y como se verá más adelante.

## 4.2 Índices usados para evaluar el aislamiento acústico

Para la evaluación del aislamiento acústico se usan diferentes índices en función del tipo de medición y en función de si la medida se realiza “in situ” o en laboratorio. A continuación se enumeran los más relevantes, así como los que previsiblemente se utilizarán en el documento del CTE HR protección frente al ruido.

ÍNDICES PARA RUIDO AÉREO

R = Índice de reducción sonora (En laboratorio)

RA = Índice de reducción sonora ponderado en A (En laboratorio)

R’A = Índice de reducción sonora APARENTE ponderado en A (In situ)

DnT = Diferencia de niveles estandarizada (In situ)

DnT,A = Diferencia de niveles estandarizada ponderado en A (In situ)

D2m,nT,Atr = Diferencia de niveles estandarizada con corrección para ruido de tráfico (in situ)

ÍNDICES PARA RUIDO DE IMPACTO

L’nT = Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado

## 4.3 Parámetros y fórmulas

Para la medida del ruido se usa el Decibelio que se define por la siguiente expresión:

- NIVEL DE RUIDO. (Decibelio dB) **(4.2)**

  $L = 20 \log P/Po$

Para la realización de una medición se han de registrar los niveles correspondientes en varios puntos dentro de los locales de medida para así determinar un nivel medio de presión sonora. La ecuación que nos da ese nivel medio es:

Nivel medio de presión sonora en un recinto para un número de registros n

- $L = 10 \log (1/n \sum_{i=1}^{n} 10Li/10 )dB$ **(4.3)**

Li – Ln: n posiciones de micrófono

** El nivel se calcula para cada una de las frecuencias del espectro de trabajo (100-5.000 Hz)*

## 4.4 Procedimientos de medida

Para cada tipo de medición existe un protocolo diferente que viene especificado en las normas antes reseñadas

La técnica para conocer el aislamiento consiste en emitir ruido en la cámara de emisión y registrarlo tanto en ella misma como en la cámara de recepción. Posteriormente se restarán los niveles para conocer el aislamiento del elemento constructivo interpuesto entre ambas cámaras. De esta manera obtendríamos el aislamiento bruto, el cual viene afectado por las reflexiones que se producen en la cámara de recepción. Para evitar este fenómeno se utilizan los correctores de tiempos de reverberación como ya se verá mas adelante.

**Aislamiento bruto**. Diferencia de niveles $\Delta L = L1 - L2$ **(4.4)**

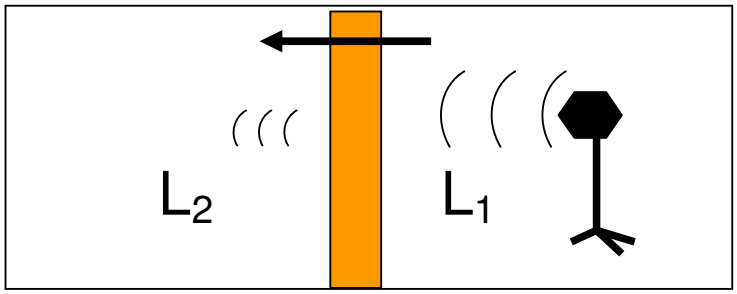



**Figura 4.2: Esquema de emisión y recepción**

### 4.4.1 Equipo usado

Para la emisión de ruido aéreo, la amplificación del mismo y el registro, se utiliza el siguiente equipo.

- Fuente Omnidireccional: Fuente con la capacidad de emitir ruido lo mas difuso posible.
- Amplificador: Con función de elevar la potencia sonora a un nivel suficiente como para poder hacer una medición acústica y ajustar la ecualización para conseguir un nivel de ruido rosa o ruido blanco.
- Sonómetro analizador: Registros de niveles por bandas de frecuencias (Bandas en octavas o en tercios de octava)

Para la emisión de ruido de impactos, se usa una máquina normalizada para ruido de impactos que produce un golpeteo en el suelo mediante unos pistones con una frecuencia fija.

### 4.4.2 Ruido emitido para mediciones de aislamiento acústico a ruido aéreo

El ruido empleado para este tipo de mediciones en laboratorio se debe caracterizar por una composición de niveles en cada una de las frecuencias con una relación lineal. Los empleados son los conocidos como Ruido Rosa y Ruido Blanco

Ruido Rosa: Aquel que presenta un nivel constante para cada una de las bandas de octava.
Ruido Blanco: Presenta un incremento de 3 dB para cada banda de octava consecutiva.

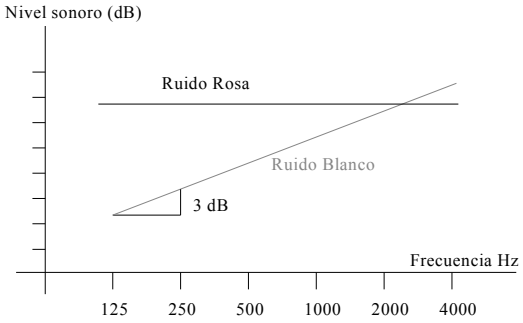



**Figura 4.3: Gráficas de ruido blanco y ruido rosa**

### 4.4.3 Medición del aislamiento al ruido aéreo en laboratorio

Norma de procedimiento de ensayo: UNE EN ISO 140-(3)

El laboratorio de ensayo posee como mínimo dos cámaras acústicas, una de ellas empleada para la emisión del ruido y la otra para la recepción del mismo.

En la norma UNE EN ISO 140-(1) se reflejan las características de las cámaras acústicas normalizadas para realizar los ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos

La diferencia con una medida “in situ” estriba en las condiciones del laboratorio: Éste debe garantizar una **reducción máxima de las transmisiones indirectas** que se puedan producir por los flancos.

Entre las características de estas cámaras cabe destacar las siguientes:

- Anular las transmisiones indirectas
- El volumen de cada una de ellas debe superar los 50 m3
- El área de ensayo (hueco interpuesto entre ambas cámaras) debe poseer una superficie superior a 10 m2
- En la cámara de emisión se debe conseguir un campo difuso con diferencias de niveles no superior a 6 dB entre las distintas frecuencias
- El nivel generado en la sala de emisión debe ser suficientemente alto para que en la cámara de recepción el nivel esté 15 dB por encima del ruido de fondo en cada una de las frecuencias

- Tiempo de reverberación en sala de recepción a bajas frecuencias (1s < T < 2s)

El procedimiento para conocer el a aislamiento acústico a ruido aéreo se basa en emitir un ruido (blanco o rosa) en la sala elegida para la emisión y registrar su nivel (L1) para posteriormente comprobar el nivel de ruido registrado en la sala de recepción (L2) que será el que atraviese la pared de ensayo.

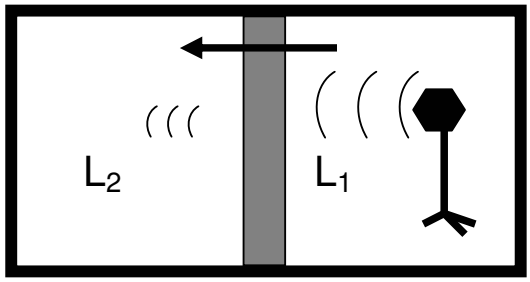



**Figura 4.4: Cámaras acústicas**

El resultado de **aislamiento bruto** lo dará la resta de niveles.

$$\Delta L = L1 - L2 \quad \textbf{(4.5)}$$

La reverberación en la cámara de recepción influye negativamente en el resultado debido a que la energía acústica recibida en la sala aumenta por efecto de la reflexión en las paredes. El término L2 será mayor en una cámara reverberante que en otra tratada con materiales absorbentes.

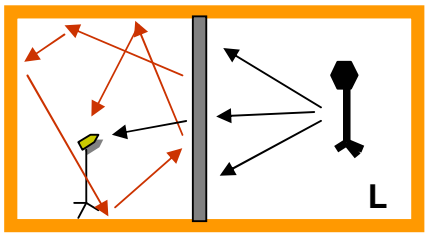



**Figura 4.5: Efecto de reflexión por la reverberación**

Por tal motivo, si se desea conocer el aislamiento del elemento constructivo independientemente de la reverberación propia de la cámara de recepción se deberán conocer los términos correctores para la reverberación y usar la siguiente expresión para indicar el aislamiento.

**Índice de reducción sonora**: $R = L1 - L2 + 10 \text{ Log } S/A$ **(4.6)**

- L1: Nivel de presión sonora registrado en la cámara de emisión
- L2: Nivel de presión sonora registrado en la cámara de recepción
- S: Es el área de de la muestra de ensayo
- A: Es el área de absorción sonora equivalente en el recinto receptor en metros cuadrados

El área de absorción sonora se calcula mediante la siguiente fórmula de Sabine:

$$T = 0{,}163\ V/A \quad \textbf{(4.7)}$$

T: Tiempo de reverberación (T2): Tiempo en el que la energía acústica disminuye 60 dB tras detener la fuente sonora

V: Volumen de la cámara receptora

A: Es el área de absorción sonora equivalente en el recinto receptor en metros cuadrados

También será necesario medir el ruido de fondo (B2) para cerciorarse de que no está influyendo en la medición. Debe emitirse un ruido con un nivel suficientemente alto como para que el registrado en la sala

de recepción, tras haber traspasado el elemento constructivo, supere el nivel de ruido de fondo en 15 dB. Si se diese el caso contrario se deberán tomar medidas correctoras.

Resumiendo, para la medición se deberán registrar los siguientes valores

L1: Nivel de presión sonora en la cámara de emisión

L2: Nivel de presión sonora registrado en la cámara de recepción

B2: Nivel de ruido de fondo en la cámara de recepción

T2: Tiempo de reverberación en la cámara de recepción.

El número de medidas para los valores L1 y L2 debe ser al menos de 10 registros en diferentes puntos de la sala con la fuente sonora colocada en dos puntos distintos. Posteriormente se halla la media de estos registros. Las distancias entre los puntos de medida, el perímetro de la cámara, la fuente, se establecen en la Norma UNE EN ISO 140-(3). En la figura 4.6 vienen reflejados los puntos en el suelo.

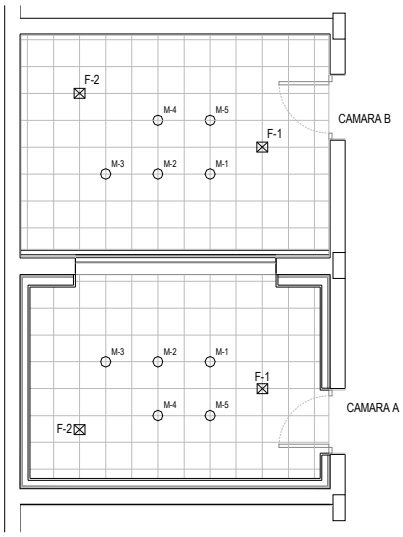



**Figura 4.6: Cámaras acústicas**

De la medición realizada y los cálculos correctores obtenemos un aislamiento normalizado que se refleja en una gráfica con un nivel de aislamiento para cada banda de frecuencia.

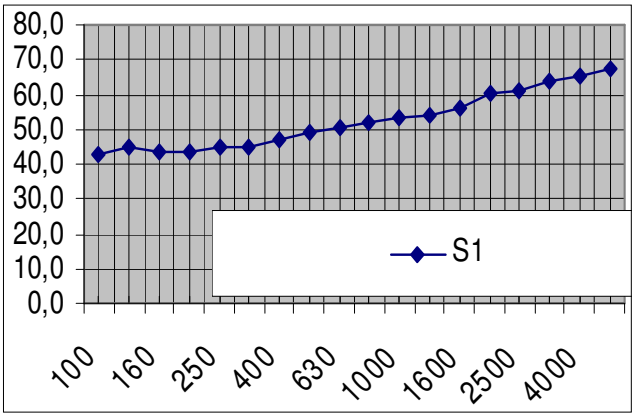



**Figura 4.7: Gráficas de aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento constructivo**

La siguiente figura muestra los resultados de un ensayo según la Norma UNE EN ISO 717-1

**Indice de reducción sonora de acuerdo con la Norma ISO 140-3**

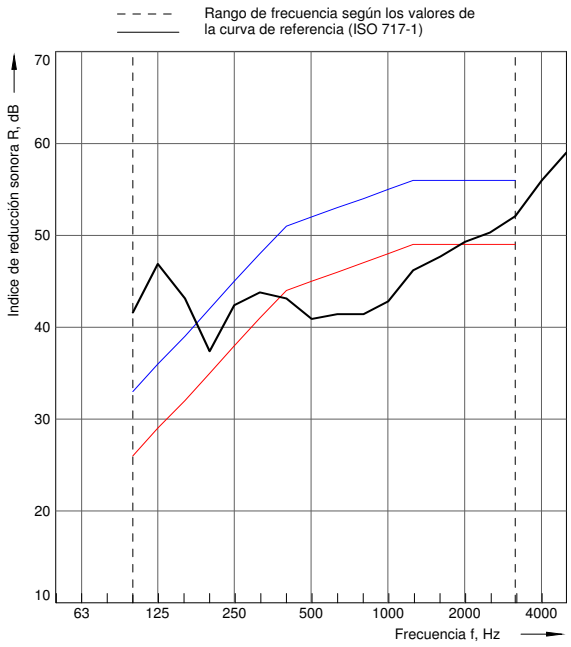
**Medidas en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo entre recintos**

Cliente: Fecha del ensayo: 20/02/2006

Descripción e identificación del elemento de construcción y disposición del ensayo, dirección de la medida::

Area S del elemento separador: 10,00 m²
Volumen del recinto emisor: m³
Volumen del recinto receptor: 47,60 m³

| Frecuencia f Hz | R 1/3 Octava dB |
|---|---|
| 50 | |
| 63 | |
| 80 | |
| 100 | 41,6 |
| 125 | 46,9 |
| 160 | 43,1 |
| 200 | 37,4 |
| 250 | 42,4 |
| 315 | 43,8 |
| 400 | 43,1 |
| 500 | 40,9 |
| 630 | 41,4 |
| 800 | 41,4 |
| 1000 | 42,8 |
| 1250 | 46,2 |
| 1600 | 47,7 |
| 2000 | 49,3 |
| 2500 | 50,3 |
| 3150 | 52,1 |
| 4000 | 56,0 |
| 5000 | 59,0 |




Valoración según la Norma ISO 717-1

$R_w$ ($C$;$C_{tr}$) = 45 ( 0; -2) dB

$C_{50\text{-}3150}$ = N/A dB; $C_{50\text{-}5000}$ = N/A dB; $C_{100\text{-}5000}$ = 1 dB;

$C_{tr,50\text{-}3150}$ = N/A dB; $C_{tr,50\text{-}5000}$ = N/A dB; $C_{tr,100\text{-}5000}$ = -2 dB;

Evaluación basada en resultados obtenidos por una medida en laboratorio en bandas de tercio de octava con el método de ingeniería

Nº de informe: Nombre del instituto de ensayo:

Fecha: 27/04/2007 Firma:

**Figura 4.8: Ficha de informe según formato de norma UNE EN ISO 717-1**

En la figura anterior se muestra, además de la gráfica y la tabla de aislamiento por frecuencias, un índice global de evaluación del aislamiento acústico (Rw)

Para conocer el valor global de aislamiento acústico a ruido aéreo o "índice ponderado de reducción sonora" de un elemento constructivo se debe utilizar la Norma UNE EN ISO 717 parte 1 para ruido aéreo y parte 2 para ruido de impacto.

Obtenemos el índice ponderado de reducción sonora: (Rw)

Este valor corresponde con el nivel a 500 Hz de la curva de referencia reflejada en dicha Norma y desplazada según el procedimiento descrito en la misma.

Este valor viene acompañado de dos coeficientes correctores (C ; $C_{tr}$), que ajustan el valor global en función del tipo de ruido a que se haga frente: ruido entre viviendas (C), o Ruido de tráfico ($C_{tr}$) para fachadas.

## 4.4.4 Medición del aislamiento al ruido aéreo "in situ"

Norma de procedimiento de ensayo: UNE EN ISO 140-(4)

El protocolo de medida para realizar las mediciones "in situ" se basa en conocer los mismos valores que en la medición en laboratorio:

L1: Nivel de presión sonora en el local de emisión

L2: Nivel de presión sonora registrado en el local de recepción

B2: Nivel de ruido de fondo en el local de recepción

T2: Tiempo de reverberación en el local de recepción.

DIFERENCIAS CON RESPECTO A LA MEDICIÓN EN LABORATORIO:

- En este tipo de medidas será imposible evitar las transmisiones indirectas ya que en la construcción real de un edificio existe una continuidad de estructura, y también entre los materiales de construcción.

Por este motivo, el valor que se da de aislamiento acústico a ruido aéreo implica una transmisión indirecta, lo que refleja que el ruido transmitido de un local a otro, no solo traspasa a través del elemento constructivo que estemos ensayando sino que también se transmitirá a través de la estructura y cerramientos contiguos.

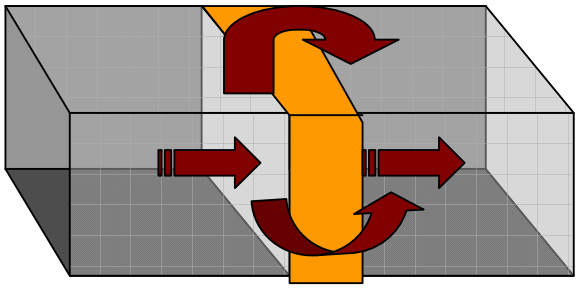


**Figura 4.9: Transmisiones indirectas**

El valor que se utiliza para dar el resultado de aislamiento acústico es:

**Índice de reducción sonora aparente**: $R' = L1 - L2 + 10 \log S/A$ **(4.8)**

**Diferencia de niveles estandarizada (en el CTE):** $Dnt = L1 - L2 + 10 \log T/To$ **(4.9)**

T = Tiempo de reverberación

To = Tiempo de reverberación de referencia para viviendas (0,5 s)

- Por otro lado, la Norma UNE EN ISO 140- 4 fija unas especificaciones para realizar las medidas en relación a la situación del sonómetro en el local, las distancias de separación a las paredes, y el número de registros por valor, que en muchos casos es inviable debido a las escasas dimensiones de los locales en los que estamos midiendo. Recientemente ha aparecido una norma (UNE EN ISO 140-14) que nos dará unas directrices para afrontar casos de medidas en locales con geometrías especiales.

## 4.4.5 Medición del aislamiento al ruido aéreo "in situ" de fachadas

Norma de procedimiento de ensayo: UNE EN ISO 140-(5)

La medida seguirá el mismo procedimiento que para las mediciones ya vistas (registros de parámetros L1, L2, B2 y T2), variando las especificaciones de distancias de la fuente sonora y del sonómetro en los registros de emisión.

Se trata de evaluar el aislamiento a ruido aéreo de fachadas, cubiertas, o suelos en contacto con el aire exterior

ÍNDICES USADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO:

- Para elementos de fachada (ventanas, marcos, partes ciegas)

**R'45º (Índice de reducción sonora aparente)**

Altavoz colocado a 5 m de la fachada y con ángulo de incidencia de 45 º

Micrófono situado en la muestra

**R'tr (Índice de reducción sonora aparente)**

Cuando existe un nivel suficiente de ruido de tráfico. Se usa el nivel de tráfico como emisión

Micrófono situado en la muestra

- Para fachadas completas (mixto entre los diferentes elementos que la componen)

**Dls,2m,nT (Diferencia de niveles estandarizada en fachadas)**

Reducción del nivel comparado con el registrado a 2m de la fachada utilizando un altavoz como fuente a 7 m de la fachada

**Dtr,2m,nT (Diferencia de niveles estandarizada en fachadas)**

Reducción del nivel comparado con el registrado a 2m de la fachada usando ruido de tráfico como fuente

## 4.4.6 Medición del aislamiento al ruido de impacto

Normas de procedimientos de ensayo: UNE EN ISO 140-(6,7,8)

Para la medición del aislamiento acústico a ruido de impacto se requiere una máquina normalizada de impactos.

Esta máquina está compuesta por unos cilindros metálicos de determinado tamaño que golpean el suelo cayendo desde una altura prefijada y con una frecuencia también prefijada. De esta manera se consigue excitar al forjado el cual a su vez transmite ruido aéreo al local inferior.

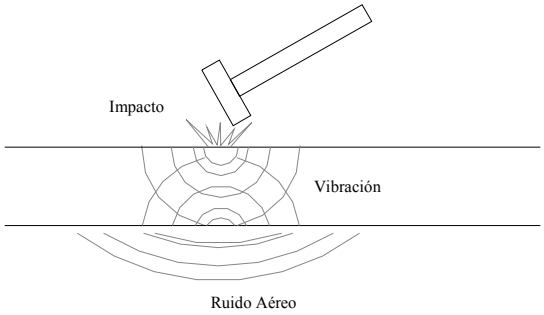



**Figura 4.10: Transmisión de ruido de impactos**

Los valores que se registran en este caso son:

L2: Nivel de presión sonora registrado en el local de recepción

B2: Nivel de ruido de fondo en el local de recepción

T2: Tiempo de reverberación en el local de recepción.

El método seguido es el mismo que en las mediciones de ruido aéreo

EL valor L1 (Emisión de ruido en la cámara de emisión) se suprime, logrando con la máquina de impactos normalizada un ruido de impactos normalizado que sirve de referencia para calcular el ruido transmitido al local inferior.

El valor dado como resultado de una medición a Ruido de Impacto no es el aislamiento sino el nivel de presión sonora registrado en local de recepción producido por una máquina de impactos normalizada en el local superior.

Los índices usados serán:

- Nivel de presión de ruido de impactos normalizado $Ln = L2 + 10 \text{ Log } A/Ao$ **(4.10)**

  ó

- Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado $LnT = L2 - 10 \text{ Log } T/To$ **(4.11)**
  - L2 Nivel de presión sonora registrado en el local de recepción
  - A Área de absorción acústica de la sala de recepción (T = 0,163 V/A)
  - Ao Área de absorción acústica de referencia ( 10 m2)
  - T Tiempo de reverberación
  - To Tiempo de reverberación de referencia ( 0,5 s)

PROTOCOLO DE MEDIDA

Para la realización de la medida se coloca la máquina de impactos sobre el suelo del recinto superior en al menos 4 posiciones diferentes con las siguientes indicaciones por norma:

- Distancia de la máquina a los bordes 0,5 m
- Angulo con respecto a los nervios del forjado 45 º

El micrófono se coloca en el local inferior en al menos 4 posiciones

- 0,7 m entre micrófonos
- 0,7 m entre micrófonos y paredes y 0,5 m para medicas “in situ”
- 1m entre micrófono y muestra

Para la medida de L2 en el local inferior se realiza un promedio de 6 registros combinando al menos 4 posiciones de micrófono y al menos 4 posiciones de máquina. EJ: 4 combinaciones de 2 posiciones de máquina con 2 de micrófono, 2 restantes con las 2 posiciones de máquina y 2 de micrófono.

Posteriormente se realizan las medidas de Ruido de fondo (B2) y tiempo de reverberación (T2) en el local de recepción

Para ruido de impactos se usa una parte de la norma u otra en función de si se mide en laboratorio (sin transmisiones indirectas y con unas especificaciones de las salas dadas en la norma de referencia) o “in situ” (con transmisiones indirectas)

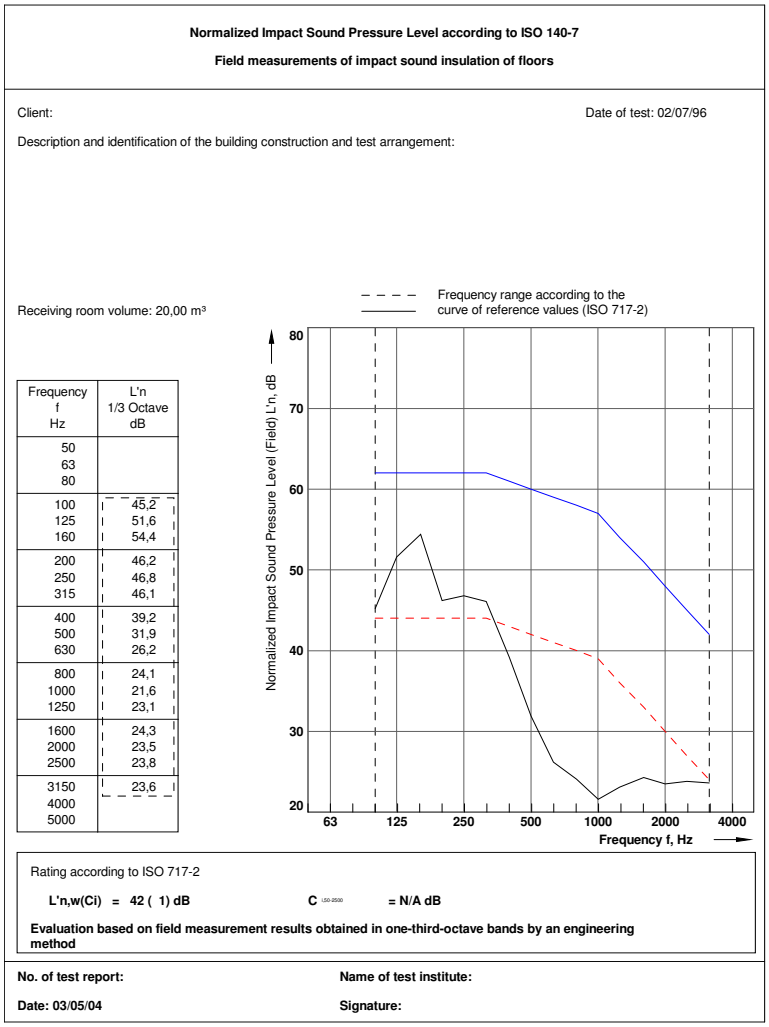
Las normas de referencia serán:

- Medidas en **laboratorio**: de suelos con o sin revestimiento. **UNE EN ISO 140 – 6**
- Medidas “**in situ**”**: UNE EN ISO 140 – 7**

Para conocer el valor global de nivel de presión sonora a ruido de impactos “índice ponderado de la presión sonora de impactos” de un forjado se debe utilizar la Norma UNE EN ISO 717 parte 2

El valor global será $Ln_{,w}$ , y corresponde con el nivel a 500 Hz de la curva de referencia reflejada en dicha norma y desplazada según el procedimiento descrito en la misma.

La siguiente figura muestra el formato de expresión de los resultados según nos indica la norma antes citada:



**Normalized Impact Sound Pressure Level according to ISO 140-7**

**Field measurements of impact sound insulation of floors**

Client: Date of test: 02/07/96

Description and identification of the building construction and test arrangement:

Receiving room volume: 20,00 m³

Frequency range according to the curve of reference values (ISO 717-2)

| Frequency f Hz | L'n 1/3 Octave dB |
|---|---|
| 50 | |
| 63 | |
| 80 | |
| 100 | 45,2 |
| 125 | 51,6 |
| 160 | 54,4 |
| 200 | 46,2 |
| 250 | 46,8 |
| 315 | 46,1 |
| 400 | 39,2 |
| 500 | 31,9 |
| 630 | 26,2 |
| 800 | 24,1 |
| 1000 | 21,6 |
| 1250 | 23,1 |
| 1600 | 24,3 |
| 2000 | 23,5 |
| 2500 | 23,8 |
| 3150 | 23,6 |
| 4000 | |
| 5000 | |



Rating according to ISO 717-2

**L'n,w(Ci) = 42 ( 1) dB** **C 100-2500 = N/A dB**

**Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method**

**No. of test report:** **Name of test institute:**

**Date: 03/05/04** **Signature:**

**Figura 4.11: Ficha de informe de presión de ruido de impactos según formato de norma UNE EN ISO 717-2**

## 4.4.7 Medición del tiempo de reverberación

Norma de procedimiento de ensayo: UNE EN ISO 3382

La medida del tiempo de reverberación en la cámara de recepción (T2) se usa, como ya se ha dicho, para independizar las mediciones de las reflexiones que se producen en el local de recepción.

El tiempo de reverberación de una sala se define como el tiempo transcurrido en disminuir 60 dB el nivel de presión sonora tras haber cesado la emisión de ruido

Procedimiento:

- Emitir ruido
  - Impulsivo
  - Interrumpido
- Parar la emisión
- Registrar el tiempo transcurrido en disminuir 60 dB el nivel acústico de la sala

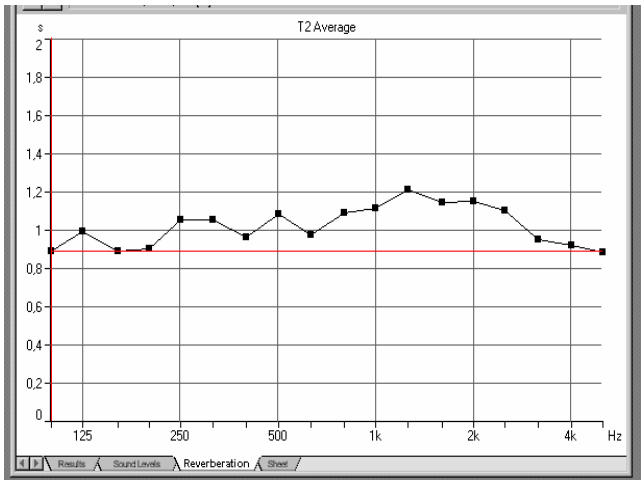



**Figura 4.12: Gráfica con los tiempos de reverberación obtenidos por cada banda de frecuencia.**

# 5 CONCLUSIÓN

- Los protocolos de medidas acústicas para la arquitectura quedan definidas en el juego de normas UNE EN ISO 140.
- Requieren de un equipo específico con analizadores por frecuencia de precisión 1 como mínimo.
- La principal diferencia que existe entre las mediciones realizadas en un laboratorio y las realizadas “in situ” estriba en las transmisiones indirectas. En un laboratorio se debe garantizar la anulación de las mismas mediante el diseño adecuado de las cámaras, mientras que “in situ” las transmisiones indirectas son inevitables y formarán parte del resultado final. Por tal motivo, aunque se haya ensayado una misma solución constructiva en ambas condiciones, los resultados no son comparables.
- Las mediciones de aislamiento acústico de fachadas conllevan cierta complejidad desde el punto de vista que la emisión de ruido desde el exterior implica usar medios auxiliares para colocar la fuente enfrentada al tramo de fachada que sea objeto del ensayo. Esto mismo ocurre para el caso de mediciones de cubiertas.
- Los laboratorios de medidas acústicas deben garantizar una reproducibilidad y repetitibilidad conforme a norma. Para ello deben inscribirse en campañas de intercomparación con la periodicidad que marque la entidad de acreditación.

# EXIGENCIAS BÁSICAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS

María Jesús Gavira Galocha
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

## 1 Introducción

La presente ponencia tiene por objeto exponer y desarrollar las exigencias aplicables a los edificios de acuerdo con el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Documento Básico Ahorro de Energía (DB HE).
El CTE, además de dar respuesta a los requisitos básicos que establece la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), recoge en su DB HE parte de los requisitos que se establecen en la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios, la cual, a su vez, es una respuesta directa a los compromisos adoptados por parte de los estados miembros de la Comunidad Europea, frente al protocolo de Kioto.
De este modo, el nuevo CTE, en su DB HE, establecerá exigencias relativas a la envolvente térmica del edificio para reducir la demanda energética, además de tratar la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación y fomentar el uso de las energías renovables que empiezan a formar parte de la edificación, como son la energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria, y la energía solar fotovoltaica para producción de electricidad.

Nos encontramos con un nuevo marco normativo energético, parte del cual se recoge en el DB HE que sustituye a la antigua NBE CT-79 con la que veníamos trabajando hasta que se derogó por la entrada en vigor del CTE.
Por otro lado, el Real Decreto 47/2007 que aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción transpone parcialmente la directiva de eficiencia energética en lo que se refiere a certificación energética de edificios.
Tendremos, además, en un futuro próximo, el RITE actualizado, incluyendo las inspecciones de calderas y sistemas de aire acondicionado.

# 2 Protocolo de Kioto

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5,2% de media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.
El objetivo principal es disminuir el cambio climático de origen antropogénico cuya base es el efecto invernadero.

Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero de origen humano como dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y óxido nitroso (N2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre.
Estos gases de efecto invernadero provocan el calentamiento global del planeta que se traduce en un aumento de la temperatura media de la atmósfera terrestre de los océanos a lo largo del tiempo. Diversos estudios realizados indican que la temperatura se ha elevado desde finales del siglo XIX debido a la actividad humana, principalmente por las emisiones de dióxido de carbono que incrementaron el efecto invernadero. La teoría predice, además, que las temperaturas continuarán subiendo en el futuro si continúan las emisiones de gases invernadero.

Efecto invernadero se denomina al efecto producido por la absorción en la atmósfera terrestre de las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie, impidiendo que escapen al espacio exterior y aumentando, por tanto, la temperatura media del planeta. Este fenómeno evita que el calor del sol recibido por la Tierra deje la atmósfera y vuelva al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

# 3 Directiva 2002/91/CE

La preocupación medioambiental asociada a la energía empleada en los edificios tiene como finalidad limitar las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética. En este sentido, la Unión Europea aprobó la Directiva 93/76/CEE y posteriormente la 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, en la que obliga a los Estados miembros a fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y para grandes edificios existentes que se reformen. El objetivo de dicha directiva es fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Comunidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia.

La directiva establece el marco general para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios que recoge, entre otros, aspectos que se verán reflejados en la actual normativa energética española, como son: características térmicas del edificio, estanqueidad del aire, disposición y orientación de los edificios, sistemas solares pasivos, iluminación natural, etc.

Parte de los requisitos de la citada Directiva de Eficiencia Energética se encuentran recogidos en el CTE DB HE sección 1: Limitación de la demanda energética, en cuanto a requisitos mí-

nimos exigibles a la envolvente edificatoria. Los requisitos relacionados con los sistemas, se contemplan en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, actualmente en revisión.

La directiva establece a su vez una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios con su correspondiente certificación, y la inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado.
La trasposición de la certificación energética está recogida en el Real Decreto 47/2007 sobre el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. El nuevo Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios recogerá una metodología específica para la inspección de calderas y sistemas de aire acondicionado.

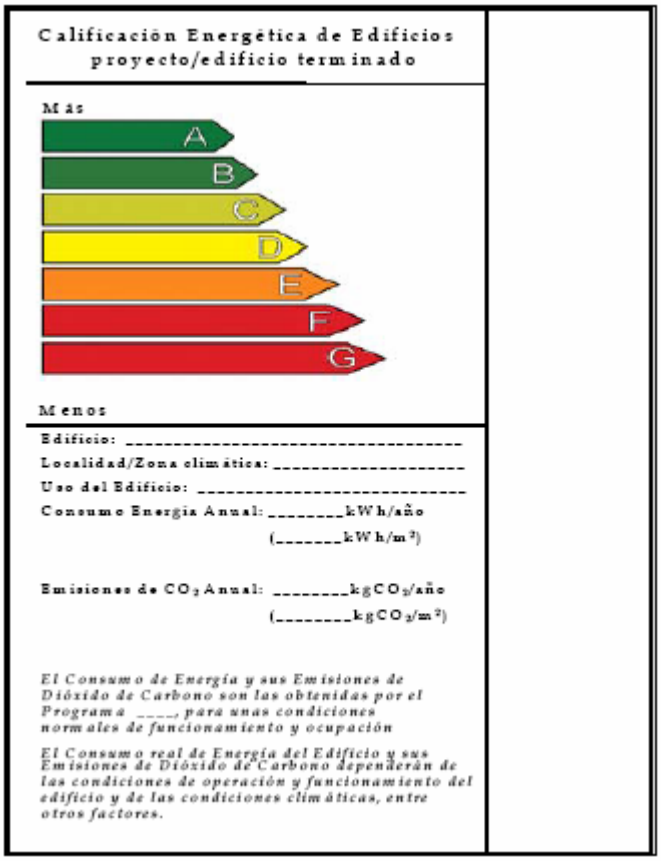
# 4 Real Decreto de certificación

El 19 de enero de 2007 se aprobó el Real Decreto 47/2007, Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, mediante el cual se da respuesta a la Directiva 2002/91/CE en lo relativo a dar información al comprador o usuario del edificio de la eficiencia energética del mismo a través del certificado de eficiencia energética.
Mediante este procedimiento básico de certificación de edificios se determina la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética.

Este R.D es aplicable a edificios de nueva construcción y a edificios antiguos con grandes reformas, modificaciones o rehabilitaciones. La certificación energética de edificios existentes no se contempla en este real decreto, quedando pendiente su desarrollo en otro texto reglamentario posterior.
Mediante el certificado de eficiencia energética del edificio se le asignará una clase energética, de acuerdo con una escala de siete letras y siete colores que van desde el edificio más eficiente (clase A) al edificio menos eficiente (clase G). La valoración de esta escala se hace en función del CO2 emitido por el consumo de energía de las instalaciones de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación del edificio.

La responsabilidad de certificar energéticamente un edificio recae en primer lugar en el proyectista del inmueble. Mediante un programa informático desarrollado al efecto, denominado CALENER, o programas alternativos que hayan sido validados, se simulará el comportamiento energético del edificio durante todo el año, en unas condiciones de uso determinadas, considerando aquellos factores que más influyen en el consumo como las condiciones meteorológicas, tales como la envolvente del edificio o su orientación, las características de las instalaciones de calefacción, agua caliente sanitaria o iluminación entre otras. En función del resultado se le asignará una clase de eficiencia energética determinada. Además existirá una metodología simplificada de calificación del edificio, mediante la cual se podrá optar a una calificación máxima de C.

Una vez construido el edificio, se comprobará la conformidad de esta calificación energética obtenida en la fase de proyecto con la del edificio realmente ejecutado. Con este objetivo, las Comunidades Autónomas, establecerán el alcance y las características de los controles externos que se deban realizar sobre el edificio, a fin de garantizar la veracidad de esta certificación energética. Por último el certificado de eficiencia energética del inmueble construido se incorporará oficialmente al Libro del Edificio.
El certificado tendrá una validez máxima de 10 años, siendo cada Comunidad Autónoma la que deberá establecer las condiciones específicas para proceder a su renovación o actualización.




# 5 CTE Exigencia básica HE: Ahorro de energía

Con la aprobación del Código Técnico de la Edificación se pretende dar cumplimiento a parte de la directiva de eficiencia energética incidiendo en los requisitos mínimos exigibles a los edificios, controlando así el consumo energético de estos.

El objetivo del requisito básico “Ahorro de Energía” es *conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de ese consumo proceda de fuentes de energía renovable*.
Teniendo en cuenta que el objetivo último es la reducción del consumo energético, podemos expresar el consumo energético como la relación entre la demanda energética del edificio y el rendimiento medio de los sistemas (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación...).

$$C = \frac{\text{DEMANDA ENERGÉTICA}}{\text{RENDIMIENTO MEDIO DEL SISTEMA}}$$

De este modo, para reducir el consumo energético, tendremos que, por un lado, reducir la demanda energética, y por otro, mejorar el rendimiento de los sistemas.
Además, se pueden complementar estas medidas mediante el uso de energías renovables.
Cada una de las secciones que componen el Documento Básico Ahorro de Energía (DB HE) se centra en alguno de los aspectos mencionados: reducir demanda energética, aumentar el ren-

dimiento de los sistemas, y uso de las energías renovables, de manera que se contribuye conjuntamente a reducir el consumo energético.
La sección HE1: Limitación de demanda energética, se centrará en reducir la demanda, como bien se entiende por el título.
La sección HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas se centrará en mejorar el rendimiento de las instalaciones del edificio, conjuntamente con la sección HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, que se centra en dichas instalaciones.
Finalmente, las secciones HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, y HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica, tratarán el uso de las energías renovables, concretamente la energía solar, como parte integrante del edificio.

## 5.1 Demanda energética de los edificios

La exigencia básica HE1: Limitación de demanda energética nos indica que *los edificios deben disponer de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano e invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características, y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos*.

Al analizar cada uno de los aspectos considerados en la exigencia, deberíamos tener una serie de conceptos previos claros, para abordar el planteamiento normativo desde una perspectiva lógica y coherente.

La exigencia se centra en limitar la demanda energética, y esta viene dada por una serie de factores. Por un lado, el edificio demanda energía para proporcionar una determinada situación de confort para el usuario del edificio, siendo esta la condición en la que el usuario siente satisfacción respecto al ambiente térmico en el que se encuentra. En la sensación de confort influyen una serie de variables como puedan ser: nivel de actividad del usuario, características de la vestimenta, temperatura y humedad relativa del ambiente, velocidad del aire, etc. Aquellas variables en las que no intervenga la actuación del usuario del edificio, serán sobre las que podamos actuar para diseñar un ambiente confortable, como son temperatura y humedad del ambiente, velocidad del aire, etc. Para controlar estas variables van a entrar en juego simultáneamente la envolvente edificatoria y los sistemas de climatización. Nos vamos a centrar en los aspectos que podemos controlar actuando sobre los cerramientos que componen la envolvente.

Tenemos entonces que el edificio va a demandar energía para conseguir una situación de confort para el usuario. La demanda de energía va a depender de una serie de factores, como son: clima, ubicación, uso y envolvente térmica del edificio. A la hora de proyectar un edificio, el clima nos viene dado por la ubicación geográfica del mismo, por lo tanto no podremos actuar sobre esta variable. En cuanto a la ubicación del edificio dentro de la trama urbana, podemos encontrarnos con orientaciones solares determinadas por las alineaciones de la parcela donde se va a construir. También puede darse que nuestro edificio ya esté condicionado en cuanto al acceso solar debido a sombras provocadas por edificios colindantes.
En lo que se refiere al uso del edificio, éste vendrá dado por la especificidad del proyecto, y si bien tiene bastante influencia en la demanda, ya que no es lo mismo un espacio que tenga uso de oficina, uso deportivo, uso residencial, etc... en cuanto a lo que va a suponer de demanda de refrigeración o calefacción en cada caso, tampoco podremos actuar sobre esta variable para reducir la demanda.

Dicho esto, será en la envolvente edificatoria donde actuemos para tratar de reducir esa demanda de calefacción o refrigeración.

Si nuestro objetivo va a ser reducir la demanda energética actuando sobre la envolvente térmica nos interesa analizar el comportamiento térmico de los cerramientos que la componen para saber en qué aspectos tendremos que intervenir.
El documento HE1 diferencia los cerramientos opacos de los cerramientos semitransparentes. Los primeros serán toda la parte opaca de los cerramientos, como bien se entiende por su denominación, y los cerramientos semitransparentes serán los huecos, tanto de fachada como de cubierta, comprendiendo la parte acristalada y la parte de marco.
El comportamiento térmico de los cerramientos opacos vendrá dado por su transmitancia térmica U, mientras que el de los cerramientos semitransparentes, además de venir dado por su transmitancia, se tendrá en cuenta su factor solar, F. Estos serán los parámetros en los cuales se centrarán las exigencias en cuando a limitación de demanda energética de la envolvente.
Por otro lado, también se tiene en cuenta el efecto de la ventilación en las pérdidas energéticas, y por ello se controlarán las carpinterías de huecos en cuanto a su permeabilidad al aire.

La estrategia para limitar la demanda energética será diferente en función de si nos encontramos en verano o en invierno. En invierno, la demanda será de calefacción, y para reducir esta demanda, nos interesará limitar las pérdidas energéticas aislando los cerramientos, y nos interesará aumentar las ganancias energéticas, o lo que es lo mismo, elegir buenas orientaciones para el acceso solar. La inercia térmica también nos puede interesar en determinados casos.

En verano, la demanda será de refrigeración, y para reducir esta demanda, nos interesará limitar las ganancias energéticas mediante la radiación solar a través de huecos, por lo que colocaremos elementos de sombreamiento en los huecos para reducir su factor solar. Este factor de sombra mejorará el propio factor solar del hueco, que tiene en cuenta el comportamiento conjunto de vidrio más marco.

El documento HE1 tratará de reducir tanto la demanda de calefacción como de refrigeración teniendo en cuenta los aspectos contemplados.

## 5.2 HE1: Limitación de demanda energética

Esta sección es de aplicación a edificios de nueva construcción y a modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil superior a 1000 $m^2$ donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos.
Se establecen una serie de exclusiones tales como edificios y monumentos protegidos, lugares de culto, construcciones provisionales, instalaciones industriales, etc.

Como se ha comentado en el apartado anterior, la exigencia básica HE1 se centrará en limitar la demanda energética actuando sobre la envolvente del edificio.
Dicha exigencia nos viene a decir que hay que controlar tres aspectos fundamentales para cumplir el CTE.
En primer lugar, se controla la demanda energética limitando los parámetros característicos que definen la envolvente térmica del edificio. Estos parámetros serán la transmitancia de muros de fachada, cubiertas, suelos, cerramientos en contacto con el terreno, huecos, y factor solar modificado de huecos y lucernarios.
En segundo lugar, se controla la formación de condensaciones superficiales e intersticiales, controlando también las primeras en los puentes térmicos.
En tercer lugar, se controla también la demanda limitando las infiltraciones de aire a través de las carpinterías.

## 5.2.1 Caracterización y cuantificación de las exigencias

En este apartado se expresan los niveles exigenciales de cada uno de los aspectos mencionados.

**Demanda energética**

La demanda energética debe ser inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica sean los valores límites establecidos en las tablas 2.2, que son en total doce tablas, una para cada zona climática.
Los parámetros característicos que definen la envolvente son los siguientes:

- transmitancia térmica de muros de fachada ($U_M$)
- transmitancia térmica de cubiertas ($U_C$)
- transmitancia térmica de suelos ($U_S$)
- transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno ($U_T$)
- transmitancia térmica de huecos ($U_H$)
- factor solar modificado de huecos ($F_H$)
- factor solar modificado de lucernarios ($F_L$)
- transmitancia térmica de medianeras ($U_{MD}$)

Veamos y analicemos la tabla 2.2 para una determinada zona climática como puede ser la correspondiente a Madrid, zona climática D3.

**ZONA CLIMÁTICA D3**

| | |
|---|---|
| **Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno** | **$U_{Mlim}$: 0,66 W/m$^2$K** |
| **Transmitancia límite de suelos** | **$U_{Slim}$: 0,49 W/m$^2$K** |
| **Transmitancia límite de cubiertas** | **$U_{Clim}$: 0,38 W/m$^2$K** |
| **Factor solar modificado límite de lucernarios** | **$F_{Llim}$: 0,28** |

| | Transmitancia límite de huecos[1] $U_{Hlim}$ W/m$^2$K | | | | Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Baja carga interna | | | Alta carga interna | | |
| % de huecos | N | E/O | S | SE/SO | E/O | S | SE/SO | E/O | S | SE/SO |
| de 0 a 10 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | - | - | - | - | - | - |
| de 11 a 20 | 3,0 (3,5) | 3,5 | 3,5 | 3,5 | - | - | - | - | - | - |
| de 21 a 30 | 2,5 (2,9) | 2,9 (3,3) | 3,5 | 3,5 | - | - | - | 0,54 | - | 0,57 |
| de 31 a 40 | 2,2 (2,5) | 2,6 (2,9) | 3,4 (3,5) | 3,4 (3,5) | - | - | - | 0,42 | 0,58 | 0,45 |
| de 41 a 50 | 2,1 (2,2) | 2,5 (2,6) | 3,2 (3,4) | 3,2 (3,4) | 0,50 | - | 0,53 | 0,35 | 0,49 | 0,37 |
| de 51 a 60 | 1,9 (2,1) | 2,3 (2,4) | 3,0 (3,1) | 3,0 (3,1) | 0,42 | 0,61 | 0,46 | 0,30 | 0,43 | 0,32 |

Para cada tipo de cerramiento opaco y para lucernarios se da un valor límite de transmitancia, a excepción de los huecos en los que tanto el valor límite de U como el valor límite de F va a depender del porcentaje de huecos en fachada y de la orientación de la misma. En el caso del factor solar modificado, además va a depender de si nos encontramos en espacios de alta o baja carga interna.
El valor límite de transmitancia de huecos es más exigente a medida que aumenta el porcentaje de huecos en fachada, al igual que también es más exigente para las orientaciones de fachadas más desfavorables, como pueda ser la orientación norte.
El factor solar modificado será más exigente para los espacios de alta carga interna, para el mayor porcentaje de huecos en fachada y para las orientaciones más desfavorables, que en este caso van a ser la este y oeste, o lo que es lo mismo, se está penalizando la aportación de cargas térmicas por radiación solar que entra a través de los huecos.

Además del cumplimiento de los valores límite de las tablas 2.2, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica deben tener unas características tales que no superen los valores de transmitancia térmica máxima indicados en la tabla 2.1. Estos valores máximos están dados según el tipo de cerramiento y la zona climática. Con esta limitación se trata de evitar descompensaciones entre las calidades térmicas de los diferentes cerramientos, ya que los valores de las tablas 2.2 dan unos límites para el promedio de cada tipo de cerramiento.

**Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de *cerramientos* y *particiones interiores* de la envolvente térmica U en W/m" K**

| *Cerramientos y particiones interiores* | ZONAS A | ZONAS B | ZONAS C | ZONAS D | ZONAS E |
|---|---|---|---|---|---|
| Muros de fachada, *particiones interiores* en contacto con *espacios no habitables*, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno(1) y primer metro de muros en contacto con el terreno | 1,22 | 1,07 | 0,95 | 0,86 | 0,74 |
| Suelos | 0,69 | 0,68 | 0,65 | 0,64 | 0,62 |
| Cubiertas | 0,65 | 0,59 | 0,53 | 0,49 | 0,46 |
| Vidrios y marcos(2) | 5,70 | 5,70 | 4,40 | 3,50 | 3,10 |
| Medianerías | 1,22 | 1,07 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Existe una exigencia adicional para las particiones interiores que limitan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en proyecto, con las zonas comunes no calefactadas, que deberán tener una transmitancia no superior a 1,2 W/m$^2$K.

**Condensaciones**

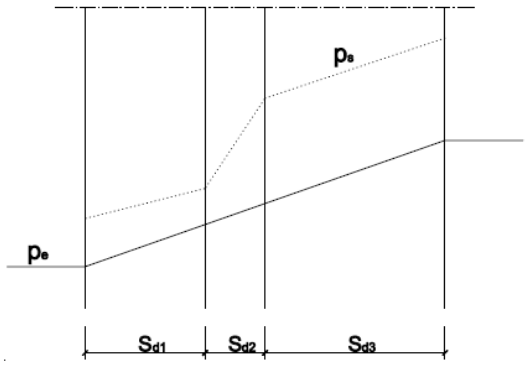
En el apartado de caracterización y cuantificación se indica que las condensaciones superficiales en los cerramientos y particiones interiores de la envolvente se evitarán de manera que no se forme moho en su superficie interior. Las condensaciones intersticiales no deben producir una merma significativa en las prestaciones térmicas de los cerramientos, ni deben suponer riesgo de degradación o pérdida de vida útil.
Para verificar el cumplimiento de la exigencia de condensaciones superficiales, se deberá comprobar que todos los cerramientos de la envolvente y puentes térmicos tienen un factor de temperatura de la superficie interior, $f_{Rsi}$, superior a un valor mínimo dado en función de la clase de higrometría del espacio y de la zona climática donde se ubique el edificio.

**Tabla 3.2 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$**

| Categoría del espacio | ZONAS A | ZONAS B | ZONAS C | ZONAS D | ZONAS E |
|---|---|---|---|---|---|
| Clase de higrometría 5 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.90 | 0.90 |
| Clase de higrometría 4 | 0.66 | 0.66 | 0.69 | 0.75 | 0.78 |
| Clase de higrometría 3 o inferior a 3 | 0,50 | 0.52 | 0.56 | 0.61 | 0.64 |

Para los cerramientos y particiones interiores de la envolvente, el cumplimiento de los valores máximos de transmitancia de la tabla 2.1, asegura el cumplimiento de los valores mínimos del factor de temperatura de la superficie interior, $f_{Rsi,min}$. Sin embargo, hay que comprobarlo en los puentes térmicos.

Para comprobar la formación de condensaciones intersticiales se comparan la presión de vapor y la presión de vapor de saturación en cada una de las capas que componen el cerramiento, no debiendo superar la presión de vapor a la presión de saturación.




**Permeabilidad al aire**

La permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de los cerramientos que limitan espacios habitables de los edificios con el exterior se limita en función de la zona climática. Para las zonas climáticas A y B se exige una permeabilidad al aire de carpinterías inferior a 50 $m^3/h \cdot m^2$ la cual corresponde a las clases de carpintería 1 a 4 según la norma UNE EN 12207, y en las zonas climáticas C, D y E se exige 27 $m^3/h \cdot m^2$ , que corresponde a las clases 2, 3 y 4 según dicha norma.

## 5.2.2 Zonificación climática

La geografía española se divide en 12 zonas climáticas en función de la severidad climática de invierno y la de verano.
La severidad climática es un concepto que combina los grados-día y la radiación solar de la localidad, de forma que cuando dos localidades tienen la misma severidad climática de invierno (SCI) la demanda energética de calefacción de un mismo edificio situado en ambas localidades es sensiblemente igual.
Cada zona climática está identificada por una letra y un número. La letra nos indica la severidad climática de verano, de manera que a medida que pasamos de la A hasta la E el clima es más severo en cuanto a invierno. El número nos indica la severidad climática de verano, correspondiendo el 4 al clima más severo en verano.
Los lugares con mayores severidades climáticas de invierno, tendrán unas limitaciones en cuanto a transmitancias de los cerramientos más restrictivas que para los lugares con una severidad climática de invierno menor.
Las localidades con severidad climática de verano alta, tendrán unas exigencias respecto al factor solar modificado más restrictivas que los climas menos severos en verano.

## 5.2.3 Envolvente térmica y clasificación de los espacios

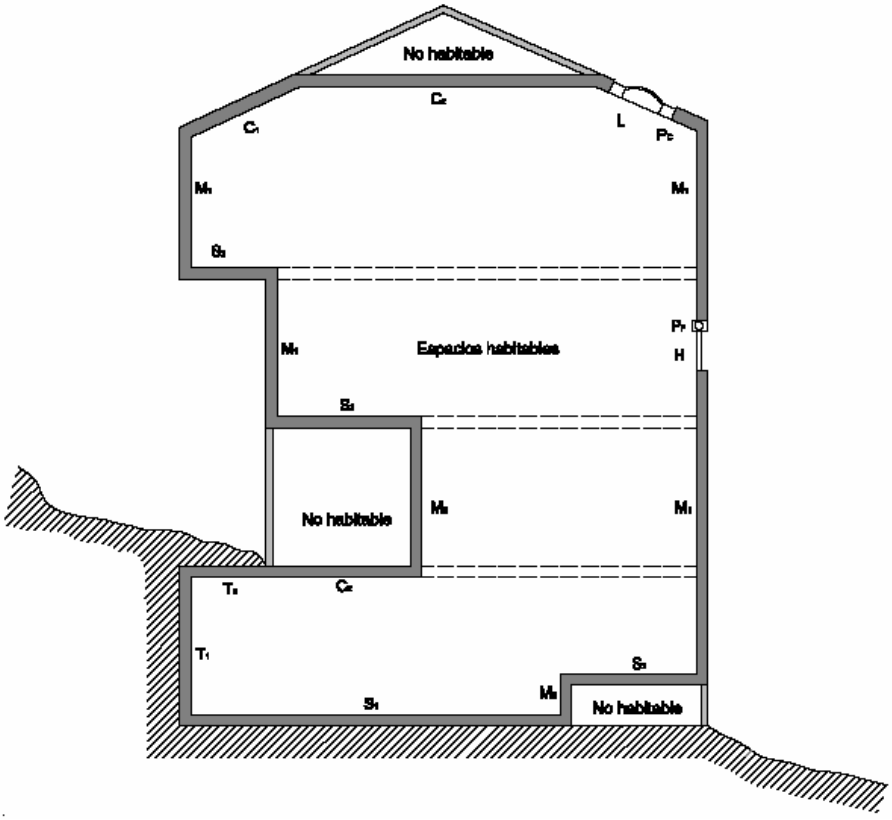
Es importante tener claro el concepto de envolvente térmica ya que será a esta a la que se le apliquen las exigencias establecidas en este documento.

La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire, terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

Siendo esto así, tendremos que determinar los espacios habitables y los no habitables del edificio.

Espacios habitables son aquellos destinados al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran espacios habitables las habitaciones y estancias de edificios residenciales; las aulas, bibliotecas, despachos en edificios de uso docente; los quirófanos, habitaciones, salas de espera en edificios de uso sanitario; las oficinas, despachos, salas de reunión en edificios de uso administrativo; las cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, zonas comunes, etc.

Espacios no habitables son aquellos no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional y bajo tiempo de estancia, solo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. Se incluyen dentro de los espacios no habitables los garajes, trasteros, desvanes no acondicionados, etc.




Los espacios habitables se clasifican a su vez en función de las cargas internas, alta o baja carga interna. Los espacios de alta carga interna tendrán una exigencia de factor solar modificado más restrictiva que para los espacios de baja carga interna.

Se establece otra clasificación de los espacios habitables para la comprobación de formación de condensaciones, encontrándonos con tres tipos: clase de higrometría 5, clase de higrometría 4 y clase de higrometría 3 o inferior. Las exigencias frente a condensaciones, así como los datos para el cálculo, dependerán de la clase de higrometría del espacio en cuestión.
Los casos más frecuentes serán aquellos espacios con clase de higrometría 3, que son aquellos en los que no se prevé una alta producción de humedad. Dentro de esta clasificación se encuentran todos los espacios de los edificios residenciales.

### 5.2.4 Puentes térmicos

La exigencia básica HE1 indica que se deben tratar adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

Se consideran puentes térmicos las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio de espesor del cerramiento, de los materiales empleados, encuentros de elementos constructivos con diferente conductividad, etc, lo que conlleva una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de cerramientos.

Se distinguen los puentes térmicos integrados en los cerramientos de los puentes térmicos formados por encuentros entre cerramientos. Los primeros comprenden los pilares integrados en fachadas, contornos de huecos, cajas de persianas, etc. El resto de puentes térmicos se pueden englobar en el segundo grupo, y estaríamos hablando de frentes de forjados en fachadas, encuentros de cubiertas con fachadas, encuentros en esquina, encuentros de tabiquería interior con fachada, etc.

Los puentes térmicos integrados se tendrán en cuenta en el cálculo de demanda promediando su comportamiento térmico con el de la fachada.

Todos los puentes térmicos, tanto los integrados como los formados por encuentros entre cerramientos se verificarán frente a la comprobación de formación de condensaciones superficiales.
Aunque el DB HE1 hace referencia a normativa UNE para el cálculo de estos aspectos, se contempla además la posibilidad de utilizar documentos reconocidos que facilitan la aplicación del DB.

### 5.2.5 Métodos de verificación

El documento HE1 establece dos procedimientos de verificación: una opción simplificada y una opción general.

La opción simplificada se basa en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica. Esos valores límite se recogen en las tablas 2.2 para cada una de las zonas climáticas.

Para los casos más frecuentes de viviendas este será el camino más sencillo de poder cumplimentar las exigencias, siendo además un procedimiento similar al que se establecía en la Norma Básica de Edificación de Condiciones Térmicas, NBE CT 79.

La opción simplificada se puede aplicar siempre que se cumplan los requisitos siguientes:
- el porcentaje de huecos en cada fachada debe ser inferior al 60% de su superficie
- el porcentaje de lucernarios debe ser inferior al 5% de la superficie total de cubierta
- quedan exluidas la soluciones constructivas no convencionales como pueden ser muros trombe, invernaderos adosados, etc

La opción general se basa en la evaluación de la demanda energética del edificio mediante la comparación de esta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción.
La evaluación mediante la opción general se realiza con un programa informático de referencia que desarrolla el método de cálculo fijado en el propio Documento Básico. La versión oficial de este programa se denomina Limitación de la Demanda Energética, LIDER, y tiene la consideración de documento reconocido del CTE, estando disponible al público para su libre disposición. Este método de verificación del cumplimiento de la sección HE1 es una novedad respecto a la normativa anterior.

## 5.3 HE3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

La exigencia básica HE3 nos indica que los edificios deben disponer de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente, disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural.

Esta sección tienen como ámbito de aplicación los edificios de nueva construcción, rehabilitación de edificios existentes con superficie útil superior a 1000 m2, donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada. También se aplica a reformas de locales comerciales y edificios de uso administrativo en los que se renueve la instalación de iluminación.
Se excluyen del ámbito de aplicación los interiores de viviendas y alumbrados de emergencia, entre otros.

El procedimiento de verificación de esta sección para dar respuesta a la exigencia es el siguiente:

- Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación, VEEI, comprobando que no se superan los valores límite establecidos en el documento
- Determinar un sistema de control y regulación, cuando corresponda, que optimice el aprovechamiento de la luz natural
- Definir el plan de mantenimiento

**Valor de eficiencia energética de la instalación**

La eficiencia energética de la instalación de iluminación se determina a través del VEEI, en función de la potencia total instalada, la superficie iluminada y la iluminancia media horizontal mantenida.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Los valores límite de eficiencia energética de la instalación se darán en función de la actividad de la zona a estudiar y del grupo en el que esté incluida. Se diferencian dos grupos:

- Grupo 1: zonas de no representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética

- Grupo 2: zonas de representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario son preponderantes frente a criterios de eficiencia energética

**Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación**

| grupo | Zonas de actividad diferenciada | VEEI límite |
|---|---|---|
| 1 zonas de no representación | administrativo en general | 3,5 |
| | andenes de estaciones de transporte | 3,5 |
| | salas de diagnóstico (4) | 3,5 |
| | pabellones de exposición o ferias | 3,5 |
| | aulas y laboratorios (2) | 4,0 |
| | habitaciones de hospital (3) | 4,5 |
| | zonas comunes (1) | 4,5 |
| | almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas | 5 |
| | aparcamientos | 5 |
| | espacios deportivos (5) | 5 |
| | recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior | 4,5 |

Además de esta verificación, las lámparas utilizadas en la instalación de iluminación de cada zona, tienen limitada las pérdidas de sus equipos auxiliares de manera que la potencia del conjunto (lámpara+equipo auxiliar) no supere los valores específicos.

**Tabla 3.1 Lámparas de descarga**

| | Potencia total del conjunto (W) | | |
|---|---|---|---|
| Potencia nominal de lámpara (W) | Vapor de mercurio | Vapor de sodio alta presión | Vapor halogenuros metálicos |
| 50 | 60 | 62 | -- |
| 70 | -- | 84 | 84 |
| 80 | 92 | -- | -- |
| 100 | -- | 116 | 116 |
| 125 | 139 | -- | -- |
| 150 | -- | 171 | 171 |
| 250 | 270 | 277 | 270 (2,15A) 277(3A) |
| 400 | 425 | 435 | 425 (3,5A) 435 (4,6A) |

### Sistemas de control y regulación

Las instalaciones de iluminación deben disponer, para cada zona, de un sistema de regulación y control en el que se disponga, al menos, de un sistema de encendido y apagado manual cuando no disponga de otro sistema de control. En las zonas de uso esporádico se debe disponer de un sistema de detección de presencia o sistema de temporización.
Se deben disponer sistemas de aprovechamiento de la luz natural que regulen la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros, en las situaciones en las que contempla el documento HE3 que deben disponerse de estos sistemas.

### Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento deberá contemplar, entre otras acciones, las operaciones de reposición de lámparas, limpieza de luminarias y de la zona iluminada, etc, todo ello para mantener los parámetros luminotécnicos en su nivel adecuado y garantizar la eficiencia energética de la instalación.

## 5.4 HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

La exigencia básica HE4 establece que para aquellos edificios en los que se prevea una demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta deben disponerse sistemas de captación y almacenamiento de la energía solar de baja temperatura, para cubrir parte de esa demanda. En el documento se indican los valores mínimos de aportación solar, sin perjuicio de valores más restrictivos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes.

Esta sección se aplica a todos los edificios de nueva construcción y a rehabilitación de edificios existentes en los que exista demanda de agua caliente sanitaria o climatización de piscina cubierta. Se puede disminuir justificadamente el aporte solar mínimo en una serie de casos que recoge el documento.

El procedimiento de verificación de esta sección para dar respuesta a la exigencia es el siguiente:

- obtener la contribución solar mínima
- cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado
- cumplimiento de las condiciones de mantenimiento

**Contribución solar mínima**

En las tablas 2.1 y 2.2 se indican, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria a una temperatura de referencia de 60º la contribución solar mínima anual, para el caso en que la fuente energética de apoyo sea gasoleo, propano, gas natural, u otras, y para el caso en que la fuente energética de apoyo sea electricidad mediante efecto Joule.

**Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general**

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| 50-5.000 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |
| 5.000-6.000 | 30 | 30 | 55 | 65 | 70 |
| 6.000-7.000 | 30 | 35 | 61 | 70 | 70 |
| 7.000-8.000 | 30 | 45 | 63 | 70 | 70 |
| 8.000-9.000 | 30 | 52 | 65 | 70 | 70 |
| 9.000-10.000 | 30 | 55 | 70 | 70 | 70 |
| 10.000-12.500 | 30 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| 12.500-15.000 | 30 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 15.000-17.500 | 35 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 17.500-20.000 | 45 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 20.000 | 52 | 70 | 70 | 70 | 70 |

**Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule**

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| 50-1.000 | 50 | 60 | 70 | 70 | 70 |
| 1.000-2.000 | 50 | 63 | 70 | 70 | 70 |
| 2.000-3.000 | 50 | 66 | 70 | 70 | 70 |
| 3.000-4.000 | 51 | 69 | 70 | 70 | 70 |
| 4.000-5.000 | 58 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 5.000-6.000 | 62 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 6.000 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |

La contribución solar mínima para climatización de piscinas cubiertas se indica en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Contribución solar mínima en %. Caso Climatización de piscinas

| | Zona climática | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V |
| Piscinas cubiertas | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |

En el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110% de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100% se indican una serie de medidas a adoptar, tales como disipar los excedentes energéticos, tapar o vaciar parcialmente el campo de captadores, etc.

Además de la contribución solar mínima, se limitan las pérdidas debidas a la orientación, inclinación y sombras arrojadas a los elementos de captación.

Tabla 2.4 Pérdidas límite

| Caso | Orientación e inclinación | Sombras | Total |
|---|---|---|---|
| General | 10 % | 10 % | 15 % |
| Superposición | 20 % | 15 % | 30 % |
| Integración arquitectónica | 40 % | 20 % | 50 % |

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos de captación, además de tener su función energética constituyen un elemento constructivo del cerramiento.

**Plan de mantenimiento**

El plan de mantenimiento comprende un plan de vigilancia y un plan de mantenimiento preventivo.

El plan de vigilancia tratará de asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos, mediante la observación simple de los parámetros funcionales principales.

El plan de mantenimiento constará de operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones, etc, que tratarán de mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente, y las operaciones realizadas se recogerán en el libro de mantenimiento de la instalación.

## 5.5 HE5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

La exigencia básica HE5 establece que, para los edificios que establece el documento en su ámbito de aplicación, se deben incorporar sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. En el documento se indican los valores mínimos, sin perjuicio de valores más restrictivos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes.

Esta sección se aplica a los edificios de los usos especificados en la tabla 1.1 cuando superen la superficie indicada.

Tabla 1.1 Ámbito de aplicación

| Tipo de uso | Límite de aplicación |
|---|---|
| Hipermercado | 5.000 $m^2$ construidos |
| Multitienda y centros de ocio | 3.000 $m^2$ construidos |
| Nave de almacenamiento | 10.000 $m^2$ construidos |
| Administrativos | 4.000 $m^2$ construidos |
| Hoteles y hostales | 100 plazas |
| Hospitales y clínicas | 100 camas |
| Pabellones de recintos feriales | 10.000 $m^2$ construidos |

Se puede disminuir justificadamente el aporte solar mínimo en una serie de casos que recoge el documento.

El procedimiento de verificación de esta sección para dar respuesta a la exigencia es el siguiente:

- obtener la contribución solar mínima
- comprobar que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación de las placas y a las sombras producidas sobre ellas no superan los valores límites establecidos
- cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado
- cumplimiento de las condiciones de mantenimiento

**Potencia eléctrica mínima**

La potencia pico a instalar, va a depender del uso y superficie construida del edificio, y de la zona climática en la que se encuentre. En cualquier caso, la potencia pico mínima a instalar será de 6,25 kWp.

Al igual que en los paneles solares térmicos se limitan las pérdidas debidas a la orientación, inclinación y sombras arrojadas a los elementos de captación.

**Plan de mantenimiento**

El plan de mantenimiento contemplará un plan de vigilancia y un plan de mantenimiento preventivo.
El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realicen operaciones como: comprobación de las protecciones eléctricas, comprobación del estado de los módulos, verificando el estado de las conexiones, comprobación del estado del inversor, cables y terminales, etc.

## Marco general

S1 Innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Fomento de la calidad y la sostenibilidad

## Estructuras

S3 Seguridad en caso de incendio. Ingeniería de fuego

S4 Industrialización y prefabricación de elementos estructurales de hormigón

S5 Hormigones estructurales especiales

## Habitabilidad en edificación

S6 Habitabilidad edificatoria. Salubridad

S7 Habitabilidad edificatoria. Confort acústico y térmico

Organizado por

Asociación de Miembros del Instituto Eduardo Torroja

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA

CSIC INSTITUTO EDUARDO TORROJA

Con el patrocinio de

FUNDACIÓN CAROLINA

FUNDACION ACS