

# tratamiento de protección

## para tuberías de hormigón pretensado a base de resinas sintéticas (epoxi y poliuretano)

FRANCISCO SORIA SANTAMARIA, Dr. en Química Industrial  
MANUEL OLAYA ADAN, Lcdo. en Ciencias Físicas

539 - 22

### **sinopsis**

Entre los distintos sistemas de protección contra el fenómeno de corrosión bajo tensión, se encuentran aquellos que tratan de impedir físicamente que el agente corrosivo llegue al acero pretensado. Este es el caso de las impermeabilizaciones mediante membranas a base de resinas sintéticas.

En el artículo se describen distintos ensayos a que deben someterse este tipo de membranas en lo que respecta al hormigón-soporte. Es preciso, además, adaptarse a las particularidades propias del tipo de obra a que van destinadas.

El objetivo de los ensayos ha sido el mostrar la idoneidad de resinas sintéticas de epoxi y de poliuretano, específicamente formuladas para unas funciones concretas.

Se establecen tres tipos de soluciones mediante el empleo de las citadas resinas, en el caso de protección, respecto a líquidos «agresivos» provenientes del exterior en conducciones de agua, sometidas a altas presiones, en tuberías de hormigón pretensado. Asimismo se proporcionan detalles de una obra concreta, en la que se empleó una de las soluciones citadas.

## **1. INTRODUCCION**

Una de las soluciones al problema de transporte de agua ha sido, en este siglo, el empleo de la tubería de hormigón pretensado. El planteamiento específico de una determinada obra aconseja, en consecuencia, el uso del citado tipo de conducción. No obstante, este uso obliga a que se optime la calidad de un fabricado, del que su deterioro, aunque estadísticamente muy improbable, lleve implícitas consecuencias, a veces desastrosas; por ello tanto fabricante como usuario han creído preciso crear una colaboración para establecer una normativa, con una investigación previa sobre el tema.

El fenómeno que contribuye de forma esencial al deterioro y posterior rotura de un elemento de tubería pretensada es la corrosión, bajo tensión, la cual, aunque, hoy por hoy, poco conocida en sus causas, parece ser que encuentra un desarrollo efectivo en medios químicamente agresivos. Por esto cabe pensar que una de las aportaciones a la solución del problema se basa en el estudio de los recubrimientos de protección, unas veces sobre la superficie exterior del elemento, y otras sobre el propio alambre de pretensado.

Con este fin se encomendó a un grupo de trabajo desarrollar un tema de investigación, que tuviera como fin recabar conclusiones sobre la eficacia de los productos de protección y puesta en obra de los mismos para solucionar el problema.

Las ideas básicas sobre la protección del hormigón contra el ataque de agentes químicos, mediante revestimientos de todo tipo, son objeto de una amplia bibliografía, entre la que cabe destacar las referencias que figuran al final de este artículo.

Adoptar una solución para un problema específico como el de los tubos de presión requerirá, en cualquier caso, el asesoramiento de los fabricantes de productos de revestimiento, la experiencia de los aplicadores y, por supuesto, la realización de ensayos experimentales.

La labor a realizar quedó planteada tratando de cubrir el estudio de los tres aspectos siguientes:

- protección exterior del tubo;
- protección de la zona intermedia;
- protección del acero de pretensado.

## 2. PLANTEAMIENTO GENERAL

Con estas premisas se esbozó un plan de ensayos que puede considerarse como un primer paso para deducir algunas conclusiones que permitan tomar decisiones más definitivas en el futuro.

De acuerdo con este plan se han previsto los ensayos que a continuación se detallan, sobre una serie de tubos-modelo preparados por la empresa S.A.E. Tubo Fábrica, de las siguientes características y dimensiones: una camisa interior de acero de 6-9 mm de espesor, una capa de hormigón y un arrollamiento de alambre pretensado de 5 mm de diámetro (fotografía núm. 1). Estos tubos, una vez terminados de confeccionar en el I.E.T.c.c. como se indica más adelante, sirven de base a los distintos tipos de tratamientos con resinas y son sumergidos en baños agresivos para conocer su comportamiento y durabilidad.



1

En definitiva, los ensayos planteados fueron:

- a) Ensayos de durabilidad química.
- b) Ensayos mecánicos destructivos:
  - Ensayo de arrancamiento.
  - Ensayo de desgaste por abrasión.
  - Ensayo de impacto.
  - Ensayo de resistencia a la fisuración.
- c) Ensayos acelerados de corrosión bajo tensión recubiertos con resinas sobre alambres.

Las resinas sometidas a ensayo fueron seleccionadas en base a que ya habían sido aplicadas al caso específico objeto del tema, en el canal de Valdemayor (Majadahonda), en la protección exterior de ciertos tramos (de dicha experiencia se expone un apartado al final de este trabajo). También se dedica otro apartado al capítulo de costos (en una determinada fecha).

### 3. ENSAYO DE DURABILIDAD QUIMICA

#### 3.1. Objeto

Este ensayo, que se lleva a cabo sobre los tubos-modelo antes mencionados, persigue buscar ideas sobre el comportamiento real de los distintos tipos de protección frente a los medios agresivos de tipo químico más frecuentes.

#### 3.2. Planteamiento

Se eligieron dos medios agresivos, considerados como idóneos por ser los más extendidos y característicos en el contexto de la geografía española:

- Disolución saturada de yeso en agua (2 g/l).
- Agua de mar artificial (según norma ASTM).

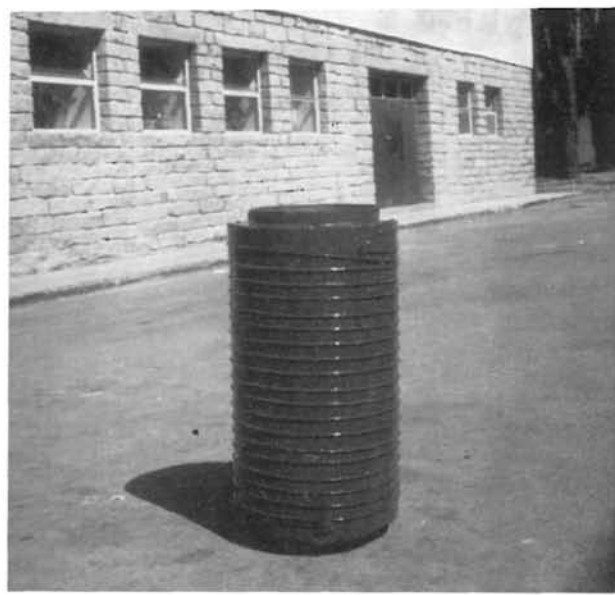
**2**



**3**



5



4



6



Un tercer medio de conservación es el agua destilada, que se considera medio de control.

Puesto que se fijó la atención sobre dos tipos de resinas distintos (resinas de poliuretano y de epoxi) aplicados en dos zonas diferentes (exterior e intermedia), y teniendo en cuenta que los medios de conservación son tres, el número de tubos ensayados será de  $3 \times 2 \times 2 = 12$ , más otros tres de control (sin ningún tipo de revestimiento); en total, 15 tubos.

Los recipientes de conservación, según se puede apreciar en las fotografías números 2 y 3, son unos baños de fibrocemento, previamente revestidos en su interior con un recubrimiento anticorrosivo y provistos de una tapa para evitar la evaporación. Las dimensiones de estos baños son de  $100 \times 60 \times 50$  cm.

### 3.3. Desarrollo del trabajo

De los tubos disponibles, sobre seis de ellos, tal como aparecen en la fotografía número 1, se realizó la protección sobre la espiral de alambre de la siguiente forma:

- Tres se revistieron con resina epoxi de nominación IR-5003-S, incolora, fabricada en Ginebra (Suiza), idónea, según ficha técnica para este tipo de aplicación. Previamente a la aplicación se efectuó una limpieza del alambre con disolvente, y un cepillado con cepillo de raíces vegetales para eliminar el polvo y material poco adherido.

Inmediatamente se aplicó una capa de imprimación de las siguientes características:

- 60 % de componente A;
- 40 % de componente B;
- 10 % (referido al total anterior) de diluyente.

Al cabo de tres horas y media se dio una segunda capa, también con brocha, de las características anteriores, pero sin diluyente (resina pura).

Acabada la aplicación, el tubo queda como se observa en la fotografía número 4.

- b) Revestimiento de tres tubos con resina de poliuretano de nominación IR-3360 rojo, idónea, según ficha técnica para este tipo de aplicación.

La preparación del soporte (limpieza del alambre y cepillado) se hizo en las mismas condiciones que en el caso anterior.

La capa de imprimación presenta las siguientes características:

- 80 % de componente A;
- 20 % de componente B;
- 7 % (referido al total anterior) de diluyente.

La aplicación se efectuó con brocha.

Al cabo de las tres horas se dio una segunda capa, también con brocha, de las características anteriores, pero sin diluyente (resina pura).

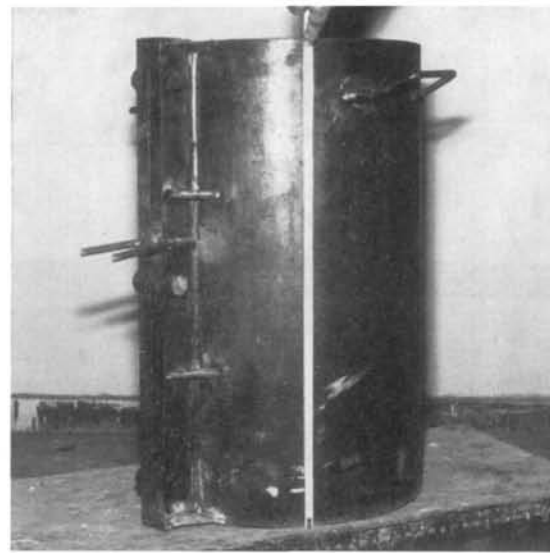
Acabada la aplicación, el tubo queda como se observa en la fotografía número 5.

La fotografía número 6 permite apreciar ambos tipos de aplicaciones (epoxi y poliuretano).

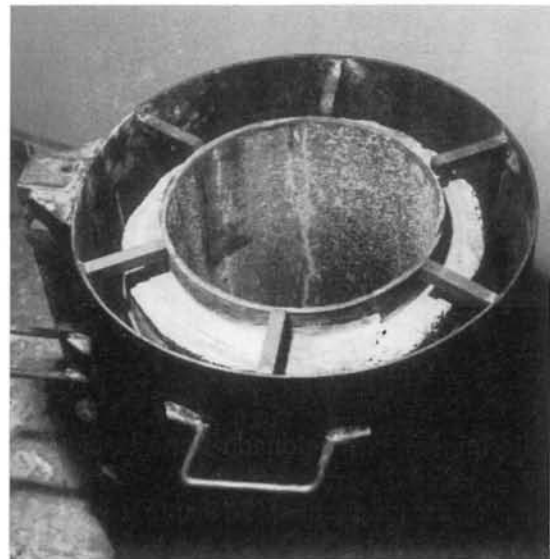
En todas estas aplicaciones participaron la entidad IRETSA y el I.E.T.c.c.

Una vez recibido el molde (fotografías núms. 7 y 8), se estudió el sistema más adecuado para la colocación de la capa final de hormigón en todos los tubos.

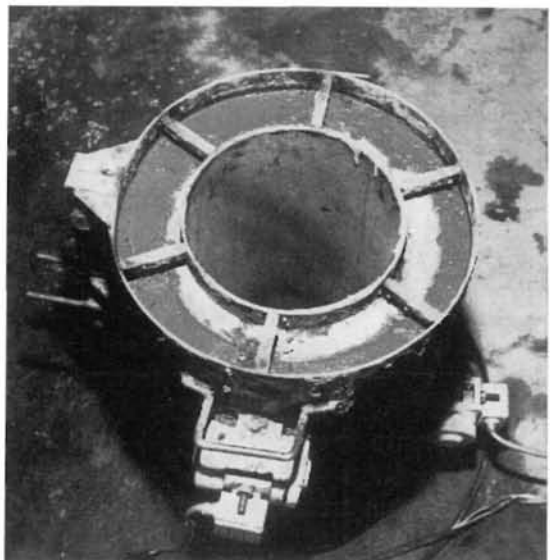
Como consecuencia de este estudio, se llegó a la conclusión de que lo más idóneo sería colocar tres vibradores en la superficie exterior del molde como se señala en las fotografías números 9 y 10. La práctica demostró que el tercer vibrador (parte superior) no era necesario para conseguir una buena compactación del hormigón.



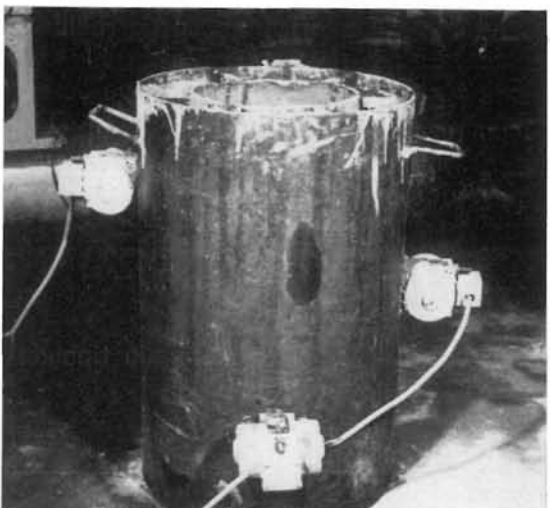
7



8

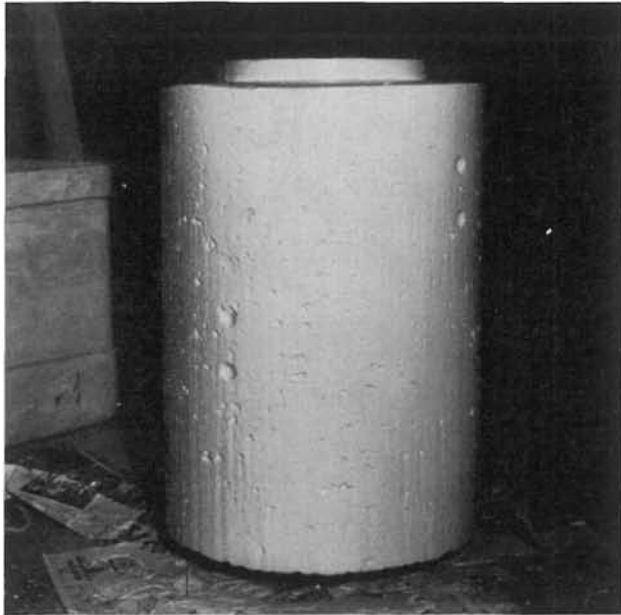


9



10



**11****12**

El hormigón confeccionado tiene la siguiente composición:

- 60 kg de piñoncillo (5-10 mm);
- 14 kg de arena de río (< 5 mm);
- 38 kg de cemento;
- 11 litros de agua.

Una vez terminada la capa de hormigón, los tubos se mantuvieron en el ambiente del laboratorio ( $20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  de h.r.) hasta su inmersión en los medios agresivos correspondientes.

El hormigón de la capa exterior se preparó en el Departamento de Materiales de Construcción del I.E.T.c.c.

Con las operaciones expuestas en párrafos anteriores quedaba por realizar una segunda parte, que consiste en someter a un tratamiento de protección exterior a seis tubos de los ya hormigonados en su totalidad, según se estableció en el planteamiento. A este efecto se procedió de la siguiente forma:

Después de un tratamiento previo de la superficie exterior del hormigón con cepillo de raíces, se revistieron:

- Tres tubos con imprimación de resina epoxi IR-5023 con 80 % de componente A, 20 % de componente B y 7 % de diluyente, y posterior membrana del 80 % de componente A y 20 % de componente B del mismo tipo de resina (color blanco crema).
- Tres tubos con revestimiento exterior a base de poliuretano con nominación IR-3360 (color rojo). Imprimación del 80 % de componente B, 7 % de diluyente, y posterior membrana del 80 % de componente A y 20 % de componente B, nominación IR-3361 (color gris plomo).

En las fotografías números 11 y 12 se puede apreciar el estado de los tubos una vez terminados.

Se dejaron tres tubos sin ningún tipo de tratamiento para que sirvieran de control.

Una vez completados y revestidos todos los tubos se procedió a sellar sus embocaduras con discos del mismo diámetro que el tubo metálico, revistiendo éstas, a su vez, con resina, a fin de evitar su corrosión.

Las embocaduras se sometieron a una limpieza profunda con chorro de arena, realizando la imprimación y una membrana de pintura, a base de resina epoxi.

Completada la elaboración total, se sumergieron los tubos en los correspondientes medios agresivos, estableciéndose un control periódico del proceso de durabilidad con renovación, a su vez, periódica de los líquidos y observación de los niveles de inmersión.

Como consecuencia de lo anterior, se repusieron nuevamente los líquidos agresivos (agua de yeso y agua de mar artificial), procediéndose a la inmersión de los tubos en los baños correspondientes (fotografía núm. 13); al mismo tiempo se tomaba una primera muestra de estos líquidos, para seguir en un principio la evolución del proceso de durabilidad durante los 6 primeros meses del año 76 para determinar la periodicidad definitiva de toma de muestra en base a estas cifras.

#### **4. ENSAYOS MECANICOS DESTRUCTIVOS**

##### **4.1. Ensayo de arrancamiento**

###### **4.1.1. Objeto**

Se trata de estudiar las tensiones que pueden soportarse ante sollicitaciones radiales en las interfases hormigón-resina-hormigón del tratamiento intermedio. En realidad, se plantearon dos tipos de ensayo (el primer tipo en dos variantes) como a continuación se especifica.

###### **4.1.2. Planteamientos y métodos operativos**

a) Ensayo de arrancamiento sobre placas planas.

Este ensayo trata de homologar los resultados inherentes al comportamiento de las interfases mencionadas, encontrados en la bibliografía.

Se lleva a cabo sobre probetas de hormigón moldeadas sobre la resina objeto de observación que a su vez va colocada en una placa plana de hormigón, de las mismas características que el empleado para la confección de los tubos. La placa es de  $50 \times 50 \times 7$  cm, y sobre ella y la resina se moldean tres probetas de  $10 \times 10 \times 3-4$  cm (antes de pintar la placa base con la resina se limpia de lechada superficial). (Resultados en tabla I).

Otra modalidad de ensayo que se ha seguido consiste en colocar sobre el mismo tipo de placa plana de  $10 \times 10 \times 3-4$  cm unas pequeñas armaduras, que consisten en un haz de alambres paralelos, separados por una distancia igual al paso de hélice del arrollamiento del tubo, que son del mismo diámetro y tipo que el empleado en los tubos modelo.

Sobre estos alambres se aplica el revestimiento protector (resina epoxi en una placa y resina de poliuretano en la otra), siguiendo la técnica señalada en el párrafo 3.3.

Pasados al menos 7 días se moldean encima del revestimiento probetas de altura y características similares a las de la última capa del tubo-modelo ( $10 \times 10 \times 3$  cm). En las fotografías números 14, 15 y 16 se expone el proceso de elaboración.

Para este ensayo se prepararon 4 placas, dos de las cuales no se sometieron a tratamiento previo de limpieza de la superficie receptora de la imprimación. En las otras dos placas se procedió a un tratamiento con cepillo de raíces.

El ensayo propiamente dicho se lleva a cabo en una máquina dinamométrica, tal como se expone en la figura A. En el detalle adjunto a la figura se puede observar claramente la zona de ensayo. (Resultados en tablas II y III).

Para sujetar la placa metálica de tracción de la máquina de la superficie de la probeta (revestida o no de resina) se aplica una capa adhesiva de las siguientes características:

- 100 partes, en peso, del material del pegamento (\*);
- 5 partes, en peso, de talco ( $< 80 \mu$ );
- 5 partes, en peso, de polvo de amianto;
- 5 partes, en peso, de aerosol de sílice ( $< 80 \mu$ );
- 10 partes, en peso, de dietil-triamina (endurecedor).

Se hace uso del endurecedor en la mezcla 10 minutos antes de su aplicación, lo cual se realiza con espátula, recubriendo el 80 % de la superficie de la placa de tracción.

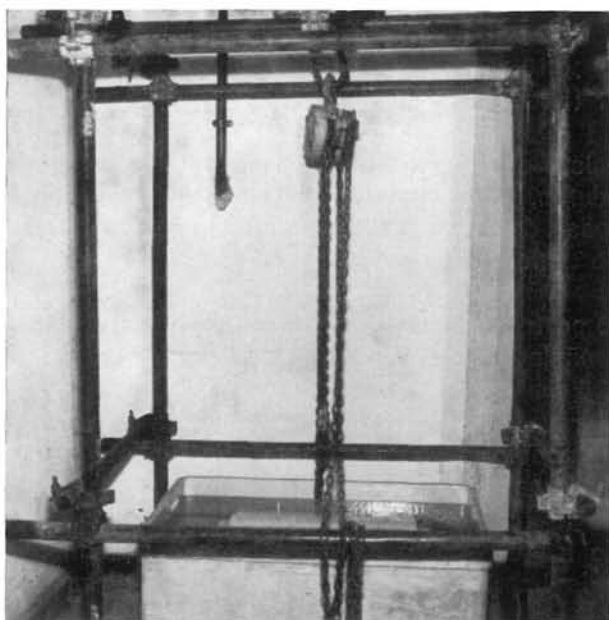
Antes de efectuar esta operación es necesario limpiar la superficie metálica de la citada placa, recomendándose además hacer un repaso con brocha impregnada de metil-etilcetona o tricloroetileno.

Para pegar la placa de tracción a la superficie de hormigón puede también emplearse una resina epoxi comercial (determinándose, en su caso, las características y experiencias previas que la avalan como idónea).

(\*) Resina epoxi según recomendación (CH. R-1) del Laboratorio Central des Ponts et Chaussées (abril 1968).

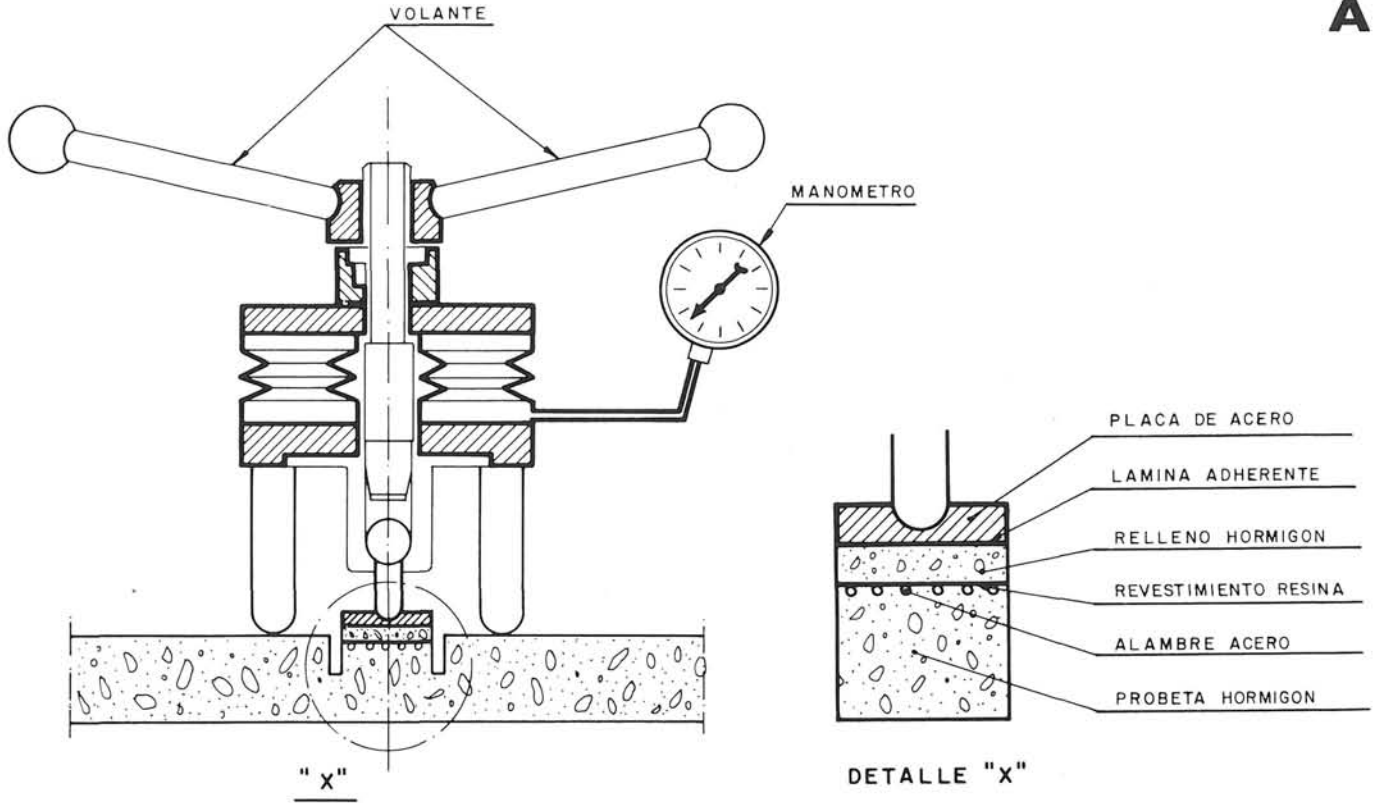
**Tabla I** Placas con tratamiento previo de limpieza y sin armaduras

13



Tipo de producto	Número de la probeta	Tensión de arrancamiento (kp/cm <sup>2</sup> )	Comentario al resultado
Resina epoxi 5003 S	1	23,5	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo. Rotura del hormigón.
	2	26	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo. Rotura del hormigón.
	3	25	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo. Rotura del hormigón.
Resina de poliuretano IR 3360	1	24	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo. Rotura del hormigón.
	2	—	La probeta estaba deteriorada por una de sus caras.
	3	25	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo.



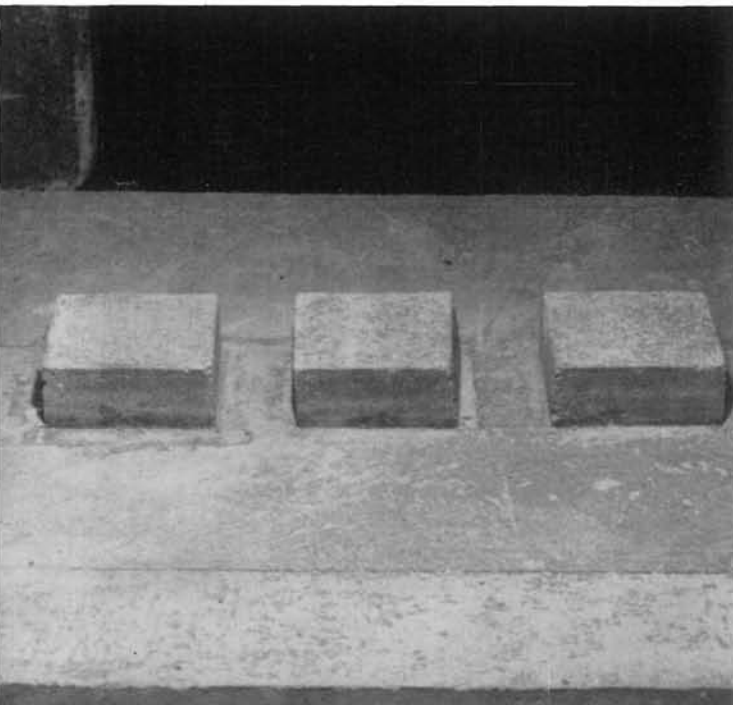
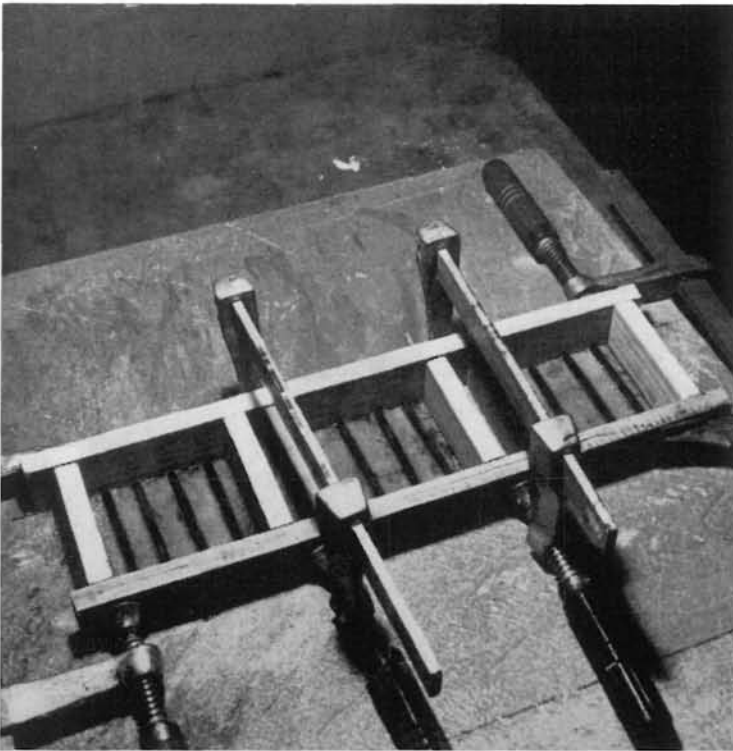
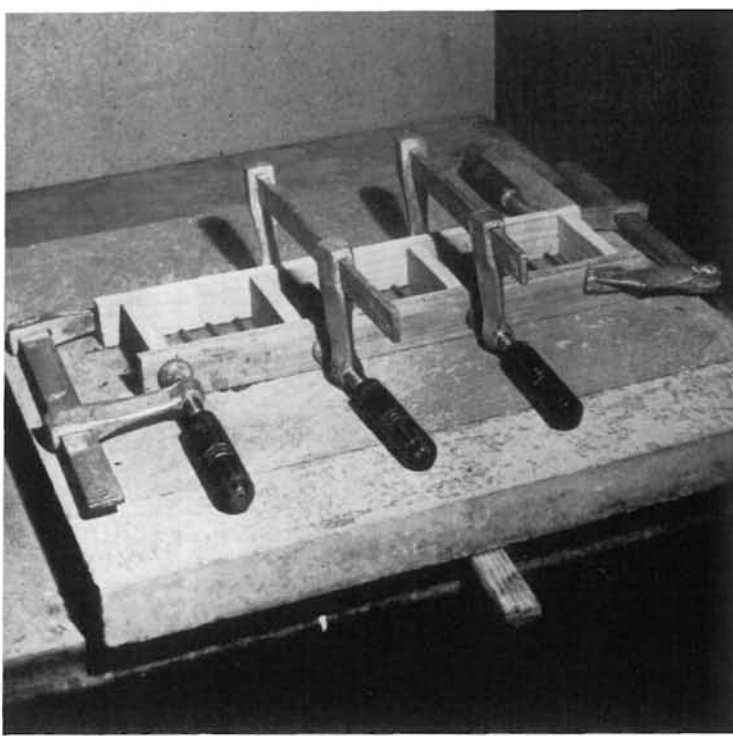


Tipo de producto	Número de la probeta	Tensión de arrancamiento (kp/cm <sup>2</sup> )	Comentario al resultado
Resina epoxi 5003 S	1	6,5	Se produjo el arrancamiento de la placa de ensayo por estar mal pegada (dato no significativo).
	2	8	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto del ensayo (dato significativo).
	3	5	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto del ensayo (dato significativo).
Resina de poliuretano IR-3360	1	7	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto del ensayo (dato significativo).
	2	5	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto del ensayo (dato significativo).
	3	6,5	Se produjo el arrancamiento de la placa de ensayo por estar mal pegada (dato no significativo).

**Tabla II** Placas con armadura sin tratamiento superficial de limpieza previa

Tipo de producto	Número de la probeta	Tensión de arrancamiento (kp/cm <sup>2</sup> )	Comentario al resultado
Resina epoxi 5003 S	1	12,5	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).
	2	16	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).
	3	15	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).
Resina de poliuretano IR-3360	1	12	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).
	2	13,5	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).
	3	14	Se produjo el arrancamiento en la interfase objeto de ensayo (dato significativo).

**Tabla III** Placas con armadura y con tratamiento superficial previo de limpieza



## 14 15 16

La aplicación de la mezcla adhesiva se hace inmediatamente, ya que el «período adhesivo eficaz» (pot-life) oscila de 20 a 90 minutos, según las cantidades previstas y las condiciones de temperatura ambiente.

Las aplicaciones se efectuarán por encima de 5° C.

Antes de comenzar el ensayo debe esperarse un tiempo mínimo de 24 horas después de puestos en contacto la placa metálica de tracción y la probeta.

Durante este período debe nivelarse la máquina de ensayo, situando el trípode de apoyo sobre la losa de hormigón, procurando que los contactos descansen sobre placas de acero para evitar empotramientos en la losa que den lugar a que el esfuerzo de tracción no sea perpendicular al plano horizontal.

Previstas las operaciones anteriores se asegura la placa metálica al eje de tracción de la máquina.

A continuación se gira el volante en el sentido de las agujas de un reloj, de forma continuada y a razón de 3 a 4 segundos por cuarto de vuelta. El esfuerzo de compresión sobre el mecanismo de captación de medida (manómetro) se refleja en la división correspondiente del cuadro del mismo.

Los resultados obtenidos en el I.E.T.c.c. figuran en las tablas II y III.



17

La fotografía número 17 expone el aspecto de la rotura del hormigón al haber sido arrastrado por la placa de ensayo.

b) Ensayo de arrancamiento sobre secciones tomadas de los tubos modelo:

— Tubo con protección exterior.

Al terminar el proceso de durabilidad se someterán los tubos tratados con protección exterior a un ensayo de arrancamiento a fin de obtener resultados sobre el comportamiento adherente resina-hormigón.

El número de muestras a ensayar será de tres probetas-entorno por cada uno de los 6 tubos sumergidos (tres medios de conservación con dos revestimientos distintos).

Total:  $3 \times 3 \times 2 = 18$  muestras.

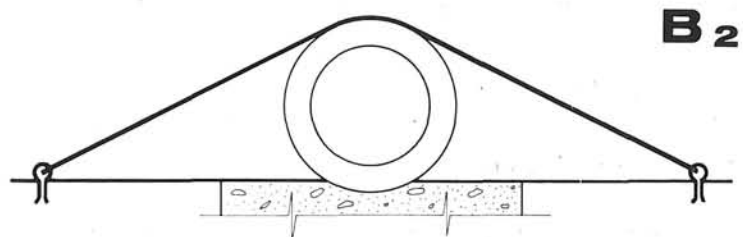
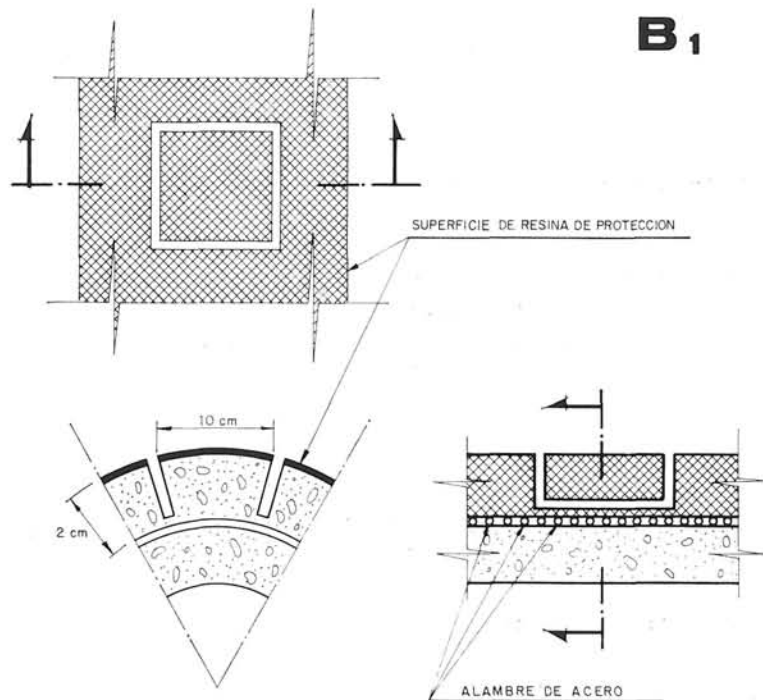
Para preparar las muestras se practican unas entallas de unos 2 cm de profundidad, tal como se indica en la figura B<sub>1</sub>, quedando definida en la superficie exterior del tubo la probeta que se va a someter a ensayo.

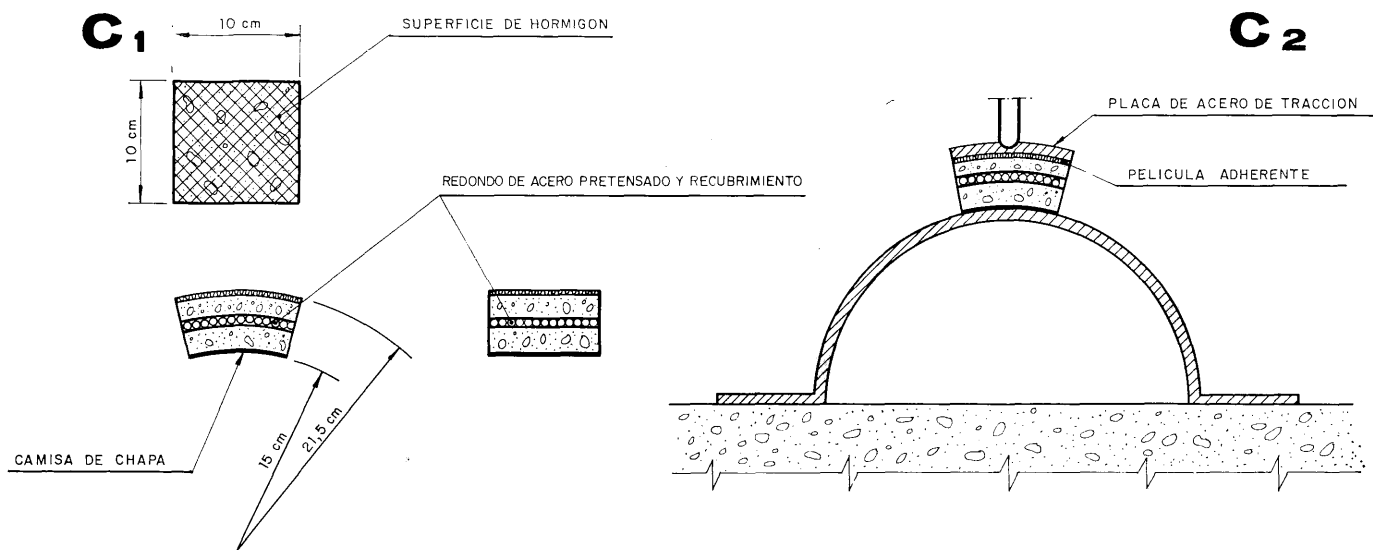
Señaladas en el tubo las tres probetas se empotra aquél sobre una placa de hormigón rígidamente asentada, asegurando la fijación en tendones de acero anclados en los aledaños de dicha placa (ver fig. B<sub>2</sub>).

Transcurrido un período de 7 días (para dar lugar al endurecimiento del hormigón) se prepara una imprimación adhesiva de las características señaladas en el apartado anterior (4.1.1), continuando las operaciones tal como se señala en el mismo.

— Tubos con protección intermedia (sobre armadura pretensada).

Las conclusiones que se obtengan de este ensayo servirán para conocer el





comportamiento de la resina de protección en lo que se refiere a su adherencia hormigón-acero, en tubos modelo expuestos a ambientes agresivos.

El número de muestras a ensayar será de tres probetas por tubo para cada uno de los seis tubos sumergidos en tres medios de conservación con dos revestimientos distintos.

Total:  $3 \times 3 \times 2 = 18$  muestras.

Para preparar las muestras se cortarán 3 lajas de 10 cm de longitud sobre la generatriz del tubo, en cada una de las cuales se tallará una probeta de la forma y dimensiones señaladas en la figura C<sub>1</sub>.

Para realizar el ensayo de arrancamiento se preparará un «lomo soporte» de chapa de acero con espesor suficiente para que resista sin deformarse el esfuerzo de tracción.

Sobre este soporte se asentará la probeta que se somete a ensayo (fig. C<sub>2</sub>), siguiendo el proceso prescrito en el apartado 4.1.2.a), con la salvedad de que la placa de tracción tenga una forma tal que se adapte perfectamente a la superficie de la probeta.

## 4.2. Ensayo de desgaste por abrasión

Este ensayo se realiza sobre probetas cúbicas de hormigón de las características del empleado en el acabado de los tubos, de 7 cm de arista más el espesor del recubrimiento protector en una de sus caras análogo al de los tubos.

Se confeccionaron tres probetas para cada uno de los dos materiales de protección.

### 4.2.1. Técnica operatoria

El ensayo se lleva a cabo en una pista rotatoria análoga a la empleada para el ensayo de desgaste de otros materiales de construcción.

El procedimiento operatorio es el señalado en la norma UNE 7 015 con las siguientes modificaciones:

- recorrido de pista, 500 m;
- abrasivo: arena silíceo de Segovia en húmedo;
- precisión en las pesadas,  $\pm 0,1$  g.

Los ensayos se efectuaron a partir de 28 días de fabricadas las probetas con su revestimiento.

#### 4.2.2. Obtención de resultados

Realizado el ensayo de desgaste se determina nuevamente el volumen de la probeta (norma UNE 7 008) y se divide la pérdida de volumen por la superficie de ensayo, obteniéndose el desgaste lineal.

En este caso es interesante señalar si se ha producido el desgaste total o parcial de la capa protectora.

A continuación figuran los resultados obtenidos sobre seis probetas tratadas como lo fueron, exteriormente, los tubos modelo:

Tipo de película	Número de probeta	Recorrido hasta la desaparición de la película
Poliuretano IR-3360 IR-3361	1	92 m
	2	102 m
	3	85 m
Resina epoxi 5023	1	98 m
	2	110 m
	3	90 m

#### 4.3. Ensayo de resistencia al impacto

Este ensayo pone en evidencia la resistencia a un choque del recubrimiento protector. (Bola de 1 kp en caída libre).

Se efectúa el ensayo sobre probetas de 30 × 30 × 3 cm en las que se aplica el revestimiento protector correspondiente (\*).

##### 4.3.1. Procedimiento operatorio

Se toma como resultado la altura mínima a la que se producen las fisuras, otros efectos de recubrimiento, o incluso la propia rotura de la probeta.

Los ensayos se realizaron a los 21 días de haber recubierto las probetas.

Tipo de producto	Espesor de lámina	Número de probeta	Altura de fisuración de hormigón	Comentario
Resina epoxi IR-5023	1 mm	1	1 m	Sin desperfectos en la lámina.
	1 mm	2	0,90 m	Sin desperfectos en la lámina.
	1 mm	3	1 m	Sin desperfectos en la lámina.
Resina de poliuretano IR-3360 IR-3361	1 mm	1	1 m	Sin desperfectos en la lámina.
	1 mm	2	1 m	Sin desperfectos en la lámina.
	1 mm	3	1 m	Sin desperfectos en la lámina.

(\*) El hormigón soporte de la lámina de resina se conservó durante 3 meses en una cámara a 20° C y saturada de humedad.

#### 4.4. Ensayos de fisuración

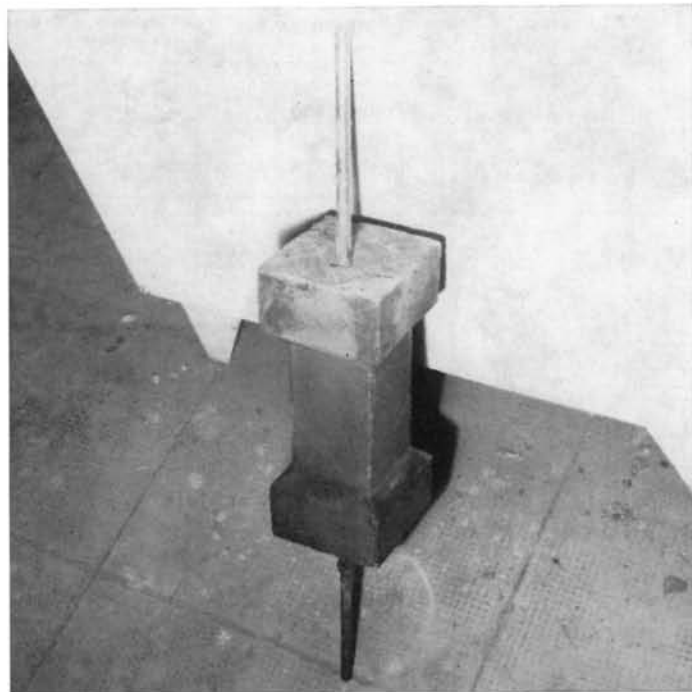
Se trata de ver hasta qué punto una resina sigue la deformación del hormigón ante cualquier tipo de sollicitación, con objeto de saber si un recubrimiento superficial soporta las fisuras de su base sin llegar a deteriorarse.

Ante la importancia de los resultados de este ensayo, ya que por sí mismo puede dar un índice estimativo de la idoneidad de una determinada resina, en el caso de adoptarse como solución ante un tipo específico de obra, se han elaborado dos tipos de procedimientos en el I.E.T.c.c. Estos siguen, en sus ideas básicas, los métodos que utilizan dos laboratorios europeos, que cuentan con resultados de experiencias llevadas a cabo sobre tipos similares de prefabricados. Se pretende homologar criterios a fin de que fabricante, aplicador y usuario tengan algún punto de referencia a la hora de solicitar de un laboratorio un número determinado de pruebas.

4.4.a) Ensayo de fisuración (según procedimiento seguido por el Laboratorio Central des Ponts et Chaussées. París).

4.4.a) 1. Procedimiento operativo

Se trata, en líneas generales, de someter una lámina de resina de un espesor determinado a una tensión. Para este fin sirve de soporte la probeta que se esquematiza en la fotografía número 18. El esfuerzo de tracción se aplica en función de la naturaleza del producto a ensayar y del tipo de sollicitaciones que se esperan una vez puesto en obra. El límite superior de velocidad de ensayo debe ser del orden de los 5 mm/minuto.



**18**

A fin de medir los desplazamientos se utiliza un captador de deformaciones que se fija sobre la lámina de resina, considerándose que no se ha fisurado cuando la deformación indicada por el captador es de 15 mm. Caso de fisuración se fijará el orden de valores de la tensión y de la deformación.

4.4.a) 2. Obtención de resultados

Los resultados se exponen haciendo constar:

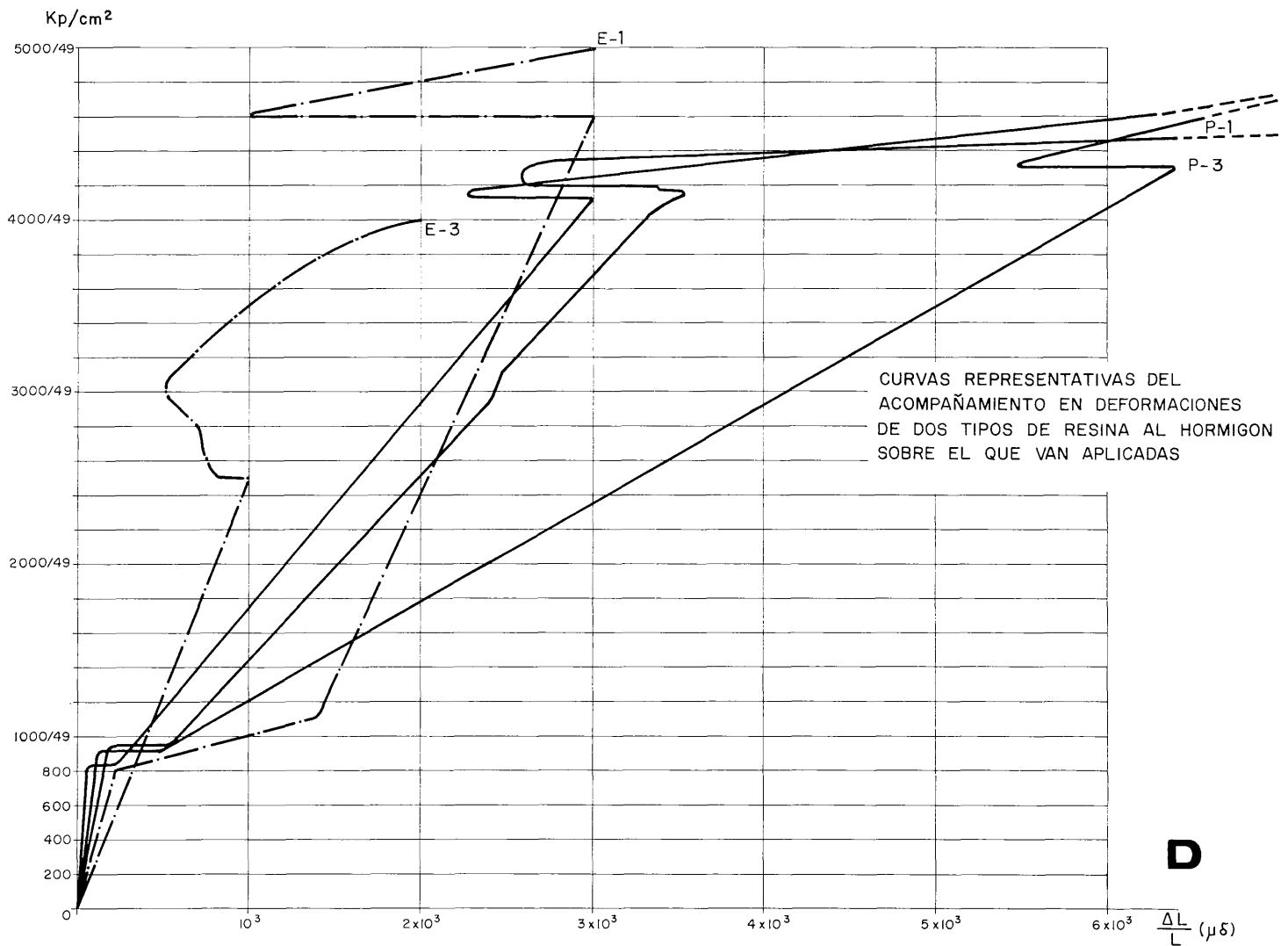
- La naturaleza e identidad del material ensayado.
- Las condiciones de ensayo.

En la tabla adjunta aparecen reflejadas todas estas características. Asimismo se exponen los diagramas tensión-deformación.



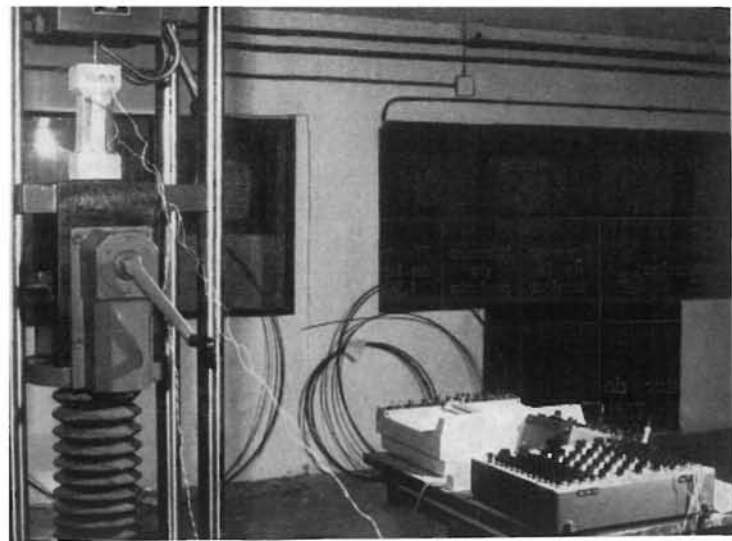
Naturaleza e identidad del material ensayado	Condiciones de ensayo	Detalles operatorios	Esesor de la lámina	Número de probeta	Fisuración en base a 1,5 mm	Anchura media de fisura en el hormigón hasta la rotura de la resina
Resina epoxi IR-5023 Edad, 21 días	Máquina de tracción Amsler con una escala de 5 Mp.	Captador-seguidor de deformación, tipo TML Tokio Sokki Kenkyujo Co. Ltd.	15 mm	1	—	—
				2	Sí	$12 \times 10^{-2}$ mm
				3	Sí	$20 \times 10^{-2}$ mm
Resina de poliuretano IR-3360 IR-3361 Edad, 21 días	Velocidad de aplicación de carga, 10 kp/s.  Temperatura de 20° C.	Compensado en tempe- ratura con ídem.  Factor de banda, 2,08 (20° C).	15 mm	1	No	—
				2	No	—
				3	No	—

Diagramas de tensión-deformación

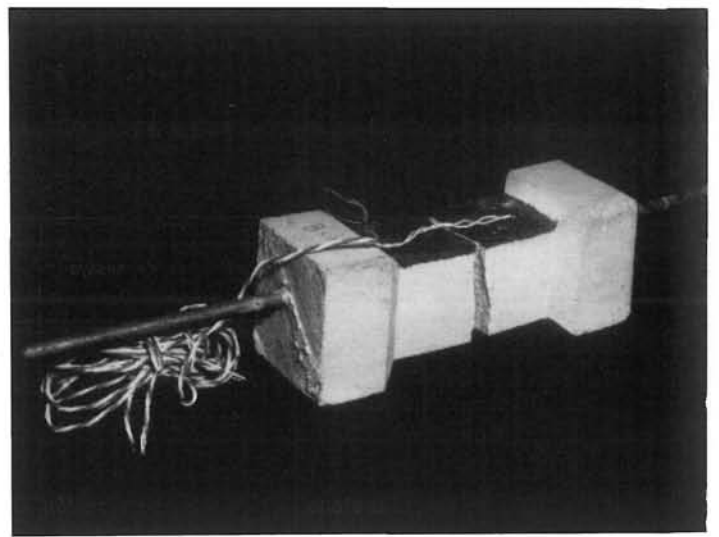


- Los detalles operatorios.
- El esesor de la lámina de resina.
- Las deformaciones medidas en mm, así como la denominación del resultado sobre 1,5 mm.

Las fotografías números 19 y 20 exponen el dispositivo de ensayo y el aspecto de la probeta al finalizar el mismo.



**19**



**20**

4.4.b) Ensayo de fisuración (según procedimiento seguido por los Laboratorios de «Recherches Techniques d'Entreprises». Suiza).

4.4.b) 1. Procedimiento operatorio

Sobre una probeta de hormigón de dosificación fija, armada longitudinalmente con tres varillas y de dimensiones  $90 \times 30 \times 8$  cm (fotografía núm. 21), se realiza una imprimación y posterior membrana con el producto a ensayar. Este tratamiento consiste en una franja longitudinal de 15 cm de anchura.

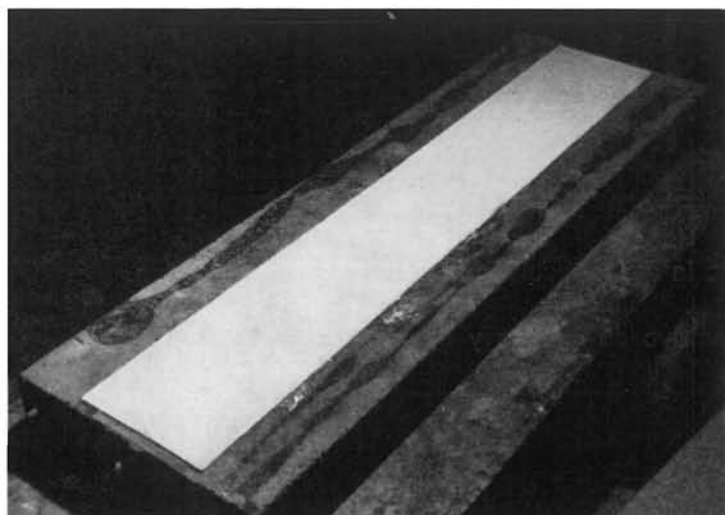
Anteriormente al tratamiento de protección, las placas de hormigón se conservan en cámara húmeda durante 4 días y posteriormente se exponen a un ambiente de  $18^{\circ}\text{C}$  de temperatura y 50 % de humedad. Después se hace una limpieza con ácido clorhídrico diluido al 15 % sobre 100 partes de agua de la superficie en que se sitúa la franja.

Pasados 11 días de efectuado el tratamiento se somete la probeta al ensayo propiamente dicho. Se sostiene la losa en dos apoyos separados 80 cm y se aplica un esfuerzo perpendicular a la línea que une los puntos de contacto de los apoyos (fotografía núm. 22), a la mitad de la distancia entre éstos (flexotracción). Este esfuerzo se aplica en incrementos de 200 kp.

4.4.b) 2. Obtención de resultados

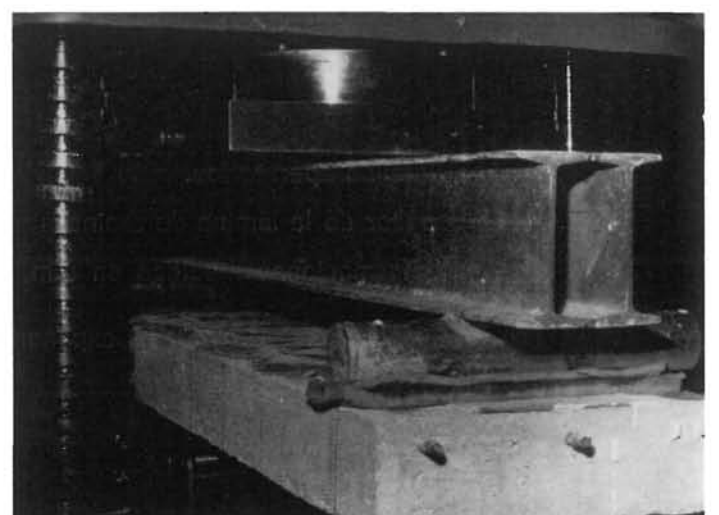
A medida que se aplica el esfuerzo se va observando la zona de fisuración con una lupa-micrómetro, dando por terminado el ensayo cuando la fisura se hace manifiesta en las condiciones de observación.

**21**



FOTOS: J. J. LOPEZ DEL AMOR

**22**



En la tabla aparecen reflejados los resultados obtenidos a 21 días.

Naturaleza e identidad del material ensayado	Condiciones de ensayo	Espesor de la lámina	Número de probeta	Anchura media de fisura en el hormigón hasta la rotura de la resina
Resina epoxi IR-5023 Edad, 21 días	Máquina de compresión Amsler con una escala de 20 Mp. Velocidad de aplicación de carga: 10 kp/s. Temperatura de 20° C.	15 mm	1	$20 \times 10^{-2}$ mm
			2	$40 \times 10^{-2}$ mm
			3	$30 \times 10^{-2}$ mm
Resina de poliuretano IR-3360 IR-3361 Edad, 21 días			1	4 mm
			2	4 mm
			3	3,5 mm

## 5. ENSAYOS ACELERADOS DE CORROSION BAJO TENSION EN RECUBRIMIENTOS CON RESINAS

Para la realización de este ensayo se enviaron a la E.T.S.I.C.C.P. un conjunto de seis probetas (varillas de acero de 1,5 cm de longitud  $\times$   $\varnothing$  0,5 cm, de las mismas características que el alambre empleado en los tubos modelo): tres de ellas recubiertas en forma tosca con resina epoxi IR-5003 S (previamente habían sido lijadas); y otras tres sin ningún tipo de tratamiento. Los resultados obtenidos tras someter a estas probetas a un ensayo de corrosión acelerada bajo tensión, resultaron esperanzadores, puesto que los tiempos de rotura de las varillas tratadas fueron muy superiores a los correspondientes de las varillas sin tratamiento. El detalle de las mismas será objeto de una posterior publicación por los especialistas del tema.

# apartados

### EXPERIENCIA DE OBRA EN ESPAÑA

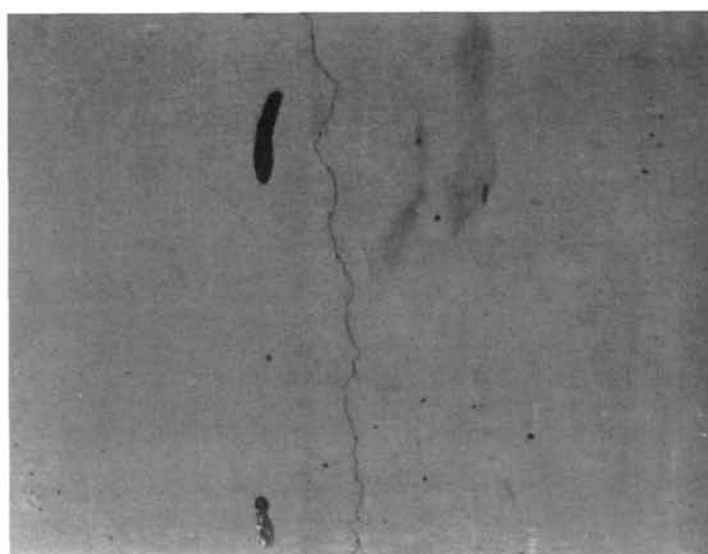
Como se señaló en 2.c) los productos elegidos para esta investigación lo han sido como consecuencia de su aplicación específica a este tipo de obras, entre las que cabe destacar la realizada por la empresa colaboradora dentro del ámbito nacional.

Se trata de una conducción de dos tuberías de hormigón pretensado con alma de chapa y diámetros: interior de 1.600 mm, y exterior de 1.900 a 2.000 mm, aproximadamente.

La longitud de traza es de 24.600 m.

La mayor parte de la traza va enterrada, si bien en algunos tramos sale al descubierto, quedando volada en parte.

En cuanto a la fabricación de los tubos-módulo colaboraron varias empresas.



**23**

Estado de agrietamiento.

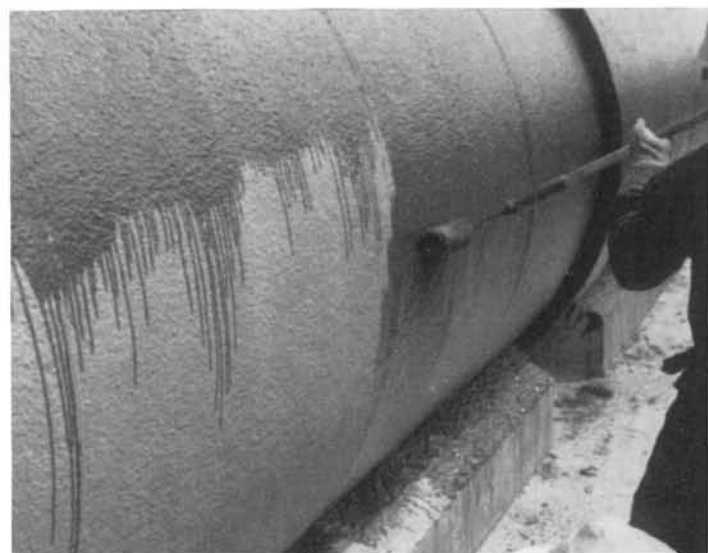
Imprimación.

Aspecto del proceso de imprimación en un tramo de obra.

Se puede observar la imprimación ya realizada.

Tramo de tubería en el que se ha realizado la protección total (imprimación y posterior membrana).

Tubos, en el parque de obra, sobre los que se ha realizado la protección total.



**24**

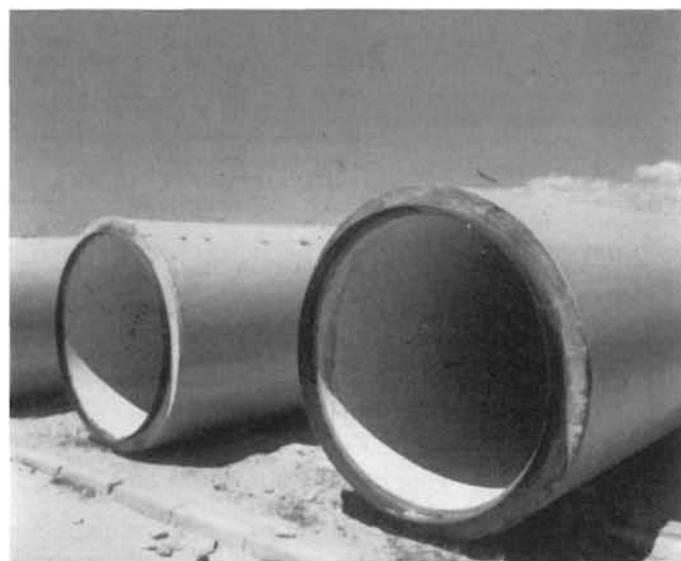


**27**



**25**

**28**

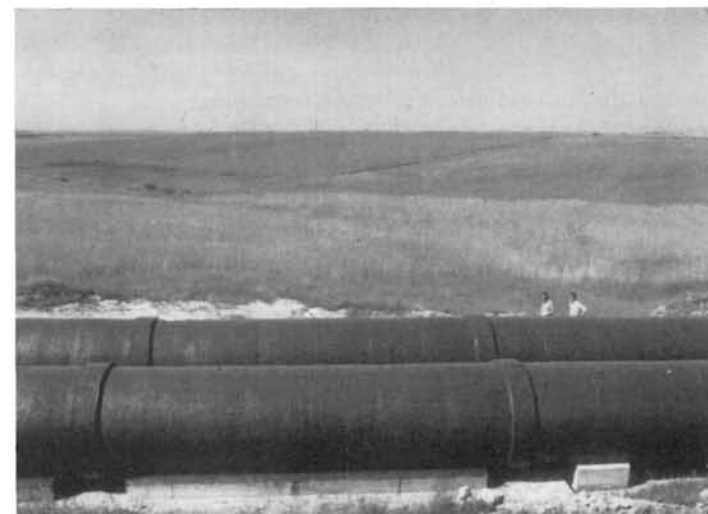


**26**

FOTOS: IRE TSA

En líneas generales el revestimiento se llevó a cabo en dos zonas de la conducción.

En la primera zona se procedió a un tratamiento previo de la superficie del hormigón en fun-



ción de su calidad y aspecto. Dicho tratamiento se hizo con chorro de arena y posterior cepillado.

Después del tratamiento previo se procedió al recubrimiento propiamente dicho, que consta de dos partes:

- Una imprimación de IR-3360 rojo y una membrana de IR-3361 gris (resina de poliuretano).
- En la segunda zona, debido a que la tubería permaneció bastante tiempo a la intemperie (transcurrieron tres veranos), lo que condujo a que el período de aparición de fisuras se completara, se procedió al tratamiento de los puntos singulares. Dicho tratamiento consistió en un refuerzo de resina de poliuretano (IR-3361 gris), espeso y aplicado con brocha, y una banda de unos 30 cm de anchura, centrada en la fisura, de resina de poliuretano (IR-3361 gris), espesa y aplicada con brocha.

Previamente al tratamiento anterior, tanto los tubos como los manguitos se imprimaron con resina (IR-3360 roja).

El total de la obra de protección se realizó en fondo de zanja y en acueducto. La operación se hizo hasta la cuna en fondo de zanja y completa en los acueductos.

Todas las juntas de la conducción fueron tratadas de forma completa (imprimación y membrana).

Algunos tubos-módulo se protegieron en el parque del Canal de Isabel II (Majadahonda).

NOTA. Los detalles de obra se pueden observar gráficamente en las fotografías 23 a 28.

### **El factor económico**

Al objeto de tener una información que pudiera orientar a la hora de adoptar como tipo de solución la protección exterior de tubería de hormigón pretensado, se llevó a cabo un estudio económico de lo que en ese momento (junio-octubre de 1976) podría representar una obra de características determinadas (\*).

El informe figura a continuación.

### **ESTIMACION ORIENTATIVA DE COSTOS DE REVESTIMIENTO EXTERIOR DE TUBERIA PRETENSADA RADIALMENTE, CON ALMA DE CHAPA, POR MEDIO DE RESINAS DE POLIURETANO**

#### **EJECUCION DE LAS OBRAS**

##### **Su definición**

La obra a efectuar se compone de dos operaciones o unidades bien definidas:

- La primera es la imprimación de toda la superficie de los tubos con resinas de poliuretano de dos componentes, sin disolvente, de gran poder de penetración.

(\*) Este estudio debe ser considerado como un dato más en el conjunto de los que comprende este artículo y en ningún momento podrá emplearse como base general, ya que las características de la obra y la fecha de su ejecución serán las que determinen el presupuesto específico en cada caso.

- La segunda de ejecución del revestimiento formando membrana por encima de la imprimación en los tubos y manguitos de hormigón.

### **Preparación de la superficie o soporte**

Aunque el tipo de imprimación adoptado no necesita de un decapado a fondo de la superficie, ya que los tubos se suministrarán por el fabricante, sin lechada, se procederá a una limpieza de los residuos de hormigón y tierras que presente la tubería, bien mediante cepillo, aire comprimido u otro sistema equivalente.

Si por algún motivo el estado superficial del tubo fuese no apto a la adherencia, se procedería en consecuencia al tratamiento idóneo en cada caso.

NOTA. Queda proscrita la utilización de aceites desmoldeantes conteniendo productos a base de siliconas.

### **Imprimación**

Una vez la superficie limpia se procederá a mezclar los dos componentes de la resina de poliuretano, con adición de 5 a 10 % de diluyente, utilizando mezcladora eléctrica o mecánica.

La aplicación en la superficie se hará mediante rodillos, brocha o pistola, a razón de 0,35 a 0,45 kg de resina/m<sup>2</sup>, en función de la absorción del hormigón, de forma que la porosidad superficial quede completamente colmatada y se cree una película superficial del orden de 200 micras.

El color de esta imprimación será ocre, rojo, naranja u otro que permita una clara diferenciación con el revestimiento que se efectuará posteriormente.

### **Revestimiento**

Se trata del revestimiento de los tubos y de los manguitos de hormigón o cubrejuntas.

Transcurrido un mínimo de 4 horas y un máximo de 48 horas desde la aplicación de la imprimación se podrá aplicar el revestimiento.

Para ello se mezclarán los dos componentes de la formulación de poliuretano, utilizando batidora o mezcladora eléctrica a una velocidad máxima de 600 r.p.m. para evitar inclusiones de aire en la masa de la resina.

El revestimiento así obtenido debe cumplir las características de adherencia, resistencia e impermeabilidad que, a juicio de la Dirección facultativa de la obra, sean precisas para la función a que se les destina, y en particular tendrá una plasto-elasticidad tal que soporte sin romperse las fisuras que se prevean en el hormigón. Por lo tanto, el espesor de revestimiento será función del ancho de fisura que se espera.

Para el estudio económico se va a considerar un tratamiento total de 1 mm de espesor aproximadamente.

La velocidad de la aplicación del producto será tal que no se sobrepasará en ningún caso el pot-life (período de utilización) del producto preparado. La formulación de este producto es la misma que para la imprimación, pero con las cargas necesarias para conseguir la densidad y tixotropía adecuadas.

El color del revestimiento será crema o gris claro, similar al hormigón de los tubos.



## ESTUDIO ECONOMICO

### CUADRO DE CARACTERISTICAS Y REVESTIMIENTOS CONSIDERADOS

Diámetro interior (mm)	Diámetro exterior (mm)	Desarrollo (m)	L (m)	Superficie exterior (m <sup>2</sup> )	Rendimiento número de tubos/día (equipo 4 hombres)	
					Imprimación	Revestimiento
1250	1550	4,86	6	29,16	20	16
1400	1760	5,53	6	33,18	17	14
1600	1909	6	6	36	15	12

### CUADRO DE PRECIOS ORIENTATIVOS

$\varnothing_i$	PRODUCTOS						Imprimación (Ptas./m <sup>2</sup> )	Revestimiento (Ptas./m <sup>2</sup> )	TOTAL (Ptas./m <sup>2</sup> )
	Imprimación			Revestimiento					
	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	Ptas. (kg)	Ptas. (kg/m <sup>2</sup> )	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )	Ptas. (kg)	Ptas. (m <sup>2</sup> )			
1250							30	38	616
1400	0,4	450	180	0,8	460	368	31	39	618
1600							34	42	624

### Condiciones del presente estudio

Se han considerado:

- Un mínimo de 1.000 metros lineales.
- Tubería entregada limpia seca, sin lechada ni cascarillas en su revestimiento exterior de hormigón.
- El revestimiento exterior tendrá 28 días de antigüedad, a menos que esté sometido a un proceso de curado, cuya duración deberá definirse.
- Las bases para el cálculo de mano de obra, materiales y productos son las que corresponden al mes de mayo de 1976.

### CUADRO DE PRECIOS POR METRO LINEAL DE TUBERIA

$\varnothing_i$	TOTAL (Ptas./m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> /m.l.	Ptas./m.l.
1250	616	4,86	2994
1400	618	5,53	3417
1600	624	6	3744

### CONCLUSION

Los resultados obtenidos y expuestos a lo largo de este artículo permiten considerar los siguientes puntos:

- Las resinas sintéticas examinadas son idóneas en los tratamientos superficiales que tienen como fin la impermeabilización del hormigón, puesto que:
- Las deformaciones mecánicas de las membranas acompañan y se conforman a los estados tensionales (a una edad temprana) del hormigón base. A estos efectos, y de forma comparativa, las resinas de poliuretano parecen adaptarse mejor a las características solicitadas que las resinas epoxi.

- Los tratamientos intermedios de los tubos de hormigón pretensado con las resinas ensayadas comportan buenos resultados en cuanto a sus características mecánicas; no obstante, su puesta en obra es delicada, por lo que puede dar lugar a aumentos sustanciales en el precio del producto acabado.
- Caso de optar por un revestimiento exterior para la impermeabilización de los tubos componentes de una determinada obra, es conveniente que ésta se lleve a efecto en las zanjas donde estuviesen ya armados y empalmados todos los elementos.
- Con vistas a un futuro sería conveniente investigar el procedimiento de imprimación del propio alambre de zunchado, con resinas epoxi, dado que las pruebas que se han realizado han resultado esperanzadoras.

## BIBLIOGRAFIA

1. CARRIL CARVAJAL, C.: «Materiales, Maquinaria y Métodos para la Construcción», núm. 16, extraordinario, 1960.
2. LERCH, W.: «Mater. Res. Stand. USA», núm. 2, septiembre 1962, pp. 745-46.
3. KUENNING, W. H. (Comité 515 ACI): «Journ. ACI», núm. 12, diciembre 1966, pp. 1305-1392.
4. RILEM SIMPOSIUM: «Les Résines de Synthèse dans la Construction», 4-6 septiembre 1967.
5. BONZEL, J., y LOCHER, F. W.: «Beton. Herst. und Ver.», núms. 10-11, octubre 1968, pp. 401-6 y 443-5.
6. SZILAR, R.: «Journ. ACI», núm. 7, julio 1969, pp. 595-99.
7. LJUNGQUIST, P. R.: «Bétons Industriels», núm. 7, tercer trimestre 1969, pp. 48-50.
8. LAMPRECHT, H. O.: «Betonstein Ztg.», núm. 9, septiembre 1969, pp. 543-46.
9. COMISION FIP: «Durabilidad», «Bull. Inf. CEB», núm. 73, junio 1970, pp. 47-9.
10. VALENTIA, O.: «Matériaux et Construction RILEM», núm. 17, septiembre-octubre 1970, pp. 333-45.
11. FIBIER, J. W.: «Betonstein Ztg.», núm. 12, diciembre 1971, pp. 771-75.
12. MOLLER, J. y otros: «Betonwerk+Festigteil+Tecknit», núm. 5, mayo 1972, pp. 376-82.
13. FERNANDEZ CANOVAS, M.: «Las resinas epoxi en la Construcción», I.E.T.c.c.
14. ACI, Publicación S-49: «Corrosion of Metals in Concrete».
15. Corrosion of Reinforcement in Concrete. State of the Art. Report. «Matériaux et Construction», mayo-junio 1976, núm. 51.

## résumé

### Traitement de protection pour conduites en béton précontraint à base de résines synthétiques (Epoxy et polyuréthane)

Francisco Soria Santamaría, Dr. en Chimie Industrielle

Manuel Olaya Adán, licencié ès Sciences Physiques

Parmi les différents systèmes de protection contre le phénomène de corrosion sous contrainte se trouvent ceux qui visent à empêcher physiquement l'action de l'agent corrosif sur l'acier précontraint. C'est là le cas des imperméabilisations à l'aide de membranes à base de résines synthétiques. Dans cet article, les auteurs font une description des divers essais auxquels doit être soumis ce type de membranes, en ce qui concerne le béton support. En outre, il faut s'adapter aux particularités du type d'ouvrage auquel elles sont destinées.

Les essais ont eu pour but de prouver l'aptitude des résines synthétiques d'epoxy et de polyuréthane, particulièrement formulées pour des fonctions précises.

Trois types de solutions sont établis par l'emploi de ces résines, dans le cas de protection, par rapport à des liquides «agressifs» venant de l'extérieur par des conduites d'eau, soumises à de hautes pressions, exécutées en béton précontraint.

Des détails sont fournis d'un ouvrage particulier, où été appliquée l'une des solutions exposées.

## summary

### Synthetic resin (epoxy and polyurethane) protection treatment for prestressed concrete piping

Francisco Soria Santamaría, Dr. in Industrial Chemistry

Manuel Olaya Adán, Physical Science Degree

Amongst the different systems of protection used against the corrosion phenomenon under stress, we find those which physically try to prevent the corrosive agent from reaching the prestressed steel. Such is the case of water-proofing by means of synthetic resin-base membranes.

The article describes the different tests to which this type of membrane should be submitted, with regard to the type of concrete used. It is also necessary to take into consideration the peculiarities of each job.

The object of the tests made was to show the ideal characteristics of epoxy and polyurethane synthetic resins, especially formulated for specific functions.

Three kinds of solutions are established with the use of these resins in those cases of protection against «aggressive» liquids, coming from water pipe exteriors, subjected to high pressures, where prestressed concrete piping has been used to solve this problem.

Details are given on a specific job carried out in which one of the mentioned solutions was used.

## zusammenfassung

### Schutzbehandlung für vorgespannte Betonrohre and hand von Kunstharzen (Epoxy und Polyurethan)

Dr. Francisco Soria Santamaría, Industriechemiker

Manuel Olaya Adán, Physiker

Unter den verschiedenen Schutzsystemen gegen Korrosionserscheinungen unter Spannung finden wir die, welche auf physikalischem Wege zu verhindern suchen, dass das Korrosionsmittel and den vorgespannten Stahl herankommt. Das ist der Fall bei Dichtungen durch Membranen aus Kunstharzen.

Im Artikel werden verschiedene Versuche beschrieben, denen diese Membranen im Zusammenhang mit Tragbeton zu unterwerfen sind. Weiterhin ist eine Anpassung an die Merkmale der Bauten, für welche sie bestimmt sind, erforderlich.

Der Zweck dieser Versuche liegt darin, die Eignung der Kunstharze aus Polyurethan und der Epoxyharze zu beweisen, die speziell für bestimmte Funktionen gedacht sind.

Durch die Verwendung der genannten Harze sind drei Lösungen möglich, um einen Schutz gegen gegen «agressive» Flüssigkeiten in Wasserleitungen zu gewährleisten, die hohen Drücken unterworfen sind und aus Spannbeton hergestellt wurden.

Es werden auch Angaben bezüglich eines Baus gemacht, bei welchem die erwähnten Lösungen angewand wurden.