

# LOS HORMIGONES CON POLIMEROS EN LA CONSTRUCCION: PROPIEDADES Y APLICACIONES

(CONCRETES WITH POLYMERES IN THEIR CONSTRUCTION PROPERTIES AND APPLICATIONS)

A. Aguado, Dr. Ing. Caminos.  
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

J. M. Salla, Dr. Ing. Industrial.  
E.T.S. Ingenieros Industriales de Barcelona.

Universitat Politècnica de Catalunya.

684-12

## RESUMEN

*Las resinas en la construcción son conocidas desde hace años si bien aún hoy en día resultan poco comprendidas para el usuario. Esto se hace aún más patente en los hormigones con resinas, en las que éstas son un material constituyente más del hormigón.*

*El presente artículo tiene por objeto mostrar los tipos de hormigones con resinas existentes en el campo de la construcción señalando las propiedades que le confieren unas ventajas frente a determinados tipos de aplicaciones (reparaciones, prefabricados, otras). Con este artículo se pretende, de forma sucinta, facilitar al técnico la comprensión de estos materiales así como mostrarle los campos idóneos de aplicación donde son competitivos.*

## SUMMARY

*The use of resins in construction is not a new phenomenon although even nowadays they are little understood by the user. This is made even more obvious in concretes with resins in which these are yet another constituent material of concrete.*

*The aim of the present article is to show those types of concretes with resins which exist in the construction field, pointing out those properties which give it advantages in determined types of applications (Repairs, prefabricated buildings, and others). This article is trying briefly to provide the technician with an understanding of these materials and to show him/her the suitable fields of application where they are competitive.*

## 1. INTRODUCCION

De una manera lenta pero indiscutible, nuevos materiales se están abriendo camino en diversas aplicaciones relacionadas con la construcción y la ingeniería civil reservadas hasta hace poco y de una manera casi exclusiva a los materiales basados en el cemento portland como ligante. Esta corriente hay que inscribirla en otra más general relacionada con la innovación tecnológica y la que algunos llaman, la revolución de la ciencia de los materiales.

Las raíces de este fenómeno hay que buscarlas en la actitud de arquitectos, ingenieros y científicos que, a la vez que continúan trabajando con materiales en virtud de sus propiedades conocidas, buscan crear nuevos materiales en función de cada aplicación.

Los materiales poliméricos, por su diversificación, versatilidad, alto rendimiento, ligereza y procesabilidad se ajustan muy bien a este nuevo planteamiento y no es de extrañar que, desde principios de los años ochenta, la producción mundial de plásticos ha superado en peso a la producción de acero.

Los polímeros están formados por macromoléculas (cadenas de miles de unidades estructurales repetidas de diferente longitud) que confieren al material características y propiedades diferentes, en virtud del tipo de enlaces y fuerzas que las unen y según las conformaciones o disposición espacial que las mismas adquieren.

Como material, los hormigones con polímero tienen la naturaleza de los materiales compuestos, también llamados "composites". Son mezclas de diferentes materiales que se utilizan para aprovechar sus cualidades combinadas. No se trata de aleaciones o compuestos químicos, sino que cada uno mantiene su identidad original pero de manera que en la mezcla se produce un efecto sinérgico o de mejora y refuerzo de las propiedades que cada uno desarrolla por separado.

Este artículo describe las nuevas tendencias de la utilización de los polímeros con el hormigón, sus propiedades y limitaciones y los campos de aplicación con más futuro dentro de la construcción y la ingeniería civil.

## 2. TIPOS DE COMPUESTOS DE HORMIGON CON POLIMEROS

El hormigón convencional es el resultado de la combinación de un árido y un material ligante hidráulico. El cemento portland es, con mucho, el más utilizado. El hormigón con polímero puede tener de uno a varios componentes con propiedades adhesivas que actúen como ligantes, y otros componentes y cargas no acti-

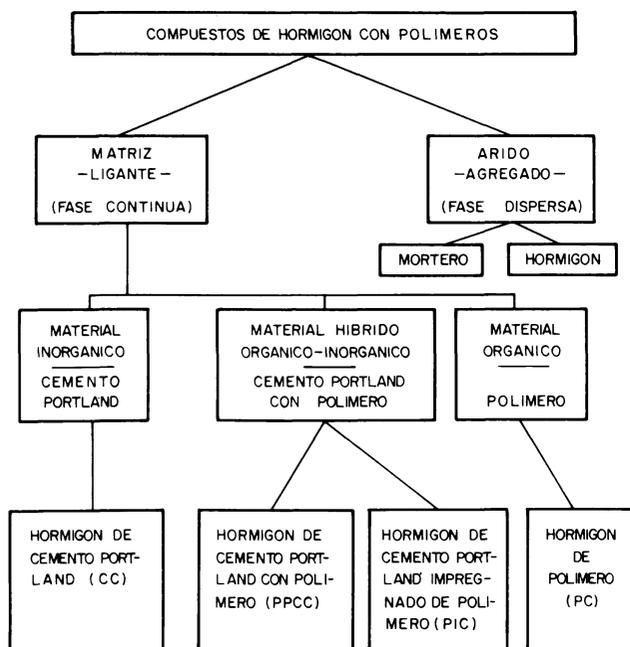


Fig. 1.—Tipos de compuestos resultantes del hormigón con polímeros.

vas desde el punto de vista químico, que sirven para mejorar las propiedades, el procesado del material o simplemente son utilizados para abaratar el producto.

Atendiendo a la naturaleza del ligante y a la forma con que queda incorporado al hormigón, es ampliamente aceptada (1), (2) la clasificación de los hormigones con polímeros que se muestran en la figura 1.

Cuando los ligantes poliméricos sustituyen sólo parcialmente a la matriz o se utilizan como modificadores de la misma, se produce un material híbrido orgánico-inorgánico. En el caso en que el polímero se incorpora a la masa del hormigón en el momento de su fabricación y se reparte por igual en la misma, se obtiene el llamado hormigón de cemento con polímero o modificado con polímero (PPCC) (\*). Cuando la adición del polímero se efectúa a posteriori, una vez el hormigón de cemento ya ha fraguado, se obtiene el llamado hormigón impregnado de polímero (PIC); en este caso, normalmente el polímero sólo cubre parcial o superficialmente la masa del hormigón. Finalmente, cuando se sustituye de una manera total el ligante hidráulico por una matriz exclusivamente polimérica, se obtiene el llamado hormigón de polímero (PC).

Por las características del árido, además de considerar su naturaleza química (silícica, caliza, basáltica, etc.) se diferencian los llamados morteros, cuando el tamaño de partícula no excede de los 5 mm, de los llamados propiamente hormigones en los que el tamaño de las partículas de árido es superior al citado.

## 3. MONOMEROS Y POLIMEROS UTILIZADOS EN HORMIGON CON POLIMEROS

### 3.1. Naturaleza

Existe una gran diversidad de sustancias poliméricas susceptibles de ser utilizadas con hormigones. En la figura 2 se muestran los monómeros y polímeros más representativos utilizados en los diferentes compuestos de hormigón con polímeros.

En virtud de las características fenomenológicas que desarrollan los materiales poliméricos, éstos se diferencian entre los llamados termoplásticos y termoestables.

La naturaleza de un polímero termoplástico permite que sea disuelto en un disolvente o ser fundido sin presentar una modificación química permanente, de manera que cuando se evapora el disolvente o se enfría, el material adquiere, en función de su naturaleza química,

(\* ) Entre paréntesis se señalan las siglas en inglés muy aceptadas en la literatura técnica.

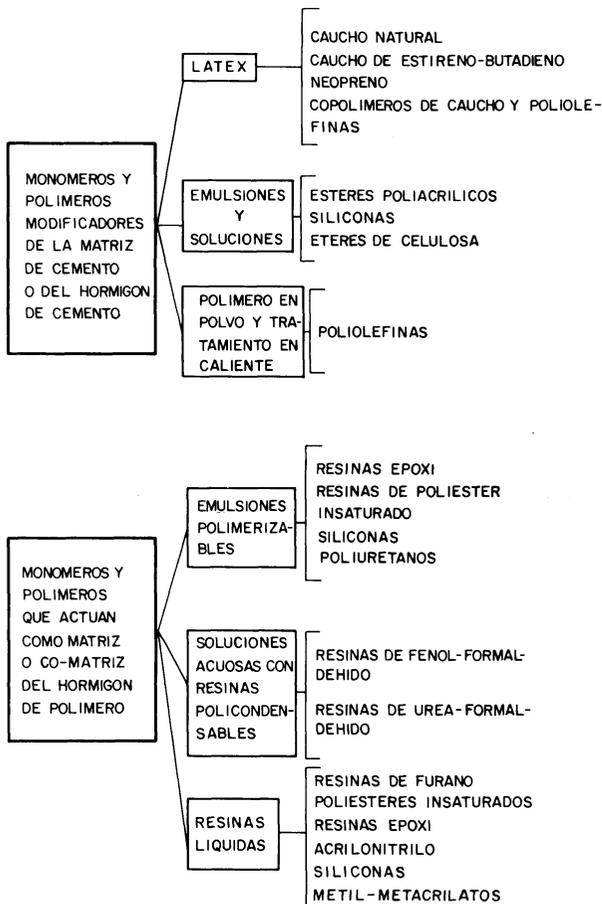


Fig. 2.—Monómeros y polímeros utilizados en hormigón con polímeros

las propiedades de rigidez y fragilidad que caracterizan a los materiales vítreos, la cualidad de deformabilidad y flexibilidad de las gomas y cauchos o la gran tenacidad de los cristales y las fibras.

Pertencen a este tipo los polímeros acrílicos, el acetato de polivinilo, las poliolefinas y los cauchos y latex. Los latex utilizados en construcción suelen tener un 50% de agua que debe eliminarse al endurecer el hormigón ya sea por evaporación, absorción o hidratación del cemento. En estas aplicaciones, un polímero termoplástico se utiliza también disuelto en un disolvente orgánico, finamente distribuido formando emulsiones o en forma sólida. En este último caso, al ser aplicado debe fundirse o reblandecerse por la acción del calor.

Un polímero termoestable, por el contrario, no puede ser fundido ni disuelto en un disolvente sin sufrir una modificación química fundamental. Para su utilización se presenta en forma de dos o más componentes que se mezclan in situ adquiriendo su constitución a través de un proceso reactivo irreversible.

Los materiales poliméricos más representativos de este grupo son las resinas epoxi, las resinas de poliéster insaturado y las de poliuretano.

Una formulación epoxi está constituida por un mínimo de dos componentes que se mezclan en proporciones parecidas: la resina propiamente dicha, caracterizada por el grupo funcional  $-C \begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ \diagdown \end{array} C-$  y el llamado endurecedor. En la figura 3 se citan diferentes compuestos orgánicos que pertenecen a las familias de las epoxi y otros susceptibles de actuar como endurecedores. Cada uno de estos componentes son estables aisladamente y no tienen ninguna propiedad mecánica importante, pero al mezclarse reaccionan exotérmicamente para formar un retículo tridimensional que una vez endurecido desarrolla notables propiedades de resistencia mecánica y química.

Las resinas de poliéster insaturado van acompañadas de un disolvente reactivo, normalmente el estireno; tienen por sí mismas la capacidad de reaccionar y reticularse, si bien esta capacidad está inhibida a temperatura ambiente siendo necesaria la concurrencia de un sistema catalítico (iniciador más acelerante) que, en muy pequeña cantidad, desinhibe el proceso reactivo

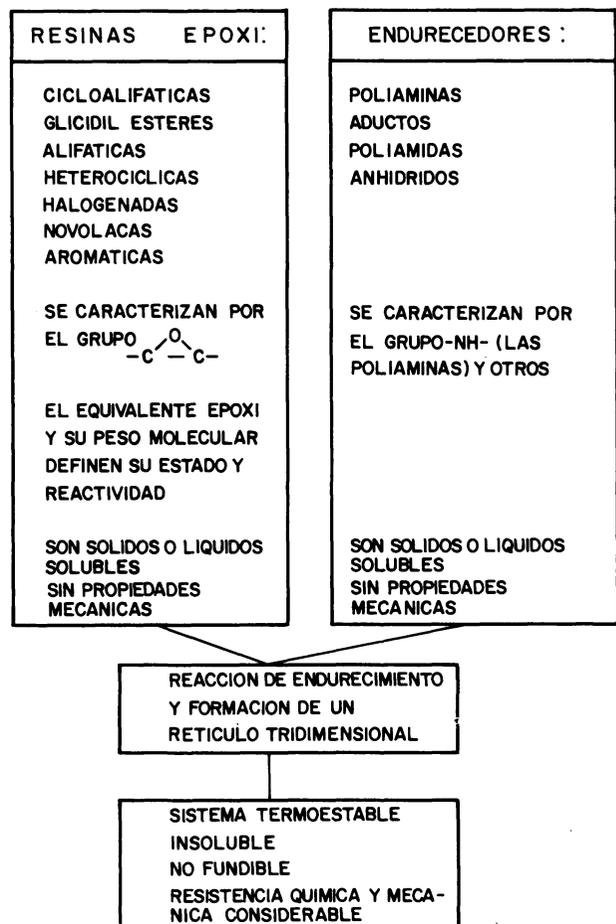


Fig. 3.—La formulación epoxi.

produciéndose de esta manera la reticulación que endurece al material.

El iniciador es el agente capaz de producir, por descomposición, radicales libres que inician el proceso de reticulación de la resina. Los iniciadores más utilizados son peróxidos orgánicos o compuestos del tipo azo. Entre los primeros los más representativos son el peróxido de benzoilo y el peróxido de metil etil cetona y, entre los segundos, el 2,2 azobis (isobutironitrilo).

El proceso de descomposición del iniciador puede provocarse térmicamente de manera que la reticulación de la resina depende tanto de la concentración del iniciador como de la temperatura. En algunos casos se utilizan también las radiaciones ultravioletas para provocar la descomposición. El porcentaje del iniciador, en relación al peso, es bajo y suele estar comprendido entre el 0,5 y el 4%.

Cuando el proceso de reticulación necesita que se produzca a temperaturas ambientales, se requiere que junto al iniciador actúe otra sustancia, también en pequeña cantidad, llamada acelerante, activador o promotor. Los acelerantes son sustancias reactivas capaces de producir la descomposición del iniciador aun a muy bajas temperaturas. Los más utilizados son sales orgánicas metálicas como el octoato de cobalto y el nafteato de cobalto y aminas aromáticas como la *n,n*-dimetil-*p*-toluidina y la dimetil anilina. Una formulación típica para un hormigón de resina de poliéster activada con iniciador y acelerante se muestra en la figura 4.

	RELACION EN PESO
RESINA DE POLIESTER INSATURADO	100
ARIDO	500
INICIADOR	0,8
ACELERANTE	0,08

Fig. 4.—Una formulación típica de un hormigón de resina de poliéster insaturado.

Tanto los iniciadores como los acelerantes son sustancias altamente reactivas que, en determinadas condiciones, pueden reaccionar violentamente, inflamarse o explotar, por lo que requieren de un cuidado manejo y almacenaje (3). Una manera usual de trabajar con seguridad es la de dividir el monómero en dos partes y diluir, en una parte, el iniciador y, en la otra, el acelerante. En la posterior mezcla el monómero reticula sin ningún problema.

Los poliuretanos —otro importante grupo de termoestables— se formulan normalmente en forma de dos componentes: un diisocianato y un glicol. El grupo funcional isocianato (-NCO-) es altamente reactivo con el agua por lo que en sus aplicaciones debe tenerse en cuenta la presencia de humedad. Esta reactividad con el agua permite también formulaciones de poliuretanos de un solo componente.

El polimetacrilato de metilo es uno de los termoplásticos más utilizados en los hormigones impregnados y en reparación. En sus aplicaciones se utiliza en forma de monómero que polimeriza in situ por un procedimiento catalítico similar a las resinas de poliéster insaturado.

Variando el tipo de resina y endurecedor en las resinas epoxi y la proporción del sistema catalítico en las resinas de poliéster insaturado o de polimetacrilato, se puede variar el tiempo en que el material es trabajable desde unos pocos minutos hasta varias horas. También puede variarse el tiempo en que el material desarrolla propiedades mecánicas importantes (tiempo de curado). Este tiempo puede ser muy inferior al del hormigón convencional (4).

### 3.2. Propiedades fisicoquímicas

En la figura 5 se muestran algunas propiedades de monómeros y polímeros representativos utilizados con hormigones. Las propiedades señaladas evidencian algunas de las limitaciones que comporta la utilización

	PESO ESPECIFICO gr/cm <sup>3</sup>	VISCOSIDAD MPA.S a 25°C	PRESION DE VAPOR M/M HG 20°C	PUNTO DE EBULLICION °C	SOLUBILIDAD EN AGUA %
ACRILONITRILLO	0,81	0,34	8,5	77	7,4
METIL METACRILATO	0,94	0,94	35	100	1,5
ESTIRENO	0,91	0,91	3	135	0,07
ACETATO DE VINILO	0,93	0,93	115	73	2,5
RESINA EPOXI <sup>(1)</sup>	1,15	10.000	—	—	—
POLIESTER INS/ESTIR. <sup>(2)</sup>	1,11	240	—	—	—
AGUA	1,00	1,00	18	100	100

(1) Resina epoxi Araldite GY250 no modificada de Ciba-Geigy

(2) Resina de poliéster insaturado con un 33% de estireno Estratil 2199 de Río Ródano

Fig. 5.—Propiedades de algunos monómeros utilizados en hormigón con polímeros en comparación del agua.

	PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	TEMPERATURA TRANSICION VITREA (°C)	TEMPERATURA DE DESCOMP. (°C)	RESISTENCIA COMPRESION (MPA)	RESISTENCIA TRACCION (MPA)	MODULO DE ELASTICIDAD (MPA)
POLIESTIRENO	1,05	93	250	95	55	3.500
POLIMETACRILATO DE METILO	1,18	100	260	105	70	3.500
ACETATO DE POLIVINILO	1,19	70	200		20	280
POLICLORURO DE VINILO	1,38	80	110	70		300
RESINA CURADA DE POLIESTER						
INS/ESTIR	1,20	60 - 100	250	130	60	4.300
RESINA EPOXI	1,15	60 - 100	250	115	55	4.250

Fig. 6.—Propiedades mecánicas y térmicas de algunos polímeros utilizados en su estado monomérico o reactivo en hormigones con polímeros.

de estas sustancias y también la importancia que tienen las condiciones de procesado y puesta en obra.

La viscosidad, por ejemplo, es un parámetro de gran interés para conocer las características reológicas y la trabajabilidad de la mezcla hormigón-polímero y es un parámetro esencial para conocer la eficacia de la impregnación en los hormigones de este nombre. Por lo general, las resinas de poliéster insaturado y las resinas epoxi tienen viscosidades altas por lo que suelen ir acompañadas de disolventes reactivos o no que facilitan su procesabilidad.

La presión de vapor o el punto de ebullición de un monómero son otros datos a retener en sus aplicaciones. Una presión de vapor alta implicará una gran volatilidad del monómero y por ello se necesitará en su puesta en obra una técnica que impida su pérdida por evaporación.

La solubilidad en agua indica la compatibilidad que pueden tener los monómeros y polímeros orgánicos cuando se utilizan conjuntamente con los cementos hidráulicos. Como se puede ver, la solubilidad de estos compuestos orgánicos en agua es baja o muy baja y de aquí que se tenga que trabajar con dispersiones del tipo emulsión o en forma de latex.

### 3.3. Propiedades mecánicas y térmicas

Las propiedades mecánicas que se muestran en la figura 6 dan un orden de magnitud de las propiedades que desarrollan los hormigones con ellos formulados. Estas propiedades mecánicas son altamente termodependientes. La temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y la temperatura de descomposición son magnitudes indicativas del efecto que tiene la temperatura y el calor sobre estos materiales y sus compuestos. Mientras que la temperatura de descomposición indica la temperatura a la que el polímero se degrada o destruye por combustión o descomposición, la temperatura de transición vítrea es aquella en la que el material sufre un cambio importante y significativo del comportamiento mecá-

nico, mientras que por debajo de la  $T_g$  el polímero desarrolla propiedades mecánicas notables, por encima de la  $T_g$ , se vuelve más flexible y deformable disminuyendo su resistencia mecánica. Algunas formulaciones de resinas de poliéster y resinas epoxi presentan  $T_g$  relativamente bajas lo que puede ser un serio inconveniente en su utilización en hormigones de polímero (5).

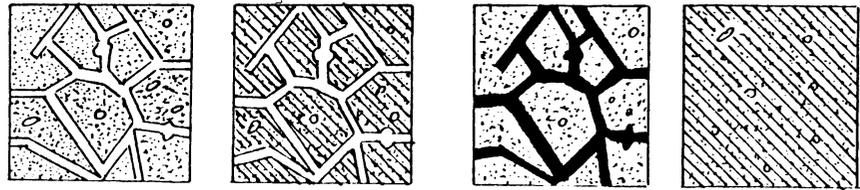
## 4. RELACION ENTRE COMPONENTES, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES CON POLIMEROS

### 4.1. Tipología macroestructural

En el caso más simple, un hormigón con polímero se ha de considerar como un sistema trifásico formado por una fase árida, una matriz ligante y una cierta porosidad inevitable en cualquier proceso de fabricación industrial de estos compuestos (6). En la figura 7 se muestran las diferentes tipologías que desde este punto de vista se pueden dar en función de las diferentes clases de hormigón con polímero (7). Mientras que en un hormigón de cemento portland (CC) y en un hormigón de cemento portland con polímero (PPCC) la porosidad produce una verdadera red de canales que posibilita el contacto de la masa de hormigón con el exterior, en el hormigón impregnado de polímero (PIC), la misión del polímero es precisamente la de cubrir y taponar por lo menos superficialmente esta red de contacto con el exterior. En el hormigón de polímero (PC), la porosidad existente se presenta aislada en centros sin conexión entre sí ni con el exterior.

### 4.2. Tipología microestructural

Además de las consideraciones de orden macroestructural, para explicar el comportamiento y las propiedades que desarrollan los hormigones con polímeros, es necesario recurrir a consideraciones de orden microestructural (8). En este sentido las características de la interfase matriz polimérica-árido juegan un importante papel. Atendiendo a la adhesión de tipo mecánico,



	I CC	II PPCC	III PIC	IV PC
CARGA DE POLIMERO %	0	30	3 - 8	6 - 20
RELACION POLIMERO/LIGANTE	0	0,15 - 50	5 - 15	100
POROSIDAD EN EL MATERIAL LIGANTE, % EN VOLUMEN	12 - 16	10 - 20	3 - 5	5
FASE POLIMERICA	No existe	dispersa	semicontinua	continua

Fig. 7.—Tipos macroestructurales en compuestos de hormigón con polímeros. Ref: Gamski, 1976; Bares, 1972 y Czarnecki, 1984.

la rugosidad y forma superficial del árido influirán en el buen contacto matriz-árido. Las características reológicas de la resina también pueden influir en este sentido: una resina que moje bien el árido impedirá la presencia de aire ocluido en la interfase y propiciará un contacto regular y continuo entre ambas fases. La naturaleza polar tanto de la resina como del árido puede influir también en una buena adhesión. A veces, en las formulaciones de hormigones con polímeros se utilizan los llamados agentes de acoplamiento, productos químicos del tipo organosiloxano que establecen un verdadero enlace químico entre el árido y el polímero.

#### 4.3. Condiciones de puesta en obra y fabricación

Las condiciones operatorias en el momento de la fabricación de la mezcla de hormigón-polímero pueden afectar considerablemente a las características del compuesto resultante.

La forma y tiempos de mezclado y compactación tienen influencia en la magnitud y características de la porosidad (9). En el caso en que el compuesto sea el resultado de un proceso reactivo del material polimérico, la temperatura de trabajo será un factor importante (10). Ya se ha comentado la influencia que tiene la temperatura en la activación del sistema catalítico, a este efecto hay que añadir la influencia que tiene en el propio proceso de reticulación. Cuando por efecto del sistema catalítico y la temperatura, el proceso reactivo se produce muy rápidamente, el calor exotérmico generado unido a la mala conductividad térmica que tienen estos materiales puede provocar gradientes de temperatura importantes que provocan tensiones y fisuras (11). Si el proceso de reacción es muy lento, puede suceder que el material quede endurecido sin que la reticulación se haya completado con pérdida de prestaciones mecánicas. En este caso, este defecto puede subsanarse por medio de un tratamiento térmico posterior (12).

Cuando los hormigones con polímeros son utilizados en reparaciones o como material de impregnación, dentro de las condiciones operativas es de gran importancia la preparación y limpieza de la superficie de aplicación tal como se señalará en el Apartado 5.

#### 4.4. Propiedades mecánicas y térmicas de los hormigones con polímeros

Por lo general, los hormigones con polímeros presentan unas propiedades mecánicas muy superiores al hormigón de cemento portland. En la figura 8 se señalan las principales propiedades que desarrollan los hormigones con polímeros en comparación a los hormigones de cemento.

Si se compara no sólo la resistencia a compresión sino la relación resistencia a compresión/resistencia a tracción (figura 9), los hormigones de polímero de resina de poliéster insaturado y de resinas epoxi son las que presentan mejores características tanto si se comparan con los PIC y PPCC como si se comparan con el hormigón de cemento (CC). Los PIC presentan un elevado módulo de elasticidad indicativo de que se pueden producir en ellos roturas frágiles, lo que puede ser un inconveniente en algunas aplicaciones estructurales. Este carácter no dúctil tiene como contrapartida su baja deformabilidad bajo carga (13).

En el proceso de fabricación o curado, los hormigones con polímero, especialmente los PC, presentan valores importantes de retracción y un coeficiente de dilatación térmica considerable, indicativos de la fuerte termodependencia de estos materiales. Este hecho queda también evidenciado en el valor de la temperatura última de trabajo que queda limitada ya sea por el fenómeno de la transición vítrea o por el proceso de destrucción del retículo por el efecto del calor y la temperatura (14).

	PPC POLIMERO COMO:		PIC	PC PROCESO DE CURADO:		CC
	MODIFICADOR	CO-MATRIZ		POLIMER.	POLICONDEN.	
CONTENIDO EN POLIMERO (% EN PESO)	30	30	3 - 8	6 - 20	6 - 20	—
PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	1,8 - 2,2	1,8 - 2,2	2,3 - 2,4	1,9 - 2,4	1,85 - 2,4	2,2 - 2,4
RETRACCION LINEAL (%)	0,3 - 2,4	0,2 - 0,4	—	0,03 - 3,0	0,5 - 2,4	0,2 - 2
RESISTENCIA A COMPRESION (MPA)	15 - 70	10 - 75	100 - 200	50 - 150	30 - 140	5 - 60
RESISTENCIA A FLEXION (MPA)	2,5 - 20	3 - 8	7,5 - 35	15 - 55	4 - 50	1,1 - 7,2
RESISTENCIA A TRACCION (MPA)	2,5 - 8	2 - 9	4 - 17	5 - 25	1,5 - 8	0,6 - 4,2
MODULO DE ELASTICIDAD (GPA)	4 - 25	15 - 25	20 - 50	10 - 45	3 - 38	5 - 40
DEFORMACION ULTIMA A COMPRESION (%)	3,5 - 6	—	3,5 - 5	12	10	2 - 3,5
COEFICIENTE DE POISSON	0,11 - 0,23	0,23 - 0,3	0,2 - 0,25	0,16 - 0,33	0,20	0,11 - 0,21
COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA (10 <sup>-6</sup> /K)	11 - 15	11 - 15	10 - 17	10 - 35	9 - 30	10 - 12
TEMPERATURA ULTIMA DE TRABAJO (°C)	50 - 80	50 - 80	150	60	150	250
ABSORCION DE AGUA (% EN PESO)	1,2 - 15	1,0 - 1,8	0,2 - 1,1	0,03 - 1,0	0,5 - 3,0	4 - 10

Fig. 8.—Comparación de las principales propiedades de los hormigones con polímeros y el hormigón de cemento portland.

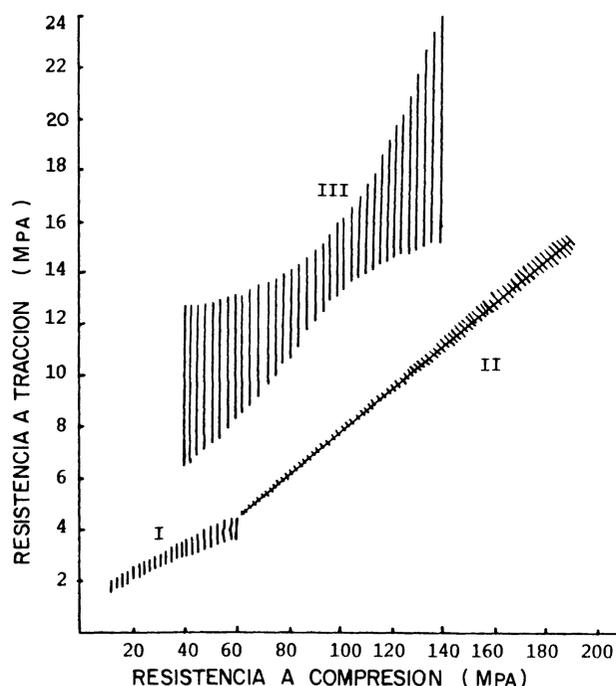


Fig. 9.—Resistencia a tracción versus resistencia a compresión: (1), hormigón de cemento portland; (2), hormigón impregnado de polímero y (3), hormigón de polímero (poliester insaturado y resina epoxi). Ref. Czarneci, 1984.

#### 4.5. Resistencia de los hormigones con polímeros frente a los agentes químicos y atmosféricos

En la figura 8 puede observarse los bajos niveles de absorción de agua que presentan los hormigones con polímeros en comparación con la del hormigón hidráulico. Esto impide la penetración del ataque o agresión al interior del hormigón e imposibilita también la des-

trucción mecánica en los procesos de hielo-deshielo (15).

Los hormigones con polímeros presentan, por lo general, una buena resistencia a los agentes químicos y productos corrosivos, tanto ácidos como básicos (16), aunque en último término dependerá de la estructura química del polímero utilizado en la formulación y de las características estructurales conseguidas en el compuesto.

#### 4.6. Durabilidad

Una de las características poco conocidas de los hormigones con polímeros es su comportamiento en el tiempo. Ello es debido, en parte, a que las aplicaciones son relativamente recientes y, en parte, a que es muy difícil reproducir en el laboratorio unas condiciones que reflejen de una manera acelerada el comportamiento en el tiempo.

Es conocido que la mayoría de los materiales poliméricos sufren en el tiempo el llamado proceso de envejecimiento (16). Con el nombre de envejecimiento se suele designar el conjunto de procesos térmicos y fotooxidativos que originan la degradación y destrucción lenta de estos materiales durante su utilización. Los mecanismos de la degradación son complejos y aún no muy conocidos, se asocian a procesos de despolimerización y rotura de las cadenas por culpa de la acción del oxígeno y de radiaciones altamente energéticas como los rayos ultravioleta de la radiación solar. La manera más utilizada de combatir este efecto es por la adición en la formulación de sustancias como los llamados antioxidantes o absorbentes de luz ultravioleta.

leta, los cuales minimizan o retardan la degradación del material.

Desde el punto de vista mecánico, los hormigones con polímeros tienen una reología (retracción, fluencia) similar a la de los hormigones convencionales, si bien en algunos casos los valores que se pueden alcanzar son significativamente mayores que para aquellos hormigones (17). Estos resultados deben ser tenidos en cuenta a la hora de exigir que la estructura cumpla los requisitos requeridos al final de la vida prevista.

En otro orden de cosas, los materiales poliméricos y sus compuestos de hormigón, a altas temperaturas, como se ha señalado, fácilmente combustionan y arden. Este efecto se puede paliar utilizando aditivos ignífugos, retardadores de llama o sustancias autoextinguibles.

Finalmente, a modo de resumen, en la figura 10 se señalan las ventajas e inconvenientes de la utilización del hormigón con polímeros frente al hormigón convencional.

VENTAJAS	
—	RESISTENCIA A COMPRESION SUPERIOR A 100 MPA
—	BUENA RELACION RT/RC
—	BUENA O EXCELENTE RESISTENCIA QUIMICA
—	ENDURECIMIENTO NO SUPERIOR DE 1 A 3 DIAS
—	AMPLIO CAMPO DE APLICACION
—	POSIBILIDAD DE MATERIALES "HECHOS A MEDIDA"
DESVENTAJAS	
—	COSTE ELEVADO
—	BAJA RESISTENCIA FRENTE AL CALOR
—	CONTRACCION/DILATACION TERMICA IMPORTANTES
—	FALTA DE INVESTIGACION EN LA RELACION COMPONENTES-ESTRUCTURA-PROPIEDADES
—	PROBLEMAS DE ENVEJECIMIENTO Y COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO

Fig. 10.—Ventajas y desventajas del hormigón con polímero frente al hormigón convencional.

## 5. APLICACIONES DE LOS HORMIGONES CON RESINAS EN EDIFICACION Y OBRAS PUBLICAS

### 5.1. Introducción

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, las aplicaciones que a continuación se presentan no incluyen aquellas en las que la resina constituye un fin en sí mismo, por ejemplo, para adherir hormigón viejo y nuevo, láminas impermeables, etcétera, sino aquellas en la que

TIPO DE HORMIGON	APLICACIONES
HORMIGON IMPREGNADO CON POLIMERO	— Tableros de puentes — Tuberías — Presas — Estructuras expuestas a condiciones agresivas
HORMIGON DE POLIMERO	— Reparaciones — Recubrimientos (Protección) — Elementos prefabricados * Sanitarios (Edificación, OP) * Elem. drenaje (Obra Pública) * Paneles * Baldosas, peldaños, etc.
HORMIGON DE POLIMERO Y CEMENTO	— Tableros de puentes — Pavimentos de garaje — Suelos industriales — Reparación — Elementos prefabricados

Fig. 11.—Tipos de hormigón con polímeros y aplicaciones de los mismos.

la resina es un elemento constituyente del hormigón, dando lugar a cualquiera de los tres tipos descritos.

En la figura 11 se muestran los distintos tipos de hormigones con polímeros en las aplicaciones más características de los mismos. Este amplio campo de aplicaciones no tiene un desarrollo paralelo en cada país, sino que en cada uno de ellos se incide más en unos temas que en otros, función de las condiciones de mercado. Así, por ejemplo, en Alemania Federal prácticamente no se utiliza hormigón con polímeros en reparaciones pero, sin embargo, está muy desarrollado su empleo en elementos prefabricados, o bien en bancadas de máquinas herramientas. En Japón se utilizan los hormigones de resinas de poliéster en tuberías. Por otra parte, en los EE.UU. se tiene una dilatada experiencia en reparación de pavimentos con hormigón impregnado y hormigón de polímeros empleando, en gran medida, metacrilato de metilo. Situaciones similares se pueden encontrar en otros países avanzados. Ahora bien, ¿cuál es la situación en España?

Hasta el momento presente, aparte algún estudio de investigación (5), (9), las aplicaciones se centran fundamentalmente en pavimentos industriales y en reparación, si bien el volumen de obra es escaso. No obstante, en la actualidad se está notando una reactivación de estudio en el tema, abarcando más aplicaciones, por ejemplo: elementos prefabricados. Esta dinámica viene propiciada en nuestra opinión por razones tales como:

- Un menor coste del petróleo, con la consiguiente influencia sobre el coste de la resina.

- Una política de la Administración Central, Autonómica y Local favorable a la reparación y rehabilitación.
- Una mayor competitividad industrial favorecida por la entrada en el Mercado Común Europeo.

Por otra parte, en la figura 11 puede observarse la simultaneidad de aplicaciones resueltas con los distintos tipos de hormigón (por ejemplo: elementos prefabricados), incluido el hormigón normal (por ejemplo: tuberías). La adopción de un tipo u otro vendrá condicionada por factores de carácter estético, durabilidad, resistentes, económicos y otros. En el coste no sólo hay que incluir el precio de los materiales constituyentes, algunos de ellos no baratos (resinas), sino el de la manipulación que precisan éstos, por ejemplo: secado de áridos en hormigones de polímeros; es decir, la tecnología de puesta en obra es un factor de gran importancia en el coste total. Ahora bien, aunque el coste total de estos hormigones se puede cifrar entre 5 a 12 veces superior por  $m^3$  a un hormigón normal, estas cifras hay que analizarlas con respecto a otros parámetros: Rendimiento relación resistencia/peso, etcétera, a través de las cuales se demuestra la competitividad de los mismos en el campo de aplicaciones citado. Un estudio sobre los criterios de selección y diseño de estos hormigones se presenta en (17).

Si bien en la figura 11 las aplicaciones se han asociado a un tipo de hormigón, en lo que sigue se revisan las aplicaciones más usuales, independiente del tipo de hormigón, teniendo en cuenta las principales propiedades a exigir de estos hormigones en cada una de las aplicaciones.

## 5.2. Recubrimientos

Dentro de esta denominación se incluyen todas aquellas aplicaciones de hormigones con polímeros, una de cuyas misiones es proteger el elemento base que se recubre de distintos agentes externos.

Una de las aplicaciones más extendidas de este grupo son suelos industriales o bien pavimentos en garajes, etcétera... Dichas aplicaciones están resueltas en la mayoría de los casos con morteros o microhormigones modificados con polímeros (PPCC) empleando diversos latex (estireno, butadieno, polímeros, acrílicos, otros) o formulaciones epoxi.

Estos pavimentos (foto 1) tienen, en general, buen comportamiento frente a las sollicitaciones que pueden estar sometidos: tráfico ligero y/o pesado, ataques químicos debidos a grasas, aceites, otros; impacto de herramientas o cargas, abrasión. La aplicación puede hacerse tanto en obra nueva como en obra antigua (reparación o cambio de uso). En cualquiera de los casos



Foto 1

es de gran importancia para el éxito de la aplicación no sólo el hormigón en sí, sino la preparación de la superficie base soporte de este hormigón.

En este mismo campo está la protección de tableros de puentes frente a la acción hielo-deshielo. En nuestro país esta aplicación es muy escasa, si bien en EE.UU. se estima (18) que cada año se protegen 1.254.000  $m^2$  de tableros de puentes con hormigón modificado con polímero (PPCC) y cantidades, asimismo, muy importantes, con hormigón de polímero y hormigón impregnado de polímero, si bien esta última está en recesión debido al mayor coste de la tecnología de aplicación.

Una característica común a las aplicaciones citadas es que actuando sobre la cinética de la reacción se pueden poner en servicio los distintos pavimentos expuestos a las pocas horas de su ejecución.

Otro campo específico de aplicación dentro de los recubrimientos es en aquellos elementos de hormigón que pueden estar sometidos a una acción importante de agentes agresivos de tipo químico: ácidos, etcétera, debido al buen comportamiento frente a los mismos. Como ejemplo característico de este campo pueden citarse diversos tipos de tuberías y depósitos de líquidos. En estas aplicaciones pueden emplearse los distintos tipos de hormigón con polímeros.

### 5.3. Reparaciones

Las resinas han sido empleadas desde hace varias décadas con éxito en reparación (19), si bien en gran número de casos utilizando la resina sin carga o con un filler (por ejemplo: en fisuras) o bien constituyendo algún tipo de pinturas con resinas. Su empleo en morteros y hormigones dentro de la reparación tanto para pequeñas como para grandes superficies es un sector en incremento (foto 2).

En este campo, fundamentalmente se emplea hormigón de polímeros (PC) y hormigón modificado con polímeros (PPCC) pudiendo cada uno de ellos dar lugar a diversos casos función del tipo de polímero empleado. Los criterios de selección tanto del tipo de polímero como del tipo de hormigón con polímeros pueden ser diversos, algunos de los cuales son:

- Condiciones de exposición a las que está sometido el elemento estructural durante la aplicación y con posterioridad a ella.
- Dimensiones de la zona a reparar (superficie, espesores, etcétera).
- Mínimos cambios de volumen del material.
- Mínimo coste.
- Consideraciones estéticas. (En ciertas aplicaciones arquitectónicas es importante conseguir un color igual al conjunto existente).
- Preparación de los equipos humanos y técnicos que deben operar.

La opción de emplear morteros u hormigones de polímeros o modificados con polímeros en reparación viene fijado en gran medida por las características de la superficie a reparar (espesor y dimensiones). En este sentido al tamaño máximo del árido debe exigírsele que sea menor que 1/3 del espesor de la zona a reparar.

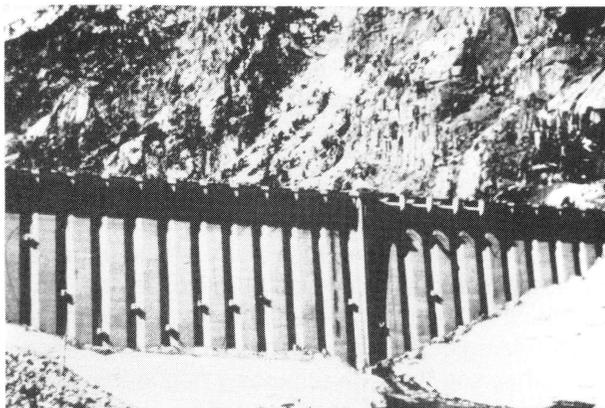


Foto 2

En la reparación de pavimentos con este tipo de materiales, el usuario debe atender, de acuerdo con ACI 548 (18), los siguientes aspectos: Evaluación de la superficie a reparar, preparación de la superficie, selección de materiales, formulaciones, técnicas de colocación, limpieza de equipos y seguridad; existiendo una clara interacción entre algunos de ellos. Así, por ejemplo, una superficie húmeda puede limitar el tipo y las características de la formulación a emplear.

Las formulaciones de los hormigones de polímeros habitualmente empleadas en reparación están compuestas por los siguientes monómeros: Metil metacrilato, estireno, resinas de poliéster insaturado, esterres vinílicos y resina epoxi, dosificando los iniciadores, promotores y endurecedores que se utilicen de forma tal que la cinética de la reacción sea en general rápida (para poder abrir al tráfico en pocas horas) y se desarrolle en condiciones ambientales. En algunos casos se utilizan agentes de acoplamiento para mejorar las características adherentes.

Una característica común a la aplicación en recubrimientos, antes vista, es la adherencia que debe desarrollarse entre las superficies en contacto, de ahí la importancia para garantizar el éxito de la aplicación de la evaluación y preparación de la superficie a reparar. En nuestra opinión es muy interesante la realización de ensayos previos que permitan obtener criterios de esas características adherentes.

Ahora bien, en esta línea de ensayo, la reglamentación existente en España es prácticamente nula, por lo que es muy importante la adopción de unos ensayos de referencia en la relación contractual entre constructor y cliente; como base se pueden utilizar algunas propuestas o normativas existentes (aunque escasas) a nivel internacional (Japón, JIS; EE.UU., ASTM, ACI; Francia, RILEM). Otro aspecto importante es la adecuación del ensayo a la propiedad que se quiera estudiar. Como se ve, este tema es muy interesante e importante estando insuficientemente desarrollado, por lo que se contemplará en una próxima publicación.

### 5.4. Elementos prefabricados

Los hormigones con polímeros, principalmente hormigones de polímeros (PC) o modificados con polímeros (PPCC) presentan diversas ventajas sobre elementos prefabricados de hormigón convencional, por lo que su campo de aplicación es amplio. Estas ventajas vienen asociadas, lógicamente a sus propiedades: mejores resistencias, buen comportamiento frente a agentes agresivos, versatilidad en colores y texturas, etcétera.

El campo de aplicación se extiende a diversas actividades. Así, en la *edificación* pueden encontrarse, en <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

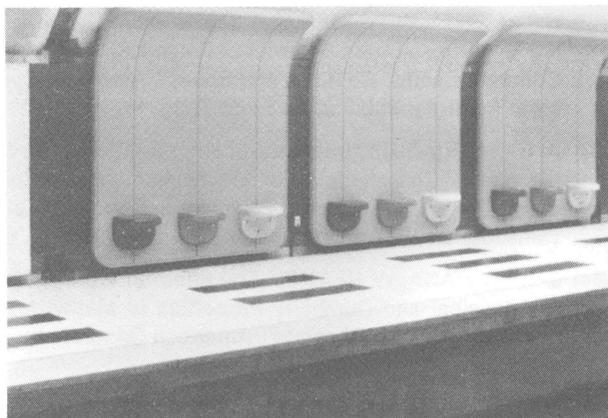


Foto 3

paneles de fachada, elementos sanitarios (lavabos, platos de ducha, etcétera), elementos decorativos (foto 3), peldaños de escaleras, baldosas y otros. En *obras civiles* se han empleado elementos prefabricados con hormigón con polímeros en señalizaciones de carretera, tuberías, elementos de drenaje. Asimismo, han sido utilizados en *obras industriales* tales como: estructuras no conductoras y no magnéticas para soportes de equipos eléctricos, elementos estructurales en industrias ganaderas, estructuras soportes para máquinas herramientas.

La flexibilidad que da el poder actuar sobre la cinética de la reacción, pudiéndose desmoldear a los pocos minutos hace estos hormigones muy adecuados para la prefabricación. Ahora bien, la reacción exotérmica que se produce y la retracción de las resinas hace que se tenga que actuar no sólo sobre la cinética de la reacción sino también sobre espesores y formas de los elementos prefabricados. En algunos casos, para disminuir las tensiones internas que puedan producirse, habrá que fabricar el elemento por partes y unir con posterioridad las mismas.

El tipo y cantidad de las resinas a emplear viene en cada caso definido por las propiedades a conseguir: el tipo de elemento (geometría) y el sistema de compactación. Como con cualquier otro material, las propiedades exigidas deben ser estables o con variaciones pequeñas en el tiempo. Así, por ejemplo, en un elemento decorativo debe exigirse un buen comportamiento frente a radiaciones ultravioleta, etcétera.

En relación a los sistemas de compactación pueden emplearse cualquiera de los sistemas convencionales, teniendo en cuenta el tipo de elementos que se tratan, el empleo de vibradores externos asociados al molde y que puedan dar una presión de mejores resultados que en otros casos. En cuanto a los moldes éstos deberán ser duraderos, resistentes a los disolventes, tener un bajo coeficiente de dilatación térmica, superficies limpias y preferiblemente buen conductor del calor.

El requisito exigido al molde, de ser resistente a los disolventes, es extrapolable a los demás medios utilizados en la fabricación, por ejemplo, amasadora, etcétera..., ya que estos equipos se limpian con disolventes. En la actualidad existen en el mercado equipos que permiten alcanzar producciones de 2 t/hora.

Si bien el factor económico no es prioritario en algunos de estos elementos, por ejemplo: paneles decorativos, sí lo puede ser en otros más convencionales, por ejemplo: tuberías, en los que la competitividad se alcanza por una disminución considerable de espesor frente a una tubería de hormigón normal. Esta disminución basada en las buenas relaciones resistencia/peso que se obtienen en los hormigones con polímeros está limitada por un cansancio mayor en éstos (20).

## CONSIDERACIONES FINALES

A manera de conclusiones o consideraciones finales cabe señalar que estos hormigones "casi" pueden proyectarse y fabricarse a "medida" de las necesidades requeridas por el proyectista o constructor.

Tres son las propiedades principales que direccionan en gran medida el campo de aplicación de los mismos. Estas son: Buenas relaciones resistencia/peso, buen comportamiento frente a agentes agresivos y buena adherencia.

El mayor coste de los hormigones con polímeros frente al hormigón convencional, su elevada termodependencia y el escaso conocimiento de su comportamiento en el tiempo pueden limitar su utilización.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo recoge parte de la experiencia propia obtenida en el desarrollo de los proyectos 0841/81 y 2629/83 de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT), a la cual queremos expresar nuestro agradecimiento.

Queremos, asimismo, expresar nuestro agradecimiento a las fuentes de donde han surgido las fotografías: Sr. Carbonell, de Texsa, Janin Construction Ltée, Fosroc.

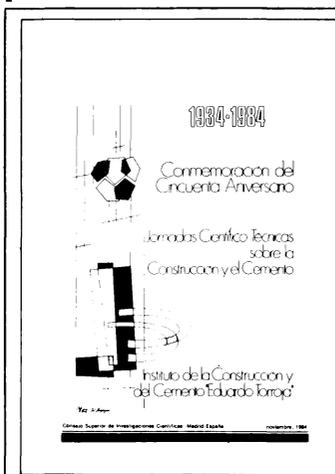
## REFERENCIAS QUE SE CITAN

- (1) D. W. FOWLER: "Applications of Concrete-Polymer Materials in Building and Construction". 3rd Int. Congress on Polymers in Concrete. 1982.
- (2) T. M. AMINABHAVI, P. E. CASSIDY, L. E. KUKACKA: "Use of Polymers in Concrete Technology". JMS Rev. Macromol. Chem. Phys., C 22 (1) 1-55 (1982-83).

- (3) D. W. FOWLER, L. E. KUKACKA, D. R. PAUL, E. K. SCHRAEDER, W. C. SNDAK: "Safety Aspects of Concrete. Polymer Materials". American Concrete Institute. Publication SP-58, 7 pp. 123-138, 1978.
- (4) A. AGUADO, A. MARTINEZ, J. M. SALLA: "Effects of Different Factors in Mixing and Placing of Polymer Concrete" 4 Int. Congress on Polymers in Concrete. Darmstadt, 1984, pp. 299-303.
- (5) F. ARREDONDO, M. FNDEZ. CANOVAS, J. FONTAN, L. LOPEZ: "Mejora del hormigón mediante su impregnación con polímeros vinílicos. Aplicación industrial". Monografía 345 del Inst. Eduardo Torroja. Madrid 1977.
- (6) L. CZRNECKI: "Introduction to Material Model of Polymer Concrete". 4 Int. Congress on Polymers in Concrete. Darmstadt, 1984, pp. 59-64.
- (7) K. GAMSKI: "Resinous Binder Concrete". 1 Int. Congress on Polymers in Concrete. London 1976, pp. 223-229.
- (8) R. BARES, J. JAVORNICKY, J. NAVRASIL. "Some Basic Features in Mechanics of in Homogeneous Materials". Conference on Mechanical Behaviour of Materials. The Soc. Materials Science. Japan. Volum 5 1972, pp. 42-53.
- (9) J. M. SALLA, A. AGUADO: "Voids and Porosity in Composite Materials Factors Affecting the void Content in Polyester Resin Concrete". 1<sup>er</sup> Int. Congress R.I.L.E.M. From Materials Science to Material Engineering". París, Setem-ber, 1987.
- (10) Y. NOJIRI, H. KOBAYASHE, T. TAKATJUKA, T. HIROSE: "Strength of Quick-Setting Resin Mortar Tunnel". 3<sup>er</sup> Int. Congress on Polymers in Concrete, 1982, pp. 599-613.
- (11) H. J. NESCHKE: "Stress and Strain Analysis Between Cementitious Concrete and Polymer Concrete". 3<sup>er</sup> Int. Congress on Polymers in Concrete", Koriyama, Japan 1982, pp. 477-489.
- (12) H. C. MEHTA, W. F. CHEN, J. A. MASON, J. W. VANDERHOFF: "Stress-Strain Behavior of Polymer-Impregnated Concrete Beams, Columns, and Shells". American Concrete Institute. Publication SP-58-7, pp. 161-186, 1978.
- (13) A. RIO, S. RIAGINI: "Influence of High Temperatures on Mechanical Characteristics of Polymer-Impregnated Concrete". 3<sup>er</sup> Int. Congress on Polymers in Concrete. Koriyama, Japan 1982 pp. 888-903.
- (14) J. J. FONTANA, W. REAMS: "The effect of Moisture on the Physical and Durability Properties of Methyl Methacrylate Polymer Concrete". American Concrete Institute. SP-89, pp. 91-104, 1985.
- (15) Y. OHAMA, T. MORIWAKI, K. SHIROISHIDA: "Weatherability of Polymer-Modified Mortars Through Ten-Year Outdoor Exposure". 4 Int. Congress on Polymers in Concrete. Darmstadt, 1984, pp. 67-71.
- (16) N. GRASSIE, G. SCOTT: "Degradation and Stabilization of Polymers". University Press. Cambridge, 1985.
- (17) A. AGUADO, J. M. SALLA, J. M. VELASCO, A. MARTINEZ: "Criterios de selección y diseño de hormigones de polímeros". 1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Materiales Compuestos. Zaragoza, 1-4 junio 1987.
- (18) ACI: "Guide for the Use of Polymers in Concrete". ACI. Journal Sep-Oct. 1986. Committee Report ACI 548. 1R-86.
- (19) M. FERNANDEZ CANOVAS: "Las resinas en la construcción". 2.<sup>a</sup> edición. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1981.
- (20) J. M. VELASCO: "Características mecánicas de los hormigones de polímeros con resinas de poliéster y su incidencia en proyecto". Tesis doctoral E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña. (En realización).

\* \* \*

## publicación del i.e.t.c.c.



### Jornadas Científico-Técnicas sobre la Construcción y el Cemento

En un deseo de informar eficazmente sobre la situación actual en el campo de la Construcción y del Cemento, los investigadores y técnicos agruparon sus exposiciones en los siguientes tres grandes temas: Materiales de Construcción, Tecnología de la Construcción, y Normativa-Calidad-Cooperación. Se consiguió de esta manera presentar una panorámica real de la Investigación y Desarrollo en la materia.

Consideramos que el libro es de interés para cuantos siguen la evolución de la Construcción en general y que en muchos casos encontrarán estudios, en profundidad, de temas y problemas puntuales.

Esta obra se publicó con motivo de la celebración de las Bodas de Oro del Instituto Eduardo Torroja - Noviembre 1984 y en sus 283 páginas se recogen, de forma cronológica, las 35 intervenciones, conferencias y comunicaciones de los numerosos especialistas —nacionales y extranjeros— que tomaron parte.