

# LA MÚLTIPLE IDENTIDAD DEL HORMIGÓN

(THE MANIFOLD IDENTITY OF CONCRETE)

José Luis Ramírez Ortiz, Dr. Ingeniero Industrial. LABEIN, Centro Tecnológico

ESPAÑA

Fecha de recepción: 20-II-98  
680-7

## RESUMEN

*Entre los profesionales del sector de la construcción se percibe a veces la sensación de que la sociedad no valora justamente la tecnología basada en el material llamado hormigón, quizás, por las apariencias comunes y asimilación con la construcción más tradicional.*

*El presente artículo pretende mostrar los variados materiales que se encuentran detrás de la palabra "hormigón", realizando una explicación básica de los diferentes tipos no convencionales por medio de varias tablas y un gráfico, que muestran, conjuntamente, las propiedades de todos ellos y, por tanto, la riqueza tecnológica que está detrás de dicho concepto.*

## SUMMARY

*The professionals in the construction sector have sometimes the perception that society does not rate fairly the technology based in the material called concrete, perhaps because of common appearances and assimilation with more traditional construction.*

*This article intends to explain the manifold materials corresponding to the word "concrete", giving a basic explanation of the different non conventional types, and presenting some tables and a graph showing jointly the properties of all them, and consequently the technological richness that is behind such a concept.*

## Introducción

El hormigón, hoy en día uno de los dos materiales de construcción básicos, es la agrupación o concreción (de ahí su denominación anglosajona "concrete") de partículas de piedra por medio de un aglomerante, constituyendo una especie de piedra artificial de elevada resistencia a la compresión, aunque baja a tracción. En su preparación hay una fase plástica, que va desde el amasado hasta el fraguado, teniendo, por ello, la propiedad de ser formáceo: de poderse colar en un encofrado de la forma deseada (en nuestro idioma, hormigón, se deriva de formicus-formáceo).

Con esta definición podemos encontrar materiales de construcción utilizados por diversos pueblos bastantes siglos antes de nuestra era. Así [1], los asirios y babilonios fueron, con toda probabilidad, los primeros en mezclar cal, arcilla y agua y los fenicios mezclaban cal con ladrillo molido más de 700 años antes de nuestra era y de la

llegada de la civilización romana, de lo que nos han llegado bastantes ejemplos.

Los romanos, sin embargo, supusieron un hito histórico en relación con el desarrollo de este material puesto que, de alguna manera, recogieron y documentaron [2] su fabricación y método constructivo. Utilizaron principalmente como componentes, además de la piedra triturada, la cal y la ceniza volcánica que constituían una especie de primer tipo de cemento hidráulico. No solamente establecieron el material, sino también una tipología y técnicas de construcción a través de múltiples tipos de obras: palacios, edificios, puentes y acueductos, puertos y carreteras.

A lo largo de los siglos hasta nuestra época, dicho cemento romano ha dado resistencia a buena parte de nuestras construcciones con materiales de la naturaleza descrita, en concurrencia poco diferenciada con las cales aéreas o

hidráulicas. Pero la definición moderna de aquel aglomerante hidráulico que nos ha llegado a lo largo de 3.000 años fue la patente del cemento portland en 1824 y, sobre todo, el descubrimiento del armado con hierro del conglomerado, para proporcionar resistencia frente a los esfuerzos de tracción que aparecen en las construcciones.

Este descubrimiento del mortero u hormigón armado a mediados del siglo pasado condujo, a finales del mismo, a diversas patentes [3]: Monier, Blanc, Ribera, Hennebique, con las que se construyó gran número de obras, a caballo entre los dos siglos. Otro paso adelante lo constituyó el desarrollo del hormigón pretensado, Freyssinet, hacia 1930.

Ha pasado bastante tiempo desde estos trascendentales descubrimientos, se han desarrollado enormemente sus planteamientos teóricos y, tanto el hormigón armado como el pretensado, han alcanzado un alto grado de madurez. Sin embargo, en cierta manera, hay la percepción de que la sociedad no valora justamente el nivel de la técnica involucrada en esta tecnología de construcción, quizás por las apariencias comunes con la construcción más tradicional e, incluso en el mundo científico da la sensación, a veces, de ser considerada como una tecnología "menor" frente a los temas habituales "prioritarios", como son las tecnologías de la información, los "nuevos" materiales o el medio ambiente.

Estimamos que dichas opiniones no hacen justicia a las tecnologías del hormigón y que, a lo largo del tiempo, estamos asistiendo a un esfuerzo en todo lo que respecta al desarrollo de hormigones y armaduras especiales, juntamente con una abundante investigación teórica y experimental, apareciendo en el mercado materiales con propiedades especiales, todavía poco utilizados, pero con futuro prometedor.

El presente artículo pretende hacer una exposición conjunta sobre los principales tipos de hormigones especiales: ligeros, poliméricos, con fibras y de alta resistencia, haciendo una sucinta presentación de su naturaleza y propiedades, leyes de funcionamiento y aplicaciones.

### Hormigón ligero

El hormigón normal presenta el inconveniente de su elevada densidad que penaliza los pesos propios de la estructura. Por ello, en distintas épocas, se ha buscado el hacerlo más liviano, con la utilización de áridos ligeros, naturales o artificiales.

Hay precedentes históricos como la cúpula del Panteón, en Roma, del siglo II a.c., de 44 m de diámetro, en donde se empleó piedra pómez como árido de la masa.

Pasando a nuestra época, en 1917 ya se producen en Estados Unidos áridos ligeros en hornos rotatorios por expansión de arcillas y pizarras que, entre otras cosas, se emplearon en calzadas de puentes y cascos de buque, experimentando un fuerte desarrollo dicha tecnología en los años 50, debido a la construcción de rascacielos.

El desarrollo en Europa de la fabricación de árido ligero ha sido más lento aunque, en estos momentos, alcanza cotas de importancia [4].

Aunque los áridos ligeros pueden ser naturales, los hormigones ligeros se basan en áridos fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra, en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables.

La expansión crea un árido que encierra cantidades variables de aire en su interior y que proporciona ligereza (densidades aparentes entre 300 y 800 kg/m<sup>3</sup>) y elevados valores de aislamiento térmico y acústico. La ligereza de los áridos se traduce en la del hormigón con ellos fabricado, que oscila entre 1.000 y 2.000 kg/m<sup>3</sup> para el hormigón ligero estructural, alcanzando, sin embargo, resistencias elevadas que permiten el pretensado e incluso su calificación de hormigones de alta resistencia (> 50 MPa).

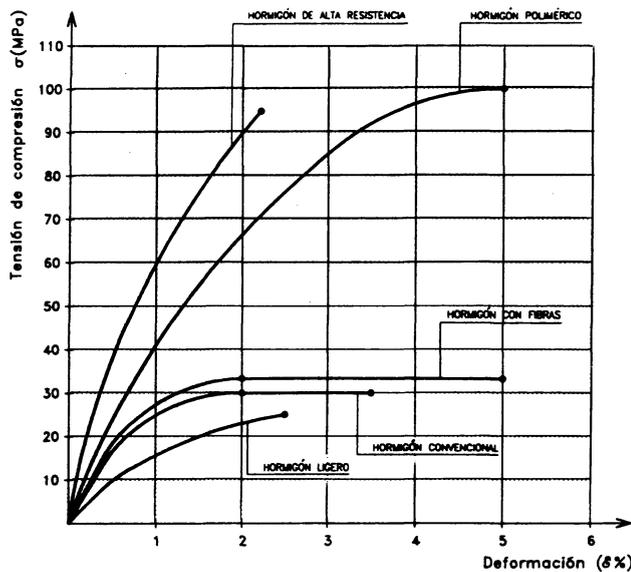
La fabricación de estos hormigones precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían a la docilidad, aunque, un exceso de agua, perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del árido grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema a estudiar, debido a que la presión introduce agua de la masa al árido, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el hormigón normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica.

En cuanto al cálculo, en estos momentos se dispone de un Documento del Eurocódigo 2, la parte 1-4, titulada "Reglas generales. Hormigón de Árido Ligero de Textura Cerrada", que admite densidades entre 1.000 y 2.000 kg/m<sup>3</sup> y contempla resistencias entre 12 y 50 MPa [5].

En general, se sigue la metodología de cálculo habitual del hormigón, utilizando parámetros de características dadas especialmente para este material, con la posibilidad de utilizar un diagrama tensión-deformación bilineal.

### Hormigones poliméricos

La construcción en nuestros días viene exigiendo materiales que superen las propiedades habituales y las limitaciones



Diagramas tipo tensión-deformación para diferentes hormigones.

existentes. En el dominio de los hormigones que estamos tratando se persigue, desde hace tiempo, el lograr con rapidez resistencias altas y muy altas, sobre todo para prefabricados, a fin de disminuir tamaños, espesores y peso propio, siendo muy importante el disponer de una relación tracción/compresión más alta que en los hormigones habituales.

Además de la resistencia, la durabilidad es otra propiedad cada vez más valorada, hoy que contemplamos una cierta vejez prematura de abundantes estructuras de hormigón, construidas, ciertamente, con una tecnología incipiente y con defectos de calidad en muchos casos, pero que no permite olvidar una cierta debilidad del hormigón frente a ambientes agresivos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de polímeros en el hormigón, que comenzó en los años 1950 en forma de adiciones para mejora de la adherencia y resistencia al desgaste de morteros o la fabricación de mármol artificial, ha dado paso, en los últimos 25 años, a un amplio reconocimiento de los hormigones fabricados o modificados con polímeros como material de construcción. Dentro del campo de la tecnología de polímeros, en asociación con el hormigón, se pueden distinguir tres tipos de materiales, de acuerdo con sus condiciones de fabricación [6].

El hormigón modificado con polímeros se logra adicionando la resina en el amasado de cemento y áridos, con lo que la matriz ligante queda constituida por cemento y polímero. El hormigón impregnado con polímeros se fabrica por introducción de un monómero o polímero en la red de poros del hormigón -ya endurecido- y posterior polimerización in situ, lo que provoca un taponamiento de los canales de contacto del hormigón convencional con el exterior. Por último, la denominación de hormigón polimérico se refiere

al material que resulta del amasado de los áridos con resinas como único aglomerante.

Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de hormigón, pero, en el caso de los citados últimamente (hormigones poliméricos), las resinas más utilizadas son las epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato.

El hormigón polimérico es, en esencia, una mezcla constituida por dos fases: una continua, que es la resina, y otra dispersa, que es el árido.

Las características del material dependerán, fundamentalmente, de estos dos constituyentes, pudiéndose controlar para posibilitar la fabricación de un material "hecho a medida", de forma que tengan un amplio espectro de aplicación.

En sus prestaciones más elevadas puede obtenerse:

- Muy alta resistencia a compresión 100/150 MPa.
- Muy alta resistencia a tracción 30/40 MPa.
- Muy alta relación de las resistencias a tracción y compresión, 1:4, frente al 1:10 del hormigón normal.
- Gran rapidez de endurecimiento (horas).
- Excelente durabilidad frente a agentes químicos agresivos.
- Curva carga-deformación del tipo usual en hormigones.

Los principales problemas provienen de las propiedades viscoelásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto, fluencia más acusada y susceptibilidad a la temperatura, que no podrá pasar de niveles del orden de los 100 °C.

Hay que cuidar el valor de la tensión para cargas mantenidas, pues, por efecto de la fluencia, se llega a la rotura a niveles tensionales a veces sustancialmente menores que la carga de rotura. Para muchos hormigones poliméricos comunes puede ser peligroso el mantenimiento del 50% de la carga de rotura.

El manejo de estos hormigones es el normal en cuanto a equipos de amasado y compactación, pero debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación, sobre todo en grandes amasadas, que pueden reducirlo por efecto del calor desprendido, y prever posibles deformaciones residuales al endurecer, máxime cuando hay armaduras internas, que siempre es recomendable que se coloquen aunque el material presente una importante resistencia a tracción. Otras precauciones deben dirigirse a la protección de los operarios y frente a incendio, debido a los volátiles que se producen, y a la limpieza de todos los útiles después del trabajo.

Además del moldeado normal es posible producir elementos por inyección, de espesores de 20 mm y menores, no teniendo, las piezas, porqué estar en los moldes más de 30

minutos. La prefabricación es un sector de gran potencial para una posible expansión de este tipo de productos. A las ventajas genéricas de los morteros y hormigones poliméricos se unen, para este tipo de productos, las posibilidades de adhesión, fijación con insertos metálicos, color, textura superficial, etc. Además, la ligereza de las piezas frente a las de hormigón tradicional las puede hacer competitivas, compensando el mayor precio con menores costes de transporte y de colocación.

Un campo de utilización importante es el de la reparación de estructuras de hormigón, gracias a las altas resistencias específicas, la posibilidad de pequeños espesores, la fuerte adhesión a los substratos y la impermeabilidad frente a agentes agresivos.

Desde el punto de vista del cálculo [7] no hay todavía un código establecido, pero se obtienen buenos resultados con la metodología del hormigón armado tradicional, adaptando el diagrama carga-deformación, de acuerdo con las propiedades específicas del material, a la forma parábola-rectángulo, rectángulo o triángulo-rectángulo, siendo, esta última, la que hemos tenido ocasión de comprobar [8]

### Hormigón reforzado con fibras

Aunque se esté considerando como un material moderno, las fibras se han utilizado históricamente para reforzar materiales frágiles: la paja, para los ladrillos de arcilla cocidos al sol; el pelo de caballo, para las molduras de yeso; el asbesto (hoy prohibido), para fabricados de cemento.

En 1950 aparecen estudios y patentes de aglomerados de cemento con fibras distribuidas al azar y, en los años 60, diversos científicos publican artículos que despiertan el interés de la investigación académica e industrial sobre el tema. A partir de ese momento ha existido una actividad muy intensa de investigación sobre estos materiales, a la vez que se ha construido con dichos productos [9].

Los materiales de cemento hidráulico reforzados con fibras suponen una amplia familia de productos. El comportamiento de estos materiales depende de la composición de la matriz, mortero u hormigón y del material de la fibra, su geometría, su distribución, orientación y concentración. Por ello, hay que admitir diferentes leyes de comportamiento dentro de los mismos.

A continuación nos referiremos, fundamentalmente, a los hormigones, dentro de la comparación que estamos haciendo.

Las fibras pueden ser de acero, vidrio, sintéticas (acrílicas, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno, polipropileno) y naturales (coco, sisal, bagase...). Si exceptuamos las fibras de acero que pueden llegar a tener hasta medio milímetro de diámetro, las otras se mueven en

diámetros de 10 a 100 micras. Sus resistencias oscilan entre 0,3 y 3,5 GPa, es decir, alcanzan valores hasta 10 veces el del acero corriente.

Un parámetro característico de las fibras es, precisamente, el que define su esbeltez o aspecto (longitud dividida por diámetro equivalente) que para longitudes de fibras entre 6 y 75 mm tiene valores entre 30 y 150. Otra magnitud que influye en el comportamiento es el espaciamiento, que es función del porcentaje de fibra y de su diámetro o volumen [10].

El hormigón reforzado con fibras tiene un mecanismo de comportamiento respecto al material en masa tal que la primera grieta se forma para cargas superiores, tanto más cuanto menor es el espaciamiento, estableciéndose, después de esa primera grieta, un período dúctil tras alcanzarse una resistencia máxima, que depende del volumen, del aspecto y de la adherencia de las fibras.

Para las cantidades de fibra usuales, aumenta poco la resistencia en lo que respecta a la primera grieta, pero mucho, sin embargo, en lo referente a la resistencia última. La armadura a que equivalen las fibras es menor que con un armado tradicional unidireccional, pero en cambio ello mejora mucho la tenacidad de las piezas, por la dispersión de las orientaciones en todas las direcciones.

Con fibras de acero hasta 4,5% de volumen, por ejemplo, se obtienen hasta 2,5 veces mayores resistencias a flexión. La resistencia a compresión aumenta sólo ligeramente, pero la tenacidad, energía necesaria para la fractura completa del material, se incrementa hasta valores del orden de 40 veces el correspondiente al hormigón sin fibras. También es muy interesante la resistencia al impacto, la menor fluencia del material bajo carga mantenida y la gran mejora de la resistencia a fatiga.

La ejecución de estos materiales se hace normalmente por amasado o por proyección. En el amasado se presentan dificultades por la posible segregación y, sobre todo, por la formación de bolas y erizos, lo que puede paliarse utilizando árido de tamaño máximo reducido, del orden de 10 mm. Ello lleva también a la utilización de agitadores para dispersar las fibras y alimentadores a continuación del paso por un tamiz. Se puede bombear con éxito, siempre que no se emplee un volumen muy alto de fibra y se utilicen mayores tuberías que las habituales. Hay que tener en cuenta que eso se hace, habitualmente, con el hormigón proyectado por vía húmeda.

La mejora generalizada que la fibra dispersa proporciona en resistencia a tracción y tenacidad, hace que se emplee bastante en losas de aeropuertos y carreteras, en la reparación de piezas con problemas de cavitación, en depósitos, bancadas y cimentaciones de máquinas que producen choques y vibraciones, muelles y rompeolas, etc.

## Hormigón de alta resistencia

El concepto de "Hormigón de Alta Resistencia" (HAR) presenta cierto grado de arbitrariedad y ha variado con el tiempo. Así, en los años 50, se llamaba alta resistencia a los 35 MPa, en los 60 a los 40-50 MPa. Actualmente, la definición del CEB-FIP sirve de guía, indicando que son HAR los hormigones cuya resistencia a compresión está comprendida entre el límite superior que al respecto establecen actualmente las normas nacionales (alrededor de 60 MPa) y los 130 MPa, valor máximo que, en la práctica, puede alcanzarse con áridos convencionales.

Otras definiciones de HAR se basan en aspectos distintos a la resistencia como aquél que utiliza humo de sílice o aquél en el que el mortero es tan resistente como el árido. Últimamente se suele referir a este tipo de hormigones con el apelativo de "Hormigones de Altas Prestaciones" (HAP) significando que las características de composición inherentes a los hormigones de alta resistencia implican la existencia de otras propiedades adicionales muy importantes: facilidad de compactación, resistencia a agentes agresivos y mayor durabilidad, entre otras.

Los elementos fundamentales que concurren en un HAR son [11] [12]:

- Elevado contenido en cemento 400-500 kg/m<sup>3</sup>, procurando que sea de bajo contenido de adiciones para mayor actividad puzolánica, regularidad en su composición y bajo calor de hidratación. Son factores limitadores de la dosificación la posible falta de dispersión del cemento en la masa y la máxima temperatura admisible en el fraguado.

- Muy bajo contenido en agua, relación a/c de 0,25-0,4, con elevada docilidad, que permita colocar el hormigón en zonas de alta densidad de las armaduras, lo que se logra mediante la utilización de reductores de agua de alto rango (superplastificantes), cuya compatibilidad con el cemento debe ser comprobada y que en dosificaciones excesivas pueden generar problemas de pegajosidad de la masa.

- Acción cementante y reducción de huecos por adición de partículas sólidas como la microsílíce o las cenizas volantes.

La microsílíce o humo de sílice, obtenida como subproducto de la fabricación del ferrosilicio, consiste en pequeñísimas esferas de SiO<sub>2</sub> de 0,1-0,2 micras de diámetro, lo que afina, por una parte, el sistema de poros y, por otra, se combina con la cal libre del fraguado del cemento, produciendo silicatos de calcio hidratados. Se emplea, en general, en proporciones del 5 al 10% del peso del cemento.

Las cenizas volantes se utilizan por su acción puzolánica, que es menos activa y más lenta que la de la microsílíce. Son porcentajes normales 15-25% del peso del cemento.

- Áridos de calidad que permitan el desarrollo de elevada resistencia, siendo generalmente su tamaño máximo reducido 12-14 mm, puesto que dan lugar a menores concentraciones de tensiones en la zona de transición entre los áridos y la matriz del hormigón.

Aun cuando los HAR son materiales de la misma familia de los hormigones habituales, sus propiedades y magnitudes a introducir en los cálculos no pueden obtenerse simplemente por extrapolación de los hormigones normales, por lo que estamos asistiendo a una gran actividad de investigación sobre el tema.

Como es de esperar, la fabricación de los HAR tiene sus peculiaridades. Al ser la mezcla muy seca existen problemas en su homogeneización, en especial que el superplastificante se distribuya por igual en la pasta, siendo, entre otras cosas, el tiempo de amasado el 50% mayor que para los hormigones normales, estimándose conveniente un amasado más enérgico que el de un hormigón convencional. El muy alto contenido en cemento y el bajo tamaño de árido lo hacen especialmente apto para el bombeo.

Con los niveles de resistencia que se pretende es fundamental la precisión de la dosificación de los componentes y el aseguramiento de la calidad de los mismos.

Desde el punto de vista de propiedades y de las diferencias con los hormigones habituales, la más significativa es el diagrama tensión-deformación, que resulta notablemente diferente del hormigón convencional. Se caracteriza por:

- . Una rama, prácticamente lineal hasta la tensión máxima, debido a que la microfisuración de la interfase pasta-árido se produce al 90% de la rotura. Dichas roturas son frágiles y explosivas.

- . La deformación para la tensión máxima es algo superior a la habitual, pero la deformación última es inferior, tanto menor cuanto mayor es la resistencia.

- . La curva de caída de resistencia a partir de la rotura presenta mayor pendiente.

Otras diferencias cualitativas son el menor coeficiente de Poisson (lo que hace que en los HAR sea menos eficaz el zunchado), el más pequeño coeficiente de reducción de resistencia por cargas permanentes, la menor relación resistencia a tracción/compresión y el aumento de la durabilidad, debido, en general, a su alta compacidad.

Hoy en día hay abundante normativa internacional que proporciona, bien sea como norma específica o como adición a la convencional, parámetros de cálculo para el dimensionamiento.

## PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES

PROPIEDAD (Valor Orientativo)	TIPO DE HORMIGÓN				
	Convencional	Ligero	Polimérico	Con fibras	Alta resistencia
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,3 - 2,4	1,2 - 1,8	1,8 - 2,4	1,9 - 2,3	2,3 - 2,5
Resistencia a compresión (MPa)	25 - 60	15 - 55	50 - 150	25 - 60	60 - 130
Resistencia a tracción (MPa)	2 - 3,4	2,5 - 5	5 - 25	3 - 5	5 - 6
Módulo de elasticidad (GPa)	30 - 40	8 - 19	10 - 45	30 - 40	40 - 55
Deformación última f-comp (%)	3,5	2,5	5	5	2,2 - 3,1
Coefficiente de Poisson	0,2	0,2	0,2 - 0,3	0,25	0,18 - 0,24
Retracción	0,35	0,35	1 - 8	0,35 - 0,5	0,35
Coef. de dilatación térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	10 - 12	8 - 10	10 - 35	7 - 12	10-12
Temperatura última trabajo (°C)	350	400	80	350	150
Absorción de agua (%)	4 - 10	12 - 22	0,03 - 1,0	2-8	0,5 - 1,5
Fluencia específica (Compresión 10 <sup>4</sup> /MPa)	50 - 220	40 - 130	35 - 180	40 - 200	18 - 40
Adherencia $\tau_{ca}$ al acero corrugado (MPa)	6 - 12	4 - 9	15 - 40	10-20	20 - 24
Resistencia a la corrosión	Pobre a mediana	Pobre a mediana	Buena a excelente	Buena	Muy Buena
Conductividad térmica (Kcal/mh°C)	1,4	0,3-0,6	1,2 - 1,4	1,4-1,6	1,4

## RESPUESTA CUALITATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE HORMIGÓN A NECESIDADES ESTRUCTURALES

	Convencional	Ligero	Polimérico	Con fibras	Alta resistencia
Resistencia a Compresión	M	M	A	M	A
Relación Tracción/compresión	B	B	A	M	B
Módulo de Elasticidad	M	B	M	M	M
Capacidad de Deformación	M	B	A	A	B
Ligereza	M	A	M	M	M
Rapidez de Utilización	B	B	A	B	M
Posibilidad de pequeños espesores	B	M	A	M	M
Resistencia Química	B	B	A	B	M
Resistencia a Temperatura	A	A	B	A	M
Capacidad de Unión	B	B	A	B	B
Facilidad de Fabricación	A	M	M	M	M
Económico	A	M	B	M	M

A Alta                      M Mediana                      B Baja

En cuanto a la utilización en edificios, es, sobre todo, en los de gran altura, donde es más clara e inmediata, por la gran repercusión de los muy altos niveles de resistencia en las columnas en que predomina la compresión, facilitando, asimismo, unos menores plazos de desencofrado por el rápido desarrollo de resistencias a primeras edades. El bombeo facilita la ejecución y se logra una sustancial

## APLICACIONES DE LOS DISTINTOS TIPOS DE HORMIGÓN

	Convencional	Ligero	Polimérico	Con fibras	Alta resistencia
Estructuras de edificios	X	X			X
Cimentaciones	X				
Estructuras de puentes	X	X			X
Tableros de puentes	X	X	X		X
Muros	X				
Revestimientos de túneles		X		X	
Estructuras portuarias	X				
Presas	X				
Tanques y depósitos	X		X		
Tuberías	X		X		X
Traviesas ferroviarias					X
Paneles prefabricados	X	X	X	X	X
Drenaje y sanitarios	X		X		
Arquetas y cajas enterradas	X		X		
Compartimentos inst. elect.	X		X		
Mobiliario urbano	X			X	
Baldosas, peldaños, etc.	X				
Recubrimientos protección		X	X	X	
Hormigones refractarios		X			
Pavimentos garaje				X	
Suelos industriales			X	X	
Reparación		X	X	X	X
Ambientes agresivos			X		X
Fuerte agresividad química			X		
Firmes de carretera					X
Plataformas off-shore					X

reducción de la sección transversal, con gran rebaja de costes por menos volumen de hormigón y costos derivados y aumento de la superficie disponible con el consiguiendo margen en la venta.

En puentes, más que la pura resistencia son las altas prestaciones las que motivan de forma creciente su utilización. Mayores luces, menores deformaciones y menores pérdidas de pretensado por fluencia reducida son ventajas que pueden lograrse, junto con una larga vida de servicio garantizada por la mayor durabilidad.

## Otros hormigones

Se pueden citar también, aunque incipientes, otras tentativas actuales en este campo:

*Hormigones de polvo reactivo*

Son hormigones de ultra-alta resistencia reforzados con fibras de acero [13]. Su resistencia a la compresión se mueve entre 200 y 800 MPa y la resistencia a la flexión puede alcanzar 140 MPa. Se pueden producir con muy altas dosificaciones de cemento portland (900-1.000 kg/m<sup>3</sup>), humo de sílice, arena, superplastificante y fibras metálicas. En su colocación puede utilizarse calor y presión.

*Hormigón de azufre*

Son hormigones obtenidos por mezcla en caliente (análogamente a los aglomerados asfálticos) de azufre,

áridos, fillers minerales y adiciones poliméricas [14]. Con excepción de la resistencia al fuego, pueden presentar propiedades de todo orden superiores a los hormigones hidráulicos normales, pudiendo ser armados y siendo valorados, sobre todo, donde se necesiten excepcionales prestaciones frente a los ataques químicos, por la rapidez de endurecimiento o la impermeabilidad.

Y, finalmente, nos podríamos referir a los variados conglomerados que se desarrollan para aprovechamiento de residuos y subproductos en esa tarea ecológica que, por inerte, se le asigna al cemento [15] [16] [17]. Se hacen hormigones que sustituyen parte del árido por diferentes residuos como neumáticos o residuos plásticos, debidamente troceados, arenas y escorias de productos siderúrgicos, ladrillos u hormigones reciclados, celulosa, madera o cenizas. Sobre todos estos materiales hay investigaciones en marcha y se obtienen propiedades que, en algún caso, son estructurales, pero, en otros, se limitan a aumentar significativamente alguna propiedad específica, como la ligereza, el aislamiento térmico o acústico, la resistencia al choque, la resistencia a la tracción, el amortiguamiento de vibraciones, la ductilidad o la fisurabilidad.

### Conclusión

De todo lo anterior se constata la variedad de propiedades que abarcan los distintos tipos de hormigones más utilizados. Aunque todavía queda bastante por investigar, en algunos de ellos existe una gran proporción de aptitudes -ya desarrolladas y disponibles- siendo, de hecho, los tipos especiales utilizados de forma creciente.

La idea del hormigón como de un material único, de bajo contenido tecnológico y utilizado por mano de obra escasamente cualificada, debe ser rechazada. El técnico competente dispone para cada tipo de utilización distintos tipos de hormigón y de calidades, sin olvidar las variedades de cemento y de aditivos disponibles.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARUSIN S.L.: "Ancient Concrete Structures". Concrete International. January 1996. Págs. 56-58.
- [2] POLLIO MARCUS VITRUVIUS: "De architectura libri decem" alrededor del año 13 a.C. (traducido por John Weale. Londres 1860).
- [3] ROSELL J., CÁRCAMO J.: "La fábrica CERES de Bilbao". Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Bizkaia. 1994.
- [4] WEIGLER H., KARL S.: "Hormigones ligeros armados". Gustavo Gili. 1974.
- [5] Eurocódigo 2 - Proyectos de estructuras de hormigón Parte 1-4: Reglas Generales. Hormigón de Árido Ligero de Textura Cerrada UNE-ENV 1992-1-4, abril 1996.
- [6] CZARNECKI L.: "The status of polymer concrete". Concrete International, July 1985.
- [7] FOWLER D. W.: "Structural Design of Polymer Concrete". Third Southern African Conference on Polymers in Concrete. Johannesburg (Sudáfrica). 15-17, julio 1997.
- [8] SAN JOSÉ J.T., RAMÍREZ J.L., URRETA J.I., RODRÍGUEZ-MARIBONA I.: "Structural Polyester Concrete. Some properties related to repair". Structural Faults and Repair 97, julio 1997. Edinburgh Conference.
- [9] ZOLLO R.F.: "Fiber-reinforced Concrete: an Overview after 30 years of Development". Cement and Concrete Composites 19 (1997) 102-122.
- [10] State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete ACI Committee 544-1986.
- [11] GÁLLIGO J. M., ALAEJOS M<sup>a</sup> P.: "Hormigón de Alta Resistencia. Estado actual de conocimientos". CEDEX. 1990.
- [12] High Strength Concrete. State of the Art Report. FIP/CEB August, 1990.
- [13] DUGAT J., ROUX N., BERNIER G.: "Mechanical properties of reactive powder concretes" Materials and Structures, May 1996.
- [14] WROON A.H.: "Sulfur concrete goes global". Concrete International, January 1998.
- [15] AL-MANASEER A.A., DALAL T.R.: "Concrete containing plastic aggregates". Concrete International, August 1997.
- [16] FATTUHI N.I., CLARK L.A.: "Cement based materials containing shredded scrap truck tyre rubber". Construction and Building Materials Vol. 10, Nº 4, 1996.
- [17] TOUTANJI N.A.: "The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates". Cement and Concrete Composites 18 (1996).

\* \* \*