

Criterios básicos de diseño de banco de ensayos para impactos de vidrios de seguridad

S. POSTIGO¹, A. PACIOS² y C. HUERTA²

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos, E.T.S. de Ingenieros Industriales
Universidad de Málaga. C/ Doctor Ortiz Ramos s/n Málaga 29071, España. E-mail: spostigo@uma.es

² Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales, E.T.S. de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid. España

El Código Técnico de la Edificación establece las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. El Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad identifica unas áreas críticas en las que el impacto con elementos frágiles supondría un riesgo para el usuario. Además, establece las prestaciones mínimas de los vidrios situados en dichas zonas, según el procedimiento de impacto descrito en la norma UNE-EN 12600:2003. Sin embargo, esta norma no facilita información detallada acerca de las características del equipo de ensayo, sino que indica unos criterios generales y condiciona la validación del equipo de ensayo a una calibración final. En este trabajo se presenta una propuesta de los criterios básicos de diseño a tener en cuenta para abordar el diseño de un banco de ensayos para impactos de vidrios de seguridad con el objetivo de fabricar un péndulo que cumpla con los límites establecidos en la calibración. Para ello, se han evaluado prototipos y resultados de diseño relativos a impacto, utilizando criterios dinámicos. De acuerdo con ello, se han propuesto tres criterios básicos de diseño, que aplicados en la fabricación de un banco de ensayos real han permitido alcanzar la calibración exigida por la norma UNE-EN 12600:2003. Asimismo, se han comprobado la repetibilidad y reproducibilidad entre los ensayos de impactos, lo que manifiesta la solidez de la configuración.

Palabras clave: Vidrios de seguridad, Péndulo de impacto, Códigos prestacionales, Elementos finitos

Basic design criteria for an impact test frame for safety glazing

The Spanish Building Code establishes the essential requirements of safety and habitability that buildings must satisfy. The Basic Document of Safety in Use and Accessibility identifies some critical areas where falling through brittle elements may cause a risk to the user. The document also establishes the minimum performance of glasses located in such areas, according to the impact procedure described in UNE-EN 12600:2003. However, this standard does not provide detailed information about the characteristics of the test equipment, but indicates a final calibration as validation test. The general criteria and conditions of this calibration are also incorporated in the UNE-EN 12600. To better achieve a successful manufacture of a pendulum complying with calibration limits, a proposal of the basic design criteria of a test frame for impacts of safety glazings is presented in this paper. Prototypes and results have been evaluated using dynamic design criteria of the impact phenomenon. Three criteria proposed and applied in the design and manufacture of a real test frame have helped to achieve the calibration required by the UNE-EN 12600:2003. The repeatability and reproducibility of the tests presented in this paper also guaranty the robustness of the set-up.

Keywords: Safety glass, Impact pendulum, Performance-based codes, Finite element analysis

1. ANTECEDENTES

La funcionalidad estética del vidrio atrae a proyectistas y propietarios a su empleo, pudiéndose generar situaciones de riesgo en caso de impacto o rotura. Inicialmente los usuarios exigirían el nivel máximo de absorción de energía o la mayor resistencia. Sin embargo, la exigencia de un nivel resistente elevado puede encarecer la edificación y afectar al mercado, sin que por ello mejore necesariamente el nivel de seguridad, ya que puede darse el caso que, vidrios menos resistentes con un montaje, dimensiones y sujeciones apropiados, demuestren poseer una suficiente capacidad de absorción de energía.

Según los Reales Decretos RD 1630/1992 (1) y RD 1328/1995 (2) que dictan y modifican respectivamente las disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en

aplicación de la Directiva 89/106/CEE (3), los productos de construcción sólo podrán comercializarse si son idóneos para el uso al que se destinan. A este respecto, establecen los requisitos esenciales que deben satisfacer los edificios a los que se incorporen productos de construcción como el vidrio, y las características que estos deben cumplir para obtener la Marca CE. Uno de los requisitos esenciales es el de seguridad de utilización, cuyo contenido se recoge en el Anejo 1 de los Reales Decretos anteriormente mencionados y dice: "Las obras deberán proyectarse y construirse de forma que su utilización o funcionamiento no supongan riesgos inadmisibles de accidentes como resbalones, caídas, colisiones, quemaduras, electrocución o heridas originadas por explosión".

El 6 de mayo de 2000 entró en vigor la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Esta Ley, que tiene por objeto "regular en sus aspectos esenciales el proceso de la edificación,...., con el fin de asegurar la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de los edificios y la adecuada protección de los intereses de los usuarios" (4), en su Disposición Final Segunda, autorizaba al Gobierno para la aprobación de un Código Técnico de la Edificación (CTE) que estableciera las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, y por tanto de los elementos que sobre él se instalen como son los acristalamientos de vidrio (5).

Para responder al requisito de seguridad de impacto contra elementos frágiles como el vidrio, el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA) del CTE establece las zonas críticas de un edificio en las cuales, por su riesgo potencial, en caso de emplear acristalamientos con vidrio, éstos deben ser "vidrios de seguridad". El DB-SUA establece como método de referencia para catalogar la seguridad de una placa de vidrio el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 12600:2003 (6).

La inexistencia actual de soluciones aceptables que se ajusten a la exigencia de seguridad planteó la realización de un estudio que condujera a la obtención de las mismas, bien sea por experimentación o mediante modelos matemáticos. Para ello ha sido necesario construir un péndulo de impacto, que cumpliendo con la norma, permita adaptar las distintas configuraciones constructivas que los acristalamientos presentan en los edificios y medir variables que alimenten el modelo matemático.

Este trabajo presenta los criterios propuestos para diseñar y construir un banco de ensayos que cumpla con la calibración exigida por la norma y además permita repetibilidad para todas las condiciones de ensayo.

2. ESTADO DEL ARTE

Para la evaluación en los vidrios en relación con aspectos tales como comportamiento, seguridad, resistencia, etc. el método de ensayo empleado es el impacto de cuerpo blando, que se basa en impactar una cabeza pendular sobre una placa de vidrio soportada por una bancada. En la máquina de impactos de cuerpo blando se diferencian por tanto dos estructuras principales: la cabeza pendular de impacto y el banco soporte del vidrio.

La revisión bibliográfica ofrece diferentes experiencias sobre estas dos estructuras. En referencia a la cabeza pendular de impacto, en los años 60, los países europeos se basaban inicialmente en la norma americana (7) que empleaban una cabeza pendular tipo "saco" ("lead shot bag"). Éstas se rellenaban de diferentes materiales (esferas de plomo, de vidrio o arena), con y sin compactación. Esta variabilidad generó problemas con la repetibilidad en los impactos (8), que sólo se reducían tras fijar un proceso de fabricación de la cabeza pendular bien establecido y documentado. Además, el plomo generaba problemas de contaminación y la piel del saco modificaba rápidamente sus propiedades (9). Estas circunstancias llevaron a la necesidad de investigar y encontrar una nueva cabeza de impacto que aportara repetibilidad, reproducibilidad y que además mantuviera la clasificación existente en los vidrios.

Miembros del ISO/TC 160 Subcomité 2 WG 6 "Safety glazing tests" han realizado una considerable cantidad de ensayos para el desarrollo y clasificación de acristalamientos de seguridad.

Sus objetivos, entre otros, han sido: desarrollar una cabeza de impacto que permitiera la reproducibilidad, solventar los problemas de calibración y establecer la equivalencia entre un nuevo impactador y el ya conocido de tipo saco, evaluando placas laminadas y templadas de vidrio de 6 mm de espesor (10). Tras diferentes estudios, variando configuraciones, presiones de inflado en neumáticos, masas de impacto, patrones de rotura y clasificaciones de vidrios impactados, el Comité Europeo de Normalización (CEN/TC129/WG13) optó, en la redacción de la norma UNE-EN 12600, por una cabeza de impacto de doble neumático de masa 50 kg con una presión de 3,5 bar constante para todas las alturas de impacto (9).

Posteriormente el interés ha continuado y Oketani et al. (8) ha realizado estudios en relación al problema de las distintas cabezas de impacto, proponiéndose tres puntos: clarificar la reproducibilidad del impactador tipo saco fabricado según Norma Japonesa (11); establecer la correspondencia entre el impactador de doble neumático y el de tipo saco y clarificar el mantenimiento de la cabeza pendular tipo saco por medios visuales. En sus estudios encontró que para 5 impactadores realizados por diferentes miembros aparecieron variaciones inferiores al 10%, teniendo los valores máximos en las alturas de impacto superiores. Para una placa monolítica de vidrio de 15 mm de espesor Oketani encontró una variación de un 8% tras 800 impactos. Los estudios concluyen: considerando buena la reproducibilidad del impactador tipo saco si éste es fabricado según los criterios de la norma japonesa, estableciendo una posible equivalencia entre los impactadores tipo saco y de doble neumático, y estableciendo los 1000 impactos como referencia en la frecuencia del control visual del impactador tipo saco.

Jacob et al. (10) también estudió comparativamente ambas cabezas de impacto, observando micro deformaciones en la placa de vidrio de un 30% a un 60% mayores para el impactador tipo saco que para el de doble neumático, con faltas de repetibilidad de hasta un 15%; además, todos los vidrios templados ensayados con el impactador tipo saco rompieron, mientras que no se produjo ninguna rotura del vidrio templado ensayado con impactador de doble neumático. Schneider et al. (12) comprobaron que las cargas dinámicas generadas por impactos humanos son dos o tres veces menores que las de un péndulo de doble neumático, aunque los impactos humanos presentan variaciones de un 30% a un 80%.

Por otro lado, en referencia al banco soporte de las placas de vidrio para los ensayos, la bibliografía no presenta estudios o comparativas en detalle, aunque sí expone el problema común de la falta de rigidez. Diferentes experiencias en distintos bancos de ensayos ponen de manifiesto que variaciones en la estructura soporte pueden desembocar en diferencias de energía transferidas al vidrio en los impactos. Este problema, que inicialmente se intentó solucionar modificando la fuerza de agarre del vidrio, su posición y tamaño, realmente revela ciertas carencias de la UNE EN-12600 (9).

3. CARACTERÍSTICAS DEL PÉNDULO DE IMPACTO DE LA NORMA UNE-EN 12600

La normativa trata de homogeneizar a nivel europeo los ensayos de impacto de cuerpo blando, a fin de poder comparar los resultados y establecer un criterio común. Uno de los tres aspectos fundamentales de la norma son "los requisitos de ensayo", que contemplan tres partes diferenciadas: las probetas

de ensayo, el procedimiento de ensayo de impacto y el aparato o máquina de ensayo. Sobre los dos primeros, la norma no ofrece ambigüedad alguna ya que define pormenorizadamente las probetas a ensayar y el procedimiento. Sin embargo, en lo referente al aparato o máquina de ensayo la norma sólo plantea los requisitos de calibración que éste debe cumplir, sin establecer criterios de diseño que ayuden y orienten en la fabricación del banco de ensayos necesario para su realización.

La revisión de otras normas de procedimiento de ensayo para impactos, como por ejemplo la norma de Ensayos de flexión por choque con probeta Charpy (13) y la Norma Japonesa (11) denota la insuficiencia de la UNE-EN 12600 respecto a informaciones que no refleja, como son: perfilera empleada en el banco de ensayos, dimensiones mínimas de la cimentación a emplear, número y posición de anclajes del banco de ensayos a la cimentación para asegurar una rigidez suficiente, tolerancias constructivas, medida de la repetibilidad y error del péndulo, etc. Estos aspectos deberían definirse en el futuro para facilitar la homogeneización de resultados en diferentes laboratorios.

4. CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO DE UN PÉNDULO DE IMPACTO

De la evaluación de las experiencias previas y de la bibliografía, se extraen las dificultades en el diseño de un banco de ensayos válido y se proponen los criterios de diseño básicos que deben cumplirse a fin de abordar satisfactoriamente la fabricación de un banco de ensayos para un péndulo de impactos.

4.1. Independencia entre el péndulo de impacto y el banco de ensayos.

La normativa deja a criterio del diseñador, emplear una estructura secundaria para suspender el péndulo de impacto o utilizar el banco soporte del vidrio. Con el fin de no añadir perturbaciones adicionales en las medidas de las deformaciones de las placas de vidrio en el ensayo, se propone como criterio de diseño la independencia estructural entre el banco y el péndulo de impacto. Además, la separación física entre ambos reduce la masa del banco y, por tanto, los requisitos de masa de la cimentación de reacción que suele ser del orden de 40 veces la del banco de ensayos.

4.2. Control de la energía introducida al sistema en el impacto.

La norma UNE-EN 12600 no define el sistema de sujeción y suelta de la cabeza pendular, permitiendo un amplio rango de soluciones, es decir, desde un sistema sofisticado de sujeción y suelta al sencillo método de sostener el péndulo a mano y liberarlo sin velocidad inicial. El último método introduce amplia incertidumbre en la energía de impacto del ensayo y no asegura repetibilidad en los mismos. Por esto, se propone como criterio de diseño que la solución que se adopte debe contener, al menos, tres elementos: un dispositivo que registre el ángulo del péndulo con la vertical y que permita su adecuado posicionamiento inicial, un dispositivo sencillo, como poleas, que permita la elevación del péndulo de impacto hasta la altura requerida y un sistema fusible que permita una suelta suave sin velocidad inicial. Estos elementos permitirán controlar adecuadamente la energía que se introduce en el sistema y por tanto alcanzar repetibilidad y reproducibilidad entre diferentes laboratorios.

4.3. Rigidez del banco de ensayos.

Un comportamiento dinámico adecuado del banco de ensayos en los impactos, será aquél que distribuya la energía de la cabeza del péndulo de impacto de forma que se maximice la parte que el vidrio absorbe y se minimice la que el pórtico recibe. Esto requiere que el banco de ensayos debe comportarse de forma cuasi-estática ante el impacto, es decir, que los modos de vibración del banco que contribuyen en la respuesta no deben amplificarse, para lo cual, el rango de frecuencias asociadas a la excitación del péndulo al impactar no debe coincidir con las frecuencias propias de los modos de vibración del banco.

La bibliografía muestra diferentes aproximaciones del impacto de cuerpos blandos contra placas de vidrio: impactos con *dummies*, simulaciones numéricas e impactos con diferentes cabezas pendulares (8,9,10,14, 15). A pesar de las diferentes soluciones, todas ellas coinciden en la forma de la historia temporal del impacto y en el orden del tiempo de duración del mismo, entre 45 y 60 ms aproximadamente (16). La estimación del contenido en frecuencia de estos registros temporales muestra cómo el contenido en frecuencia de los impactos se minimiza a partir de los 40 Hz, es decir, los modos de vibración del conjunto banco-vidrio asociados a frecuencias superiores a este umbral prácticamente no se amplificarán en los impactos (17).

Por otro lado, una estimación de las frecuencias naturales para el primer modo de vibración en placas de vidrio de dimensiones similares a las que permite ensayar el banco con diferentes condiciones de contorno y para diferentes espesores (18), presentan frecuencias por debajo de los 40 Hz, lo que indica, que el primer modo de la placa de vidrio será excitado en el impacto y será el que mayor Factor de Contribución Modal (F.C.M.) tendrá en la respuesta y mayor energía absorberá.

Por todo lo anterior, con un diseño del banco donde sus modos de vibración con mayor contribución modal en la respuesta para la excitación del péndulo, tengan frecuencias por encima de los 50 Hz, se logrará "conducir" la energía del impactador a las placas de vidrio, facilitándose además la reproducción de resultados con distintos bancos de ensayos, permitiendo así homogeneizar la clasificación de placas de vidrio en cualquier laboratorio.

Introduciendo los criterios de: independencia entre el banco de ensayo y el péndulo de impacto, control de la energía introducida en el sistema y control de rigidez del banco de ensayo, se llevará a cabo el diseño de un péndulo de impacto según UNE-EN 12600 y su correspondiente calibración.

5. DISEÑO DE BANCO DE ENSAYO SIGUIENDO LOS CRITERIOS BÁSICOS PROPUESTOS

Para el diseño del banco de ensayos se emplearon técnicas de modelado con elementos finitos (E.F.). A fin de lograr una adecuada rigidez del banco y lograr que las frecuencias propias de los modos de vibración permitieran una distribución adecuada de la energía durante el impacto, se realizó un prediseño inicial básico que reveló la importancia de un adecuado anclaje del banco a la cimentación. El análisis reveló cómo para el mismo modelo con diferente número de puntos de anclaje, 4 y 10 puntos, se encontraron diferencias en la rigidez de hasta 7 veces (17). Con el modelo inicial de E.F. se identificaron además los dos modos con mayor contribución en el impacto, es decir, el modo de flexión en la dirección de impacto y el modo de torsión global del banco (figura 1).

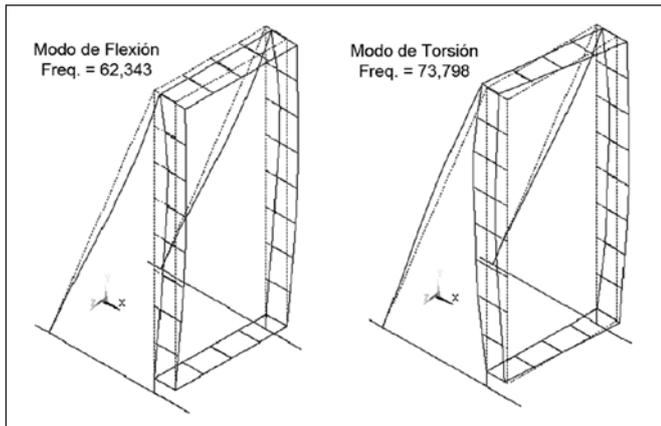


Figura 1. Forma modal de modos principal de flexión y torsión de banco de ensayo. Sergio Postigo Pozo

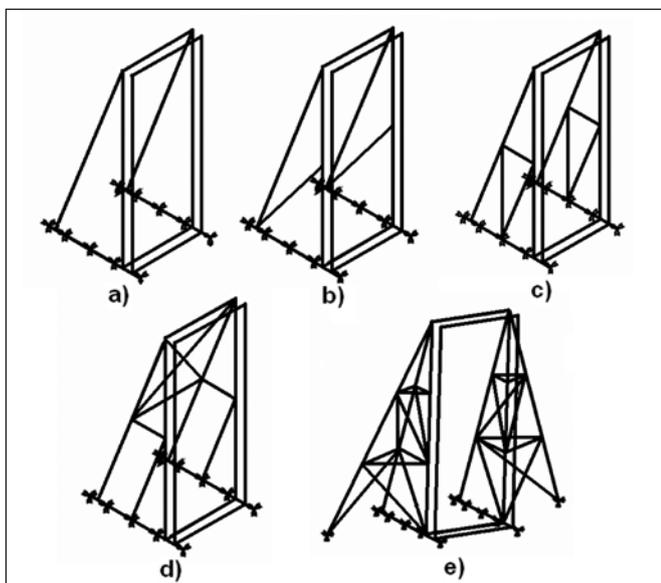


Figura 2. Diferentes propuestas de diseño estudiadas para el banco de ensayos. Sergio Postigo Pozo

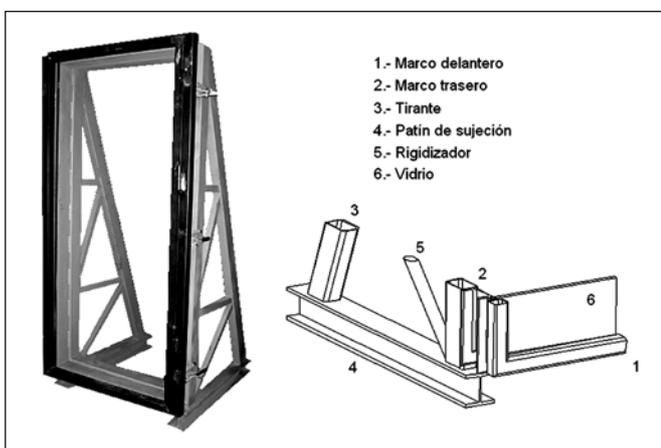


Figura 3. Esquema del diseño final del pórtico de sujeción de las placas de vidrio. Sergio Postigo Pozo

Para la rigidización de estos dos modos se evaluaron nuevos modelos de E.F. de distintas configuraciones constructivas con diferente complejidad en la fabricación, operatividad en la realización de ensayos y rigidez estructural (figura 2). Finalmente, se optó por continuar la evolución del esquema de diseño c), que, sin complicar la fabricación, permitía un fácil acceso a la parte anterior y posterior del vidrio y ofrecía valores de frecuencias superiores a los 50 Hz.

Después de sucesivas etapas de cálculo y rediseño, se adoptó como diseño final el mostrado en la figura 3. Todas las uniones de la periferia del banco de ensayos se realizaron por soldadura y la unión del banco a la cimentación se realizó en 10 puntos por patín, agrupados en parejas y separados entre ellos 15 cm aproximadamente, siendo posteriormente reforzada hasta en 7 puntos más por problemas en la ejecución del anclaje inicialmente propuesto.

La figura 4 muestra las deformadas modales y las frecuencias de los 8 primeros modos para un modelo de elementos finitos del diseño final propuesto, soportando una placa de vidrio de 10 mm de espesor. Se observa que el primer modo de flexión de la placa de vidrio (37,88 Hz), una de las que mayor rigidez presenta entre las ensayadas y que la norma UNE-EN 12600 propone como probeta de calibración, presenta frecuencias un 58% inferiores al modo de flexión principal del banco (FPB = 89,78 Hz). Esto muestra cómo el diseño propuesto permite desacoplar la respuesta del banco de ensayos y las placas de vidrio, consiguiendo una distribución adecuada de la energía.

6. COMPROBACIONES DEL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE ENSAYOS

6.1. Comprobaciones previas a la campaña de ensayos de impactos

Antes de iniciar la campaña de ensayos de impactos se realizaron dos comprobaciones previas a fin de asegurar el buen funcionamiento del banco: la calibración del banco de ensayos para cumplir con la norma y la verificación de la integridad del banco tras impactos de máxima energía para comprobar que no existe degradación.

FTB Freq.: 16.37 Hz	1º Modo Vidrio Freq.: 37.88 Hz	2º Modo Vidrio Freq.: 52.31 Hz	FTST Freq.: 57.23 Hz
FTAT Freq.: 59.03 Hz	3º Modo Vidrio Freq.: 75.41 Hz	FTAC Freq.: 78.42 Hz	FPB Freq.: 89.78 Hz

Figura 4. Modelo de elementos finitos: Modos y frecuencias del banco de ensayo anclado y de la placa de vidrio de 10 mm. Sergio Postigo Pozo

La norma UNE-EN 12600 establece los niveles de deformación que debe presentar una placa monolítica templada de vidrio sodocálcico de 10 mm de espesor apoyada en todo su contorno para diferentes alturas de caída del péndulo de impacto. Con el fin de asegurar la calibración del banco de ensayos de acuerdo con la normativa UNE-EN 12600, se realizó una calibración al inicio de la campaña de ensayos de impacto (T10-A-4L) y otra al final de la misma (T10-C-4L). La figura 5 muestra las deformaciones máximas verticales y horizontales medidas en el centro de estas dos placas impactadas desde diferentes alturas de caída del péndulo (100, 190, 200, 250, 300, 450, 700, 900 y 1150 mm).

Durante el desarrollo del banco de ensayos se determinaron las características dinámicas del mismo. Las funciones de Respuesta en Frecuencia (F.R.F.), determinadas a partir de ensayos modales, es una herramienta útil para asegurar la estabilidad de un sistema mecánico, de forma que un cambio en las F.R.F. se pueden identificar con un cambio determinado en el sistema. La figura 6 muestra tres F.R.F. del banco en diferentes estados: con la sujeción inicial, con la sujeción degradada y con la sujeción reparada. El banco de ensayos, debido a deficiencias en la instalación inicial sobre la bancada, tuvo que ser reparado tras el deterioro producido en los primeros impactos. Tras la reparación, la F.R.F. se estabilizó marcando la validez del banco instalado.

6.2. Comprobaciones finales. Repetibilidad

A fin de mostrar que los criterios básicos de diseño conducen a un diseño final válido para la realización de campañas de ensayos de cuerpo blando según la norma UNE-EN 12600, se presenta la repetibilidad de los impactos para las diferentes variaciones de acristalamientos ensayadas, a saber, configuraciones de acristalamientos rígidos y flexibles, de vidrio laminado y monolítico, con placas de vidrio de iguales características físicas y condiciones de sujeción. También se muestra la repetibilidad para diferentes alturas de impacto.

6.2.1. REPETIBILIDAD PARA CONFIGURACIONES RÍGIDAS Y FLEXIBLES

La figura 7 muestra seis impactos de 450 mm sobre tres placas diferentes. Una placa templada de 10 mm de espesor apoyada en todo el contorno (T10 4L), una placa templada de 5 mm apoyada en todo el contorno (T05 4L) y una placa de 10 mm apoyada en 4 puntos (T10 4P). Las placas se corresponden respectivamente con la configuración de mayor rigidez, de rigidez intermedia y de menor rigidez ensayadas. En la figura se observa la gran repetibilidad entre los impactos para las diferentes configuraciones, con diferencias máximas del 3%.

6.2.2. REPETIBILIDAD EN VIDRIOS LAMINADOS Y MONOLÍTICOS

Otra característica diferenciadora en las placas ensayadas es que sean de vidrio laminado o monolítico. La figura 8 presenta 4 impactos de 135 mm de altura sobre dos placas de vidrio apoyadas en todo su contorno: una de vidrio laminado, compuesta por dos láminas de 5 mm (L55 4L) y otra placa de vidrio monolítico de 10 mm de espesor apoyada en todo su contorno (T10 4L). Se observa una repetibilidad superior al 97.5% en ambas placas. Además, se aprecia un resultado muy parecido en el orden de magnitud, ya que ambas configuraciones tienen rigideces similares.

6.2.3. REPETIBILIDAD A DIFERENTES ALTURAS DE IMPACTO

Otro parámetro que muestra gran variabilidad en los ensayos es la altura de impacto, que en los ensayos estuvo comprendida en un rango entre 25 y 1200 mm. La figura 9 muestra 6 impactos sobre dos placas de vidrio monolíticas de 5 mm de espesor apoyadas en todo su contorno (T05 4L A y B). En este caso, se observa una repetibilidad superior al 98 % para las tres alturas de ensayo, que reflejan impactos de baja, media y alta energía.

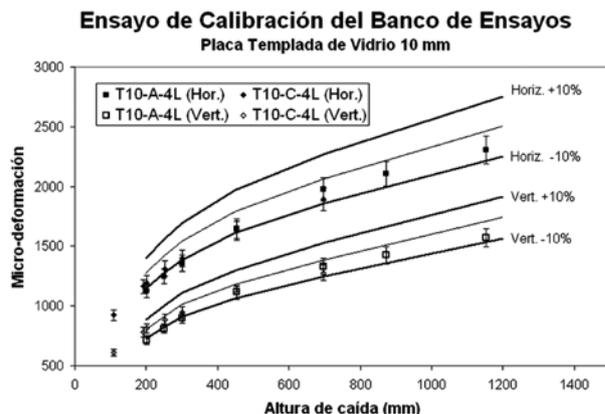


Figura 5. Calibración del banco de ensayos de impactos según UNE-EN 12600. Placa templada monolítica de vidrio de 10 mm de espesor. Sergio Postigo Pozo

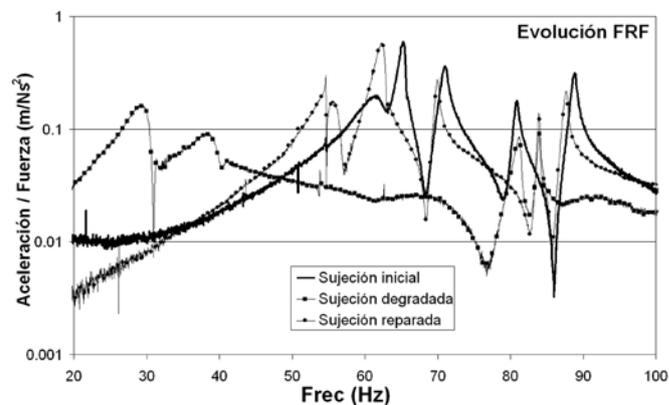


Figura 6. Evolución de la F.R.F. en placa de vidrio templada apoyada en todo su contorno (T10-4L) tras degradación y reparación de la fijación del banco. Sergio Postigo Pozo

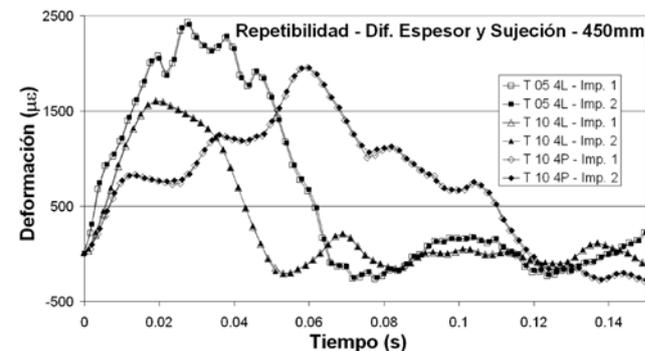


Figura 7. Repetibilidad para impactos de 450 mm de altura en configuraciones de acristalamientos rígidos y flexibles. Diferentes espesores (5 y 10 mm) y sujeciones (4 lados y 4 puntos). Sergio Postigo Pozo

6.2.4. REPETIBILIDAD EN PLACAS DE IGUALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CON IGUALES SUJECIONES

Las posibles variaciones entre diferentes probetas de iguales características físicas en la misma configuración de sujeción también pueden ser contempladas en la figura 9, que muestra el alto nivel de repetibilidad (mayor del 98%) logrado entre dos probetas monolíticas templadas similares de 5 mm de espesor (T05 4L A y B) impactadas a tres alturas diferentes.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se proponen tres criterios básicos a tener presentes en el diseño y fabricación del banco soporte de las placas de vidrio para ensayos de impactos de cuerpo blando en vidrios de seguridad. Las diferentes propuestas son el resultado de considerar criterios dinámicos de diseño, que no parecen valorados por la normativa aunque se trate de impactos en vidrios.

Con el fin de evitar un diseño incorrecto e incurrir en la no-reproducibilidad entre diferentes laboratorios, se realiza la siguiente propuesta:

- Independizar el péndulo y el banco de ensayos, para evitar perturbaciones en las medidas de los impactos y disminuir las necesidades en la cimentación.
- Controlar la energía introducida en cada impacto a partir de un sistema que permita registrar la altura del péndulo en cada momento, elevar el péndulo hasta la altura adecuada y liberarlo de forma controlada.

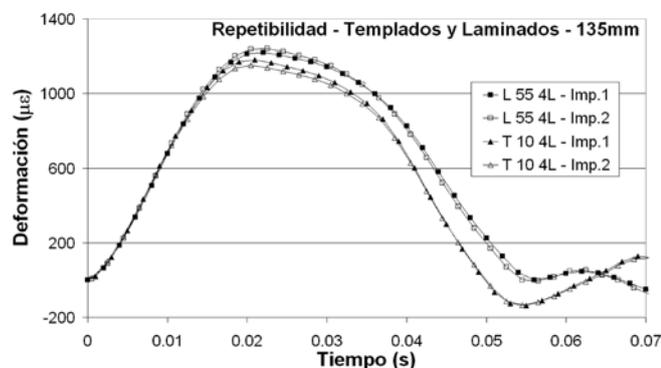


Figura 8. Repetibilidad para impactos de 135 mm de altura en configuraciones de acristalamientos de vidrio templados y laminados. Iguales espesores (5+5 y 10 mm) y sujeciones (4 lados). Sergio Postigo Pozo

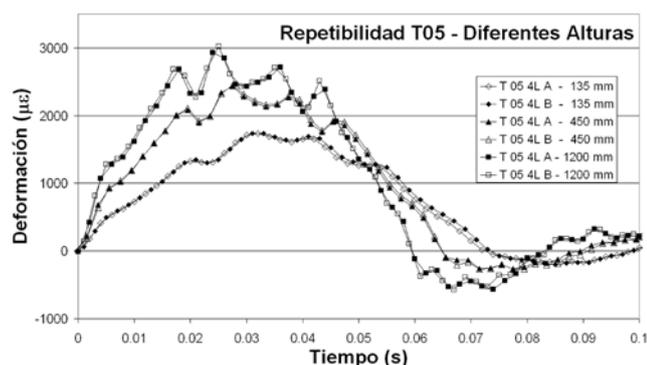


Figura 9. Repetibilidad entre impactos de 135, 450 y 1200 mm de altura para dos placas de vidrio templado monolítico de 5 mm de espesor con sujeciones en todo su contorno. Sergio Postigo Pozo

- Rigidizar adecuadamente el banco de ensayos y conseguir un adecuado anclaje del mismo a la cimentación. Para un banco con una frecuencia natural del modo con mayor factor de participación modal en la respuesta de 50 Hz quedaría asegurada la adecuada distribución de la energía del impacto entre el banco y el vidrio ensayado.

Con estos criterios básicos propuestos se ha diseñado y fabricado un banco de ensayos que ha superado la calibración exigida por la norma UNE-EN 12600.

Se han presentado resultados satisfactorios de estabilidad del banco en la campaña de ensayos y se ha mostrado una repetibilidad superior al 97% entre diferentes configuraciones de placas de vidrio, diferentes tipologías de vidrios, diferentes alturas de impacto y distintas placas con igualdad de características físicas y de sujeción. Dada la robustez del sistema, se tiene confianza en que las diferencias obtenidas en los registros temporales de cada ensayo son función de las características del vidrio y de las condiciones de contorno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto BIA 2003-07022 titulado "Seguridad ante impacto humano en acristalamientos en edificaciones" del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS

- (1) REAL DECRETO 1630/1992, de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE (B.O.E. 9-2-93)
- (2) REAL DECRETO 1328/1995, de 28 de julio, por el que se modifican, en aplicación de la Directiva 93/68/CEE las disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, aprobadas por el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre. (B.O.E. 19.8.95)
- (3) 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 los productos de construcción [Diario Oficial L 40 de 11.02.1989]
- (4) Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la edificación (LOE), BOE de 6 de noviembre de 1999.
- (5) Código Técnico de la Edificación (CTE) – Documento de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB SUA), 2006.
- (6) UNE-EN 12600-2003. "Vidrio para la edificación. Ensayo pendular. Método de ensayo al impacto y clasificación para vidrio plano". Asociación Española de Normalización y Certificación. (2003)
- (7) ANSI Z97.1 Standard - Safety Glazing Materials Used in Buildings - Safety Performance Specifications and Methods of Test (2009)
- (8) Y. Oketani, M. Kikuta y S. Aratani "Experimental study of shot bag impactors for international standardization". Glass Processing Days (2003)
- (9) F. Serruys, G. Marcke y J.B. Waldron "CEN-Impact test prEN 12600". Glass Processing Days. (June 1999)
- (10) L. Jacob, S.D. Phillip, S. Rice y J. Yang "ISO Safety glass impact test developments". Glass Processing Days. (2003)
- (11) Japanese Standard, "Japanese Industrial Standard (JIS R 3205:1998): Laminated Glass". Japanese Standards Association. (1998)
- (12) J. Schneider y J.D. Wörmer. "Impact loading on glass panes by soft body impact. Theoretical analysis and experimental verification". Glass Processing Days. (June 2001)
- (13) UNE 7475-2:1993 "Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque con probeta Charpy. Parte 2: verificación de la máquina de ensayo (péndulo)". Asociación Española de Normalización y Certificación. (1993)
- (14) R.V. Foss, T. Murakami, M. Kikuta y S. Aratani "Safety glass testing: human head impactor simulation by dynamic transient analysis". Glass Processing Days. (Junio 1999)
- (15) R. Rück y M. Weschler. "Rechnerische Erfassung des Pendelschlagversuchs mit einer Glasscheibe". ["Numerical simulation of the pendulum test with a glass plate"] Otto-Graf-Journal. Vol. 11. pp:109 - 122. (2000)
- (16) D. Bormann "FEM New ways in glass design and engineering". SJ Software GmbH. Aachen, Germany (2001)
- (17) R. Claramunt, S. Postigo, R. Perera, A. Pacios y C. Huerta "Seguridad ante impacto humano de acristalamiento en edificaciones". Bol. Soc. Esp. Ceram. V. Vol.: 44 (5) pp: 286-290 (2005)
- (18) R.D. Blevins. "Formulas for Natural Frequency and Mode Shape". Krieger Publishing Company. ISBN-13: 978-1575241845 (1979)
- (19) Brendler, S. "Computational design program for fall-protecting glass plates". Dissertation, TU Braunschweig. (2007) [in German].

Recibido: 27/05/2011

Aceptado: 21/9/2011