

# Prefabricados de hormigón

## PILOTES PREFABRICADOS: UNA SOLUCION ÓPTIMA PARA CIMENTACIONES PROFUNDAS

JOSÉ LUIS ÁRCOS ÁLVAREZ

*DIRECTOR DE I+D+I, KRONSA INTERNACIONAL S.A.*

MIGUEL ÁNGEL DE JUAN GARCÍA

*DIRECTOR TÉCNICO, KRONSA INTERNACIONAL S.A.*



En el presente artículo, se presenta la técnica de pilotes prefabricados como solución a la ejecución de cimentaciones profundas, desde su fabricación hasta su puesta en obra, haciendo mención a las particularidades de su diseño y cálculo. Al tratarse de un producto prefabricado, permite un mayor control en la fabricación del pilote que le da una clara ventaja competitiva frente a los pilotes realizados "in situ". La posibilidad de disponer de varias secciones y longitudes (incluso incorporando juntas que empalman varias piezas) hacen a esta técnica muy versátil con numerosas aplicaciones. Por último, podemos decir que KRONSA INTERNACIONAL ha comprobado la eficacia de la hincada de pilotes, tras más de cuarenta años de experiencia.

# Prefabricados de hormigón

## 1. Introducción

El pilote prefabricado de hormigón es una estructura geotécnica principalmente diseñada para la transmisión de cargas de cimentación hacia estratos resistentes profundos. Su instalación se hace por hinca en el terreno, mediante impactos de energía controlada. Es, por tanto, un pilote de desplazamiento, que aprovecha la compresión que su intrusión provoca en el terreno para ganar una adherencia adicional, así como una mayor garantía en la resistencia por punta. Su longitud no está limitada, gracias a la posibilidad de empalme mediante juntas metálicas.

Figura 1.



Este tipo de pilotaje se ha desarrollado en los últimos tiempos con la aplicación de la ecuación de onda con software específico para hinca de pilotes y la instrumentación de los impactos mediante Analizador de Hinca, acelerómetros y extensómetros, para el control de tensiones en el pilote y estimación de la capacidad portante. Asimismo, los equipos

de hinca han evolucionado: permiten el control automatizado, mayores energías y altas frecuencias de impacto; todo ello, gracias a la mejora de calidad estructural del propio pilote.

El pilote prefabricado de hormigón se emplea hoy en día en los cuatro continentes. En Europa es de uso muy extendido, sobre todo en Holanda, Reino Unido y los Países Nórdicos. En la actualidad, sólo en España, se hincan cerca de un millón de metros de este tipo de pilote por año. Empresas como KRONSA, hincan pilotes de este tipo desde hace unos 40 años.

A continuación se realiza un repaso general de la técnica del pilote prefabricado: desde su fabricación hasta su puesta en obra, haciendo mención a las particularidades de su diseño y cálculo.

## 2. Fabricación

La fabricación del pilote prefabricado de hormigón queda regulada, desde febrero de 2006, por la Norma Europea UNE-EN 12794: "Productos Prefabricados de Hormigón – Pilotes de Cimentación".

La Ley obliga a que este pilote lleve el marcado CE para su comercialización y, adicionalmente, por la Norma Europea antes mencionada, es posible la homologación del producto con el sello de producto Certificado "N" de AENOR.

La prefabricación se lleva a cabo en factorías permanentes, sistema idóneo para garantizar la máxima calidad de ejecución y para someter el proceso de fabricación a los imprescindibles y rigurosos controles de calidad. El pilote armado se clasifica, a partir de 2007, según la Norma EN-12794, en diferentes Clases según su armado y la calidad exigida a su junta.

En las factorías se dispone de pistas de fabricación con encofrados metálicos, fijos, sobre bancadas niveladas, bien alineadas y rígidas, proporcionando un pilote rectilíneo, de acabado exterior muy agradable, sin fisuras y con juntas y azuches perfectamente centrados. La propia fabricación del pilote elimina por completo el riesgo de cortes en el hormigonado, incidencia que se puede presentar en pilotes excavados y hormigonados "in situ". El hormigón es dosificado y vibrado hasta alcanzar su elevada resistencia y gran homogeneidad y compa-

# Prefabricados de hormigón

Tabla 1.- Clasificación de pilotes.

Clases	Tipo de pilote
1	Pilotes o elementos de pilote con armadura distribuida y/o armadura de pretensado con o sin pie de pilote agrandado, véase también anexo B.
2	Pilotes o elementos de pilote con armadura compuesta por una única barra situada en el centro, véase el anexo C.

Tabla 2.- Clasificación de juntas de pilotes.

Clase <sup>3</sup>	Capacidad	Prestación	Verificación	Métodos. Ensayos de choque <sup>1</sup>
A	Compresión/tracción y flexión	Robustez y rigidez	Cálculos estáticos que se deben verificar mediante un ensayo de choque seguido de un ensayo de flexión	Ensayo de choque con 1.000 golpes que tengan un nivel de esfuerzo de 28 N/mm <sup>2</sup> <sup>2</sup>
B	Compresión/tracción y flexión	Robustez y rigidez	Cálculos estáticos que se deben verificar mediante un ensayo de choque seguido de un ensayo de flexión	Ensayo de choque con 1.000 golpes que tengan un nivel de esfuerzo de 22 N/mm <sup>2</sup> <sup>2</sup>
C	Compresión/tracción y flexión	Robustez y rigidez	Cálculos estáticos que se deben verificar mediante un ensayo de choque seguido de un ensayo de flexión	Ensayo de choque con 1.000 golpes que tengan un nivel de esfuerzo de 17 N/mm <sup>2</sup> <sup>2</sup>
D	Compresión	Robustez y rigidez	Cálculos estáticos que se deben verificar mediante un ensayo de choque	Ensayo de choque con 500 golpes que tengan un nivel de esfuerzo de 17 N/mm <sup>2</sup> <sup>2</sup>

<sup>1</sup> IBT - Ensayo de choque seguido de un ensayo a flexión tal como se define en el Anexo A

<sup>2</sup> Medias de niveles de esfuerzos: esfuerzo de compresión alrededor de la junta del pilote producidos por los golpes

<sup>3</sup> La clase de junta del pilote (es decir, el nivel de esfuerzo dinámico durante el IBT), se elige de acuerdo con las disposiciones nacionales de forma que se corresponda con la capacidad geotécnica prevista de los elementos de pilote

Figura 2.



## Prefabricados de hormigón

idad, lo cual evita la aparición de coqueas y permite asegurar una mayor resistencia a la corrosión y agresividad del medio.

El hormigón empleado en los pilotes debe ser de alta resistencia: es normal usar un hormigón superior a H-40 N/mm<sup>2</sup> de resistencia a compresión simple. Habitualmente, se utiliza un cemento Pórtland de "resistencia inicial alta", que permita rápido desencofrado, y resistente a los sulfatos, para que el stock de pilotes pueda ser suministrado a cualquier obra que lo requiera.

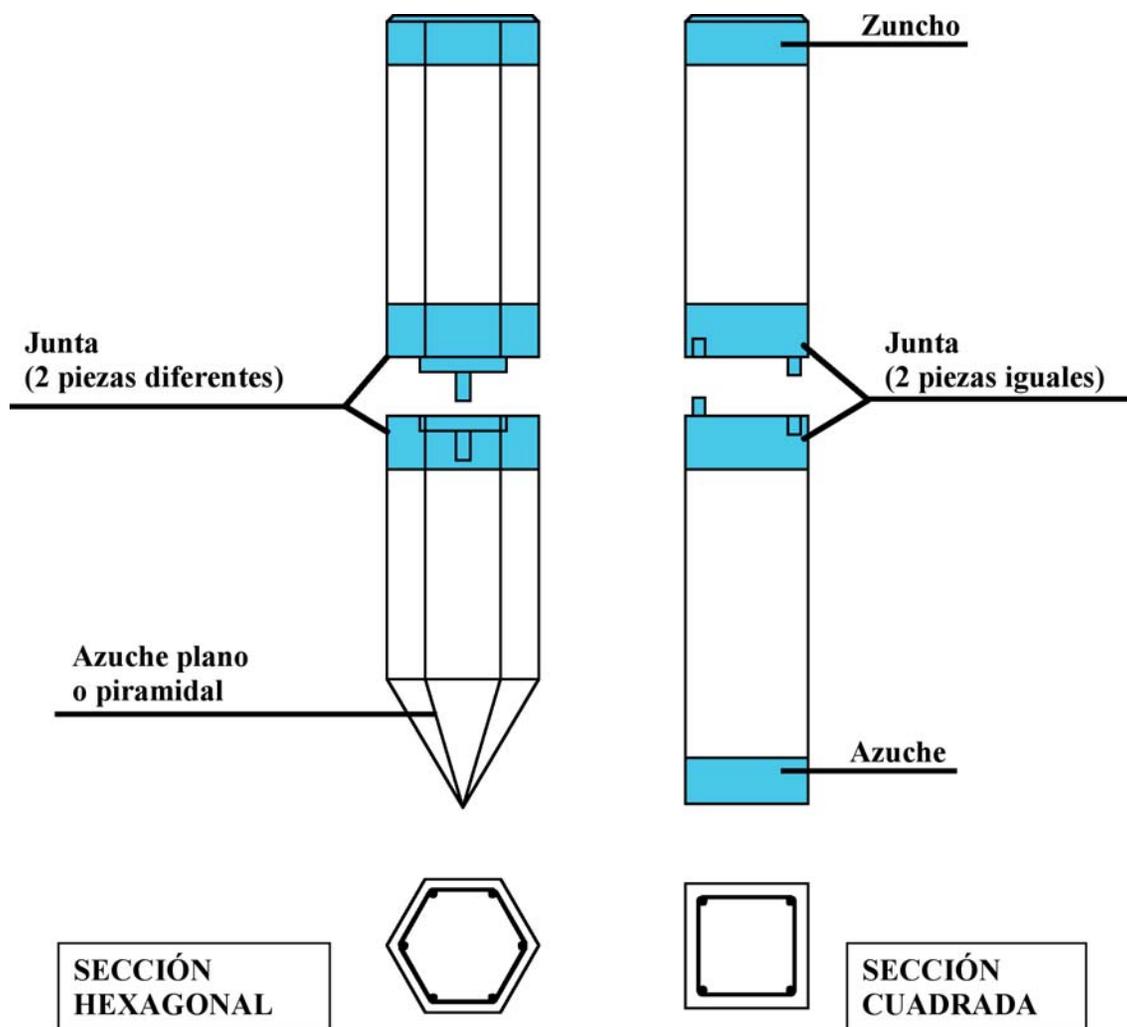
Las armaduras se diseñan cuidadosamente, optimizando la cuantía a partir de gran número de ensayos de hinca reales,

tratando de determinar empíricamente la influencia de diversos factores (despegue de las pistas de fabricación, carga, transporte, izado, hinca) de difícil cuantificación teórica.

Los pilotes se equipan en su fabricación con una pieza metálica en la punta, para protección del hormigón durante la hinca, y de un zuncho de refuerzo, también metálico, en la cabeza de golpeo.

El pilote prefabricado dispone de juntas que permiten empalmar en obra tramos de longitudes normalizadas, prácticamente sin limitación en la longitud final. La fabricación se realiza, según el tipo de pilote, en tramos de hasta 12 ó 14

Figura 3.



# Prefabricados de hormigón

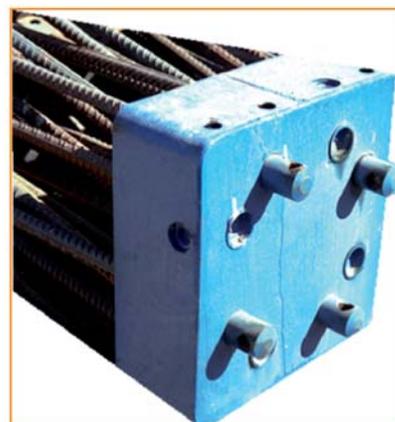
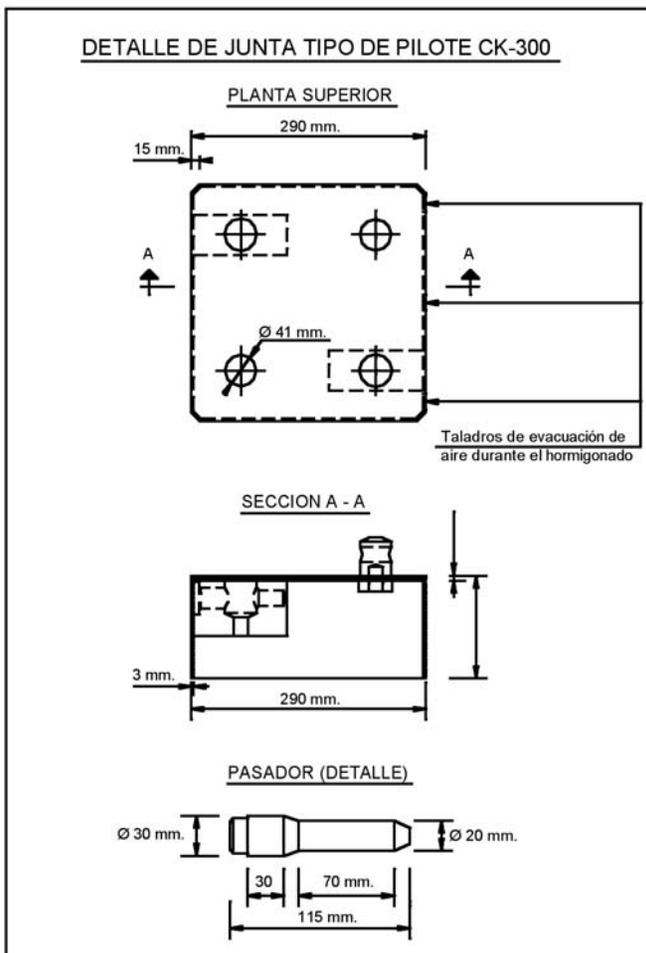
m de longitud. Con el empleo de juntas se elimina uno de los inconvenientes tradicionales en la utilización de pilotes prefabricados, especialmente en terrenos irregulares o con estratos resistentes muy profundos. Cada una de las dos piezas de la junta, fabricadas en acero mecanizado, se hormigona conjuntamente con el tramo correspondiente del pilote, llevando los correspondientes redondos de anclaje roscados, para conseguir el perfecto agarre y sujeción con el pilote, y se mantiene en posición con centradores adecuados, para garantizar la perfecta alineación con el mismo. Las dos piezas de la junta, que son de tipo machihembrado, se acoplan entre sí por medio de bulones de fácil colocación, que merced a su introducción forzada, presionan las piezas entre sí, consiguiendo un empalme que asegura la continuidad del pilote en cuanto a rigidez y resistencia.

## 3. Puesta en obra

El pilote, una vez desencofrado, se acopia en la factoría a la espera de ser enviado a una obra. Normalmente, la factoría fabrica a demanda con una antelación de 15 a 30 días sobre la fecha en que deba enviarse el pilote. De esta forma, el hormigón del pilote tiene resistencia suficiente para ser hincado. En cualquier caso, la factoría dispone de un amplio stock, que permite disponer en cualquier momento y lugar de los pilotes del tipo y longitud necesarios.

Esta fácil y versátil coordinación con la factoría correspondiente, permite el suministro continuado de pilotes sin necesidad de disponer de un almacén en la propia obra, permitiendo así el aprovechamiento máximo del terreno dis-

Figura 4.



# Prefabricados de hormigón

Figura 5.



Figura 6.



ponible, sin entorpecimientos ni traslados de los acopios en el interior de la misma.

Los transportes son camiones tipo trailer, que permiten el envío de piezas de hasta 12m (14m con transporte especial); aunque en Holanda, por ejemplo, la facilidad del transporte por canal hace que se fabriquen piezas de hasta 30m.

Desde el momento en que los pilotes llegan a la obra, están dispuestos para su colocación. De esta forma, la limpieza de la obra es absoluta: no se producen detritus, no se requiere ferralla y no es necesaria la presencia de hormigoneras ni otros medios auxiliares, como lodos bentoníticos, imprescindibles en la ejecución de determinadas obras con pilotes hormigonados "in situ".

La hincas se realiza mediante equipos específicos con torre montada sobre carro de orugas. Por la torre se desliza la maza de caída libre que proporciona la energía de hincas; el

## Prefabricados de hormigón

Figura 7.



accionamiento de la maza puede ser mecánico (manual) o hidráulico (automático).

Los modernos equipos de hincia permiten altos rendimientos, del orden de 150 a 350 metros de pilote por jornada de trabajo, lo que implica importantes disminuciones del plazo de ejecución.

La autonomía de los equipos es total, con ausencia de todo tipo de prestaciones por parte del cliente. Su versatilidad hace que, incluso puedan adaptarse a barcazas, si fuera necesario; permitiendo la ejecución de obras marítimas y fluviales. Asimismo, admiten la posibilidad de realizar pilotes inclinados, especialmente adecuados para soportar esfuerzos

horizontales, hasta una inclinación normal de 1:4, que puede llegar hasta 1:1 en casos y condiciones especiales.

Hoy en día, los equipos hidráulicos permiten un perfecto control de la energía de hincia, merced al normal empleo de mazas de caída libre con altura de caída regulable. Las mazas usuales tienen entre 30 y 90 kN de peso útil. La evolución de estos equipos hace que se obtengan eficiencias (energía real / energía teórica) del 95%, cuando en los equipos mecánicos mal conservados podía ser de tan solo un 60%.

La hincia se detiene cuando el pilote alcanza el “rechazo necesario”, esto es, cuando la penetración por golpe – con impactos de una energía dada – es inferior a un valor determinado por fórmulas como la de Hilley o deducidas de la aplicación de la ecuación de onda. Se realiza así una verdadera prueba de carga dinámica en cada pilote, con la consiguiente garantía de su capacidad portante. Si el pilote no alcanza ese rechazo, su capacidad portante es insuficiente y ha de seguirse hincando, empalmando las piezas que fueren necesarias.

La entrega del pilote al encepado se consigue con el descabezado del mismo, que deja vista su armadura longitudinal. Existen “descabezadores” de accionamiento hidráulico, diseñados para realizar esta misión sin ocasionar ningún daño al pilote.

La hincia del pilote produce una compactación y mejora del terreno, especialmente si es granular. Este efecto es especialmente beneficioso para pilotes hincados en grupo, donde, lejos de descomprimir el terreno como ocurre en pilotes excavados, se favorece su comportamiento, pues las mejoras producidas por los pilotes se superponen entre sí, alcanzándose finalmente un grado de compacidad considerablemente superior al inicial.

En cuanto a las aplicaciones prácticas, implícitas en gran medida en las características reseñadas anteriormente, se considera especialmente idóneo el pilote prefabricado CUADRADO CK para los casos siguientes:

- Pilotes columna, con cualquier profundidad del estrato resistente.

## Prefabricados de hormigón

Figura 8.



Figura 9.



- Casos de aparición de firme a gran profundidad, o a profundidades muy variables.
- Siempre que exista posibilidad de rozamiento negativo, pues su pequeño perímetro específico minimiza su efecto en comparación con la capacidad portante final del pilote. En caso necesario, incluso se puede recurrir a proteger el pilote con pinturas bituminosas que disminuyan aún más el rozamiento negativo sin afectar a la resistencia de punta final del pilote.
- Cuando exista posibilidad de circulación de agua en terrenos sueltos, donde los pilotes hormigonados "in situ" podrían sufrir lavado de sus componentes finos.
- En los casos en que se presente agresividad en las aguas o el terreno. Con frecuencia, podría ser suficiente la resistencia a la agresividad con cemento normal (tipo I/42,5R, de "resistencia inicial alta"), en virtud de la gran compacidad del pilote, pero aún así se utiliza habitualmente cemento I/42,5 R/SR (de "resistencia inicial alta", y con la característica especial de ser resistente a los sulfatos). Este cemento, según la Norma UNE 80.303-1:2001, es utilizable en los hormigones sometidos a la acción de sulfatos (cálcico y/o magnésico) y en los sometidos a la acción del agua marina (sulfatos y cloruros alcalinos y alcalino-térreos).

# Prefabricados de hormigón

De cualquier manera, tal como indica el INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES en su trabajo "Recomendaciones para la utilización de los cementos de las Normas U.N.E.", se debe tener en cuenta que, a efectos de durabilidad, es más importante un buen diseño del hormigón (dosificación del cemento, relación agua/cemento, naturaleza y granulometría de los áridos, etc.) y una correcta ejecución del mismo que la selección de unos u otros cementos más adecuados. Es decir, un hormigón muy compacto e impermeable resiste mejor la agresividad (aunque su cemento no sea el más adecuado) que un hormigón con el cemento adecuado pero poco compacto y más vulnerable.

## 4. Instrumentación aplicada a la hinc

La instrumentación de la hinc de pilotes ha evolucionado en paralelo a los martillos de hinc. Hoy en día se emplean en un porcentaje muy alto de las obras los siguientes equipos:

### Registadores de hinc

Permiten obtener un registro penetrométrico de la hinc – diagrama con número de golpes por cada (p.e.) 20 ó 25 cm de penetración.

Figura 10.



### Equipos de control de vibraciones

Analizan la magnitud y frecuencia de las vibraciones que la hinc pudiera producir en edificaciones sensibles próximas. (A más de 50m de distancia, se obvia el efecto negativo de las vibraciones. En general, a más de 20m, no se considera la posibilidad de efectos perjudiciales sobre otras estructuras)

Figura 11.



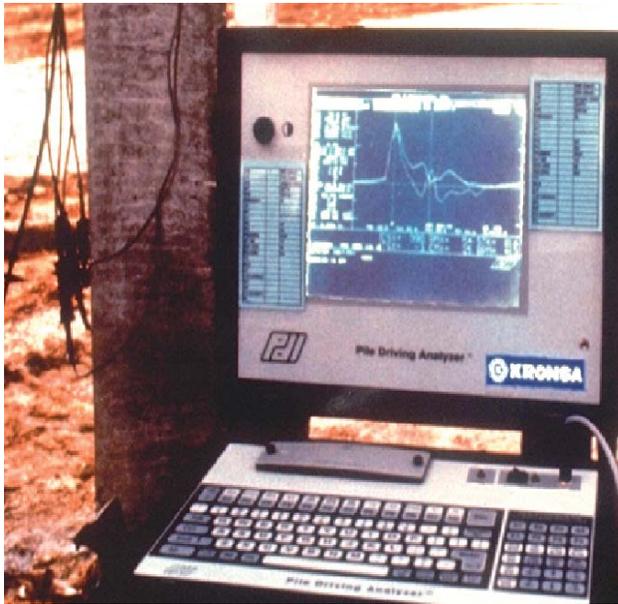
### Analizador electrónico de hinc

Este equipo ha revolucionado la técnica de la hinc de pilotes. Hoy en día, se utiliza habitualmente en las obras para la medida de las tensiones en el pilote durante la hinc, control de su integridad y valoración de la capacidad portante del pilote. Con este equipo se realizan pruebas de carga dinámica, gracias a dos parejas de sensores: acelerómetros y extensómetros que analizan la onda del impacto en sus componentes de Fuerza y Velocidad.

Los programas de modelización del sistema suelo pilote, basados en la ecuación de onda, permiten la simulación de una prueba de carga estática obteniendo su curva carga-asiento y diferenciando las resistencias movilizadas en punta del pilote y la adherencia a lo largo del fuste del mismo.

# Prefabricados de hormigón

Figura 12.



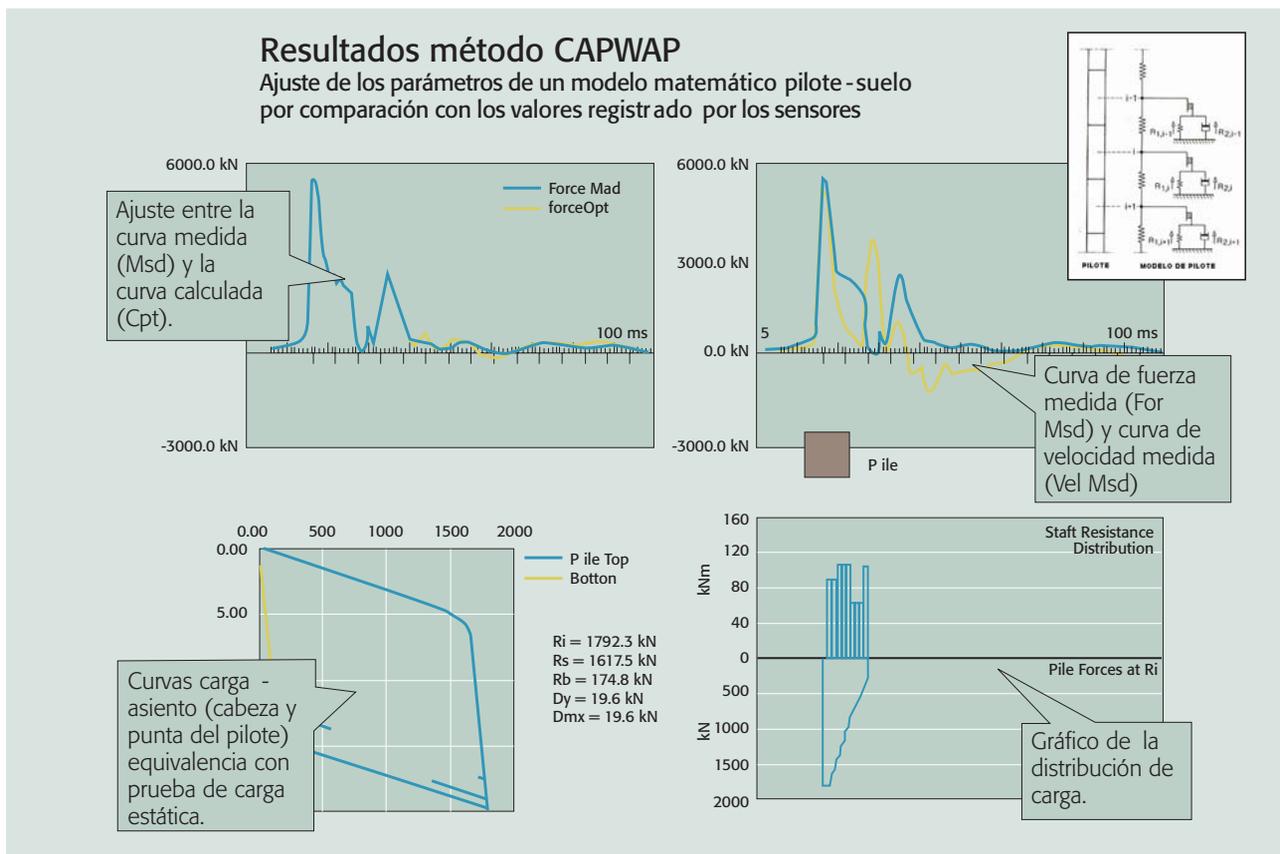
## 5. Tipos de pilotes – topes estructurales

La gama más habitual en España para pilote cuadrados incluye seis tipos, cuyas características geométricas, de armado y resistentes, en el ámbito de anteproyectos, son:

El Tope Estructural de un pilote de hormigón se establece actualmente con un criterio de minoración de la resistencia del hormigón:  $0.30 f_{ck}$ . Este valor se utiliza para comparar con las cargas en servicio sin mayorar.

No obstante, la hinca del pilote genera unas tensiones muy superiores a las que el pilote tendrá en servicio durante su vida útil. Estas tensiones han de limitarse para evitar daños al pilote. Las recomendaciones de la FHWA suelen admitirse internacionalmente:

Figura 13.



# Prefabricados de hormigón

Tabla 3.

CARACTERISTICAS		TIPO NORMALIZADO DE PILOTE							
1	DENOMINACION DE LOS PILOTES	-	CK-200	CK-235	CK-270	CK-300	CK-350	CK-400	
2	SECCION APROXIMADA	A (cm <sup>2</sup> )	412,00	569,00	751,00	927,00	1262,00	1648,00	
3	VOLUMEN POR METRO LINEAL	V (m <sup>3</sup> /m)	0,0412	0,0569	0,0751	0,0927	0,1262	0,1648	
4	LADO APROXIMADO	a (m)	0,200	0,235	0,270	0,300	0,350	0,400	
5	SUPERFICIE LATERAL TEORICA POR METRO LINEAL	S (cm <sup>2</sup> /m)	8.000	9.400	10.800	12.000	14.000	16.000	
6	MOMENTO DE INERCIA MINIMO	I <sub>xx</sub> (cm <sup>4</sup> )	13.333,33	25.415,01	44.286,75	67.500,00	125.052,08	213.333,33	
7	ARMADURA LONGITUDINAL (Nº DE BARRAS – B-500 S)	-	4 φ 16	4 φ 16	4 φ 20	4 φ 20	8 φ 16	8 φ 20	
8	ARMADURA TRANSVERSAL (AE-215 L)	ESPIRAL EN TRAMO CENTRAL	-	φ 6 a 20 cm	φ 6 a 20 cm	φ 6 a 15 cm	φ 6 a 10 cm	φ 6 a 10 cm	φ 6 a 10 cm
		ESPIRAL EN EXTREMOS	-	φ 6 a 5 cm					
9	CARGA VERTICAL ADMISIBLE A COMPRESION (1)	N (kN)	510	710	930	1150	1570	2060	
10	DISTANCIA NORMAL ENTRE EJES DE PILOTES	(m)	0,65	0,75	0,85	0,95	1,10	1,25	

(1) Tope Estructural calculado a 12,5N/mm<sup>2</sup> Estos valores pueden verse afectados por la combinación de efectos distintos de los axiales (flexión, torsión, etc.), o por las características del terreno.

Tabla 4.

Pile Material	Allowable Tension Stress	Allowable Compression Stress
Steel	0.9 f <sub>y</sub>	0.9 f <sub>y</sub>
Prestressed concrete, psi	f <sub>PE</sub> + 3(f <sub>C</sub> ')/2	0.85 f <sub>C</sub> ' - f <sub>PE</sub>
Prestressed concrete, Mpa	f <sub>PE</sub> + .25(f <sub>C</sub> ')/2	0.85 f <sub>C</sub> ' - f <sub>PE</sub>
Regularly reinforced concrete	0.7 F <sub>y</sub> / A <sub>C</sub>	0.85 f <sub>C</sub> '
Timber	3f <sub>A</sub>	3f <sub>A</sub>

F<sub>y</sub> = the reinforcements steel's yield strength as a force (kips or kN)

f<sub>y</sub> = the steel yield strength as a stress (ksi or MPa)

A<sub>C</sub> = the concrete area of the pile

f<sub>PE</sub> = the effective prestress

f<sub>C</sub>' = the concrete strength as a stress in psi or Mpa

f<sub>A</sub> = the allowable timber stress for static design

## 6. Cálculo de la capacidad portante – carga de hundimiento

### 6.1. Carga de hundimiento por fórmulas dinámicas

Para el caso de pilotes de desplazamiento (y, muy especialmente, para los prefabricados), se han desarrollado multitud de fórmulas que pretenden obtener la capacidad resistente del pilote en función de su comportamiento durante el proceso de hincado.

Estos métodos presentan algunos inconvenientes teóricos, especialmente por la diferencia de comportamiento de un pilote ante cargas dinámicas y estáticas y la falta de adecuación entre la teoría del impacto de Newton y la realidad de la hincado; a pesar de ello, es cierto que los resultados de hincado proporcionan un cuadro altamente fiable del comportamiento futuro de los pilotes, avalado por la gran experiencia que el paso de los años y la construcción incesante de obras ha proporcionado a las empresas especializadas. Además, el estudio

# Prefabricados de hormigón

de los resultados de la hincia permiten analizar las variaciones de comportamiento generales respecto a lo previsto, y, sobre todo, las alteraciones locales.

A pesar de todo, no se debe olvidar que los resultados de la hincia se deben contrastar con el conocimiento del terreno, la experiencia de otras obras o métodos alternativos de análisis; especial cuidado debe tenerse en el caso de que la hincia se realice en arcillas blandas, en las cuales los resultados de hincia pueden aparentar una resistencia superior a la real, pues la gran viscosidad de estos suelos opone mucha resistencia a los desplazamientos rápidos, siendo sin embargo muy fácil penetrar en ellas con cargas lentas y sostenidas.

En la mayoría de las ocasiones, sin embargo, los efectos de la hincia perturbaban el comportamiento del suelo, que posteriormente se regenera y recupera su capacidad resistente, que es en realidad mayor de la que aparentan los resultados de la hincia.

Como se ha comentado anteriormente, existe multitud de fórmulas de hincia, pero todas ellas se basan en la medida del "rechazo", magnitud que el pilote penetra en el suelo en condiciones preestablecidas.

Las fórmulas más conocidas son las de Hiley, la Holandesa y la de Janbu; las tres se han recogido en la figura 5.29. Sus características esenciales, son:

- **Fórmula de Hiley**

La maza de hincia, de peso  $P_m$ , cayendo desde una altura  $H$ , produce un trabajo aprovechable:

$$\eta \times P_m \times H$$

$\eta$  es el coeficiente de rendimiento de la maza, que suele oscilar entre 0,75 y 1,00. Es un dato suministrado por el fabricante del equipo.

Ese trabajo aprovechable es consumido esencialmente en hincar el pilote una cierta magnitud,  $s$ , que es el "rechazo". A este descenso se opone una fuerza  $Q$  que es la resistencia del pilote a efectos dinámicos; el trabajo consumido en la hincia viene dado por:

$$T_{\text{hincia}} = Q \times s$$

Además, hay una serie de pérdidas debidas al impacto en sí, que se estudian por la teoría de Newton del impacto y que dependen de las características elásticas de los cuerpos que chocan; son función del coeficiente de percusión,  $\epsilon$ , que vale 1 en el choque perfectamente elástico (sin pérdida de energía) y 0 en el perfectamente anelástico; en los casos prácticos, suele estar comprendido entre 0,25 y 0,50. Puede llegar a 0 cuando el sombrerete es de madera sobre pilote de hormigón y no se encuentra en perfecto estado.

Por último, se consume cierto trabajo en compresiones elásticas; efectivamente, cuando la maza golpea al sombrerete, éste desciende una magnitud que se compone de dos términos: en primer lugar, el propio descenso de la punta del pilote, y, en segundo lugar, la compresión elástica del sombrerete, pilote y del propio terreno. El fenómeno real es muy complejo, y se simplifica separando la compresión elástica total en tres partes:

$\delta_s$  = Deformación elástica del sombrerete.

$\delta_p$  = Deformación elástica del pilote.

$\delta_t$  = Deformación elástica del terreno.

Con todos estos términos, Hiley publicó en 1930 su clásica fórmula de hincia, todavía hoy esencial para entender el comportamiento de un pilote durante la hincia.

Su empleo práctico, sin embargo, se ve muy limitado por la dificultad de establecer el valor de todos los coeficientes indicados, por lo cual en la realidad se tiende a utilizarla en forma simplificada.

- **Fórmula holandesa**

Es la simplificación más extendida de la de Hiley; se utiliza en España desde el principio de la hincia de pilotes, pues a su facilidad de uso une suficiente seguridad en los resultados alcanzados. En la figura 5.30 se incluyen tanto la fórmula en sí como el gráfico obtenido para uno de los tipos de pilotes prefabricados de KRONSA (concretamente, el CK-300, con maza de 3 T. y 60 cm. de altura de caída).

# Prefabricados de hormigón

La fórmula se basa en suponer que el choque es perfectamente anelástico ( $\rho = 0$ ), que el rendimiento mecánico de la maza es del 100 % ( $\eta = 1$ ) y que el trabajo consumido en deformaciones elásticas es despreciable ( $\delta s, \delta p, \delta t = 0,00$ ).

En estas condiciones, la fórmula queda:

Donde:

- $Q_{adm}$  = Carga dinámica admisible por el pilote.
- $P_m$  = Peso de la maza (habitualmente, de 3 a 5 T.)
- $H$  = Altura de caída durante la comprobación del rechazo (de 40 a 60 cm.)
- $c$  = Coeficiente de minoración (normalmente, 6; en casos extremos, hasta 10).
- $s$  = Rechazo (penetración, en cm/golpe). Se suele medir en tandas de 10 golpes y tomar la media para el cálculo.
- $P_p$  = Peso del pilote.

- **Fórmula de Janbu**

Representa bien la realidad de la hincada, en ciertas condiciones, de tal forma que fue escogida por la N.T.E. como fórmula general de hincada (la presenta en forma de tabla, con un error en la relación entre el peso de la maza y el del pilote, que están invertidos). Sin embargo, su uso actualmente es puramente anecdótico, pues exige grandes alturas de caída de maza o pesos muy importantes de la misma, por lo que ha quedado fuera del rango actual de la maquinaria de hincada.

- **Caso de pilotes inclinados**

En este tipo de pilotes, la altura de caída de las fórmulas de hincada se ve reducida, y además aparece un rozamiento adicional en las guías de la maza (se suele admitir que el coeficiente de fricción en las guías es de 0,10); la altura de caída que debe utilizarse en la fórmula es:

Figura 14.

Modelos para simulación del comportamiento suelo-pilote: resistencia de fuste y punta.

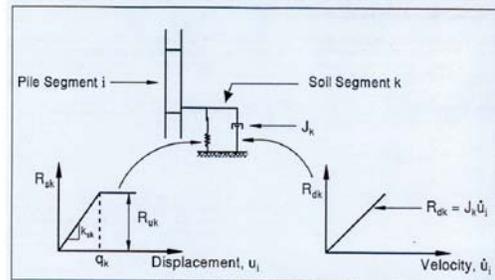
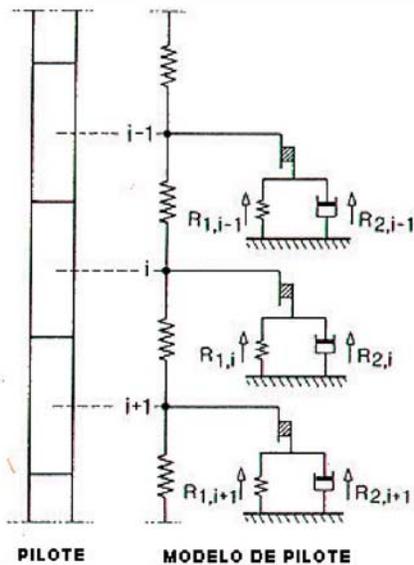


Figure 2.2.1: The Smith soil resistance model (Viscous damping model instead of a strict Smith damping is shown)

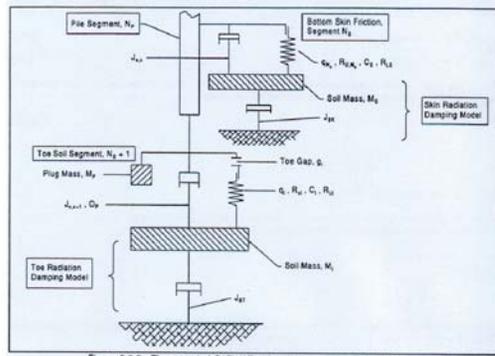


Figure 2.2.5: The extended CAPWAP soil resistance model (a) shaft (b) toe

# Prefabricados de hormigón

$$H' = H \times (\cos \alpha - 0,10 \times \sin \alpha)$$

Además, es conveniente afectar la fórmula de hincada de un coeficiente de minoración mayor que en los casos normales, para compensar las pérdidas adicionales.



## INTERNET

www.pile.com  
www.kronsa.com  
www.piledrivers.org

## 6.2. Carga de hundimiento mediante análisis por ecuación de onda

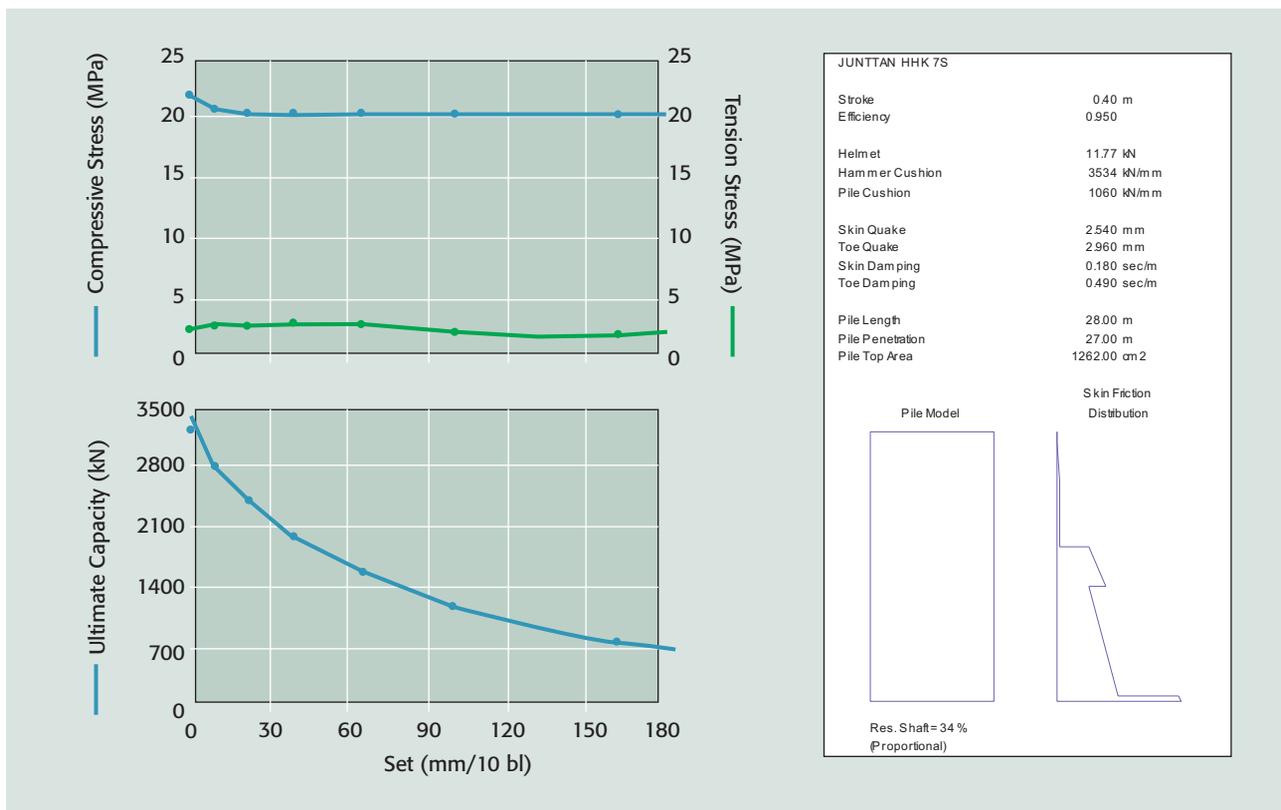
Actualmente, se cuenta con medios informáticos que permiten emplear modelos matemáticos para la modelización del impacto sobre un sistema suelo-pilote. Los programas se denominan WEAP (Wave Equation Analysis Program).

Este análisis por ecuación de onda permite eliminar muchas incertidumbres que hacían engrosar el coeficiente de seguridad en las fórmulas dinámicas. Adicionalmente, permiten el análisis del comportamiento del martillo, y la estimación de compresiones y tensiones generadas en el pilote.

## NORMATIVA

- Norma Europea UNE-EN 12794: "Productos Prefabricados de Hormigón – Pilotes de Cimentación".
- Norma Europea UNE-EN 12699: "Realización de Trabajos Geotécnicos Especiales. Pilotes de Desplazamiento".
- Normas Tecnológicas, pilotes prefabricados (NTE-CPP-1978),
- Código Técnico de la Edificación.
- Pliego PG-3 de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes del Ministerio de Fomento (2ª Ed.- 2002).
- Guías del Ministerio de Fomento:
- Guía de cimentaciones en obras de carreteras y puentes (2002).
- Guía para el diseño y ejecución de anclajes (2003).

Figura 15.



# PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTACIÓN

**IGNACIO ARROYO CUBILLO**

*DIRECTOR COMERCIAL*

*PREFABRICADOS DE HORMIGÓN LURGAIN, S.A.*

**ROBERTO SERRANO LATORRE**

*RESPONSABLE DE PUBLICIDAD*

*PREFABRICADOS DE HORMIGÓN LURGAIN, S.A.*

Las propiedades de resistencia, durabilidad y comportamiento en general del hormigón han convertido este material en ingrediente básico de la obra civil. Su conversión en pavimento, a través de prefabricados de hormigón como los adoquines, bordillos y losas, ha trasladado sus múltiples beneficios a la pavimentación. Transformado en prefabricado, el hormigón lejos de resultar un material poco estético, incrementa las posibilidades de diseño en la pavimentación a través del color y las múltiples formas en las que actualmente se logran fabricar los prefabricados de hormigón.

El adoquín, como elemento más destacado dentro de los prefabricados para pavimentación, ha sufrido una enorme evolución hasta su forma de fabricación actual, a la vez que se ha convertido en una solución diferencial para pavimentación.

## 1. Referencia histórica

### 1.1. Orígenes del adoquín

La evolución de los elementos utilizados para la pavimentación en exterior ha ido ligada a la propia evolución de las civilizaciones y de las vías urbanas. Así, desde la época medieval, la necesidad de ofrecer un drenaje a los vertidos provocados por el crecimiento de los núcleos de población, obligaba a buscar medios que permitieran ese drenaje

y permitieran el movimiento de personas y vehículos de tracción animal.

El tratamiento superficial de las principales vías de las ciudades, llevaría posteriormente a considerar el comportamiento de la subestructura del firme, distinguiendo entre base, subbase y explanada.

Las primeras pavimentaciones realizadas con adoquines utilizaban materiales tales como la piedra, la madera o la cerámica.

# Prefabricados de hormigón

Los primeros adoquines de piedra que se utilizaron fueron guijarros de río colocados sobre una capa de arena sellándose las juntas con una argamasa de cal y arena.

Los adoquines de madera se usaron en la primera mitad del siglo XIX, como una alternativa a los adoquines de piedra, para intentar reducir así, el nivel de ruido que provocaban las ruedas de acero y las herraduras de los animales. Normalmente, tenían una longitud comprendida entre los 12-25 cm. y entre los 7-10 cm. de anchura, con una separación entre ellos de 3 mm, que se rellenaba con residuos bituminosos. De todos modos, aunque el nivel sonoro era inferior a los de piedra, se degradaban rápidamente a la intemperie y tras la aparición de los neumáticos se abandonaron.

Los ladrillos cerámicos utilizados como material de pavimentación se han estado utilizando durante 5.000 años, desde Mesopotamia, siendo una excelente solución para uso peatonal o bajos requerimientos.

Los ladrillos cerámicos en pavimentación se colocaban sobre una capa de arena que también servía para rellenar las juntas, siendo su principal problema el rápido desgaste de su superficie, con la consiguiente reducción de su vida útil y de su resistencia al deslizamiento.

## 1.2. El adoquín de hormigón

Los adoquines de hormigón comienzan a fabricarse en centro Europa a finales del siglo XIX. Rápidamente se empezó a comprobar que estos adoquines proporcionaban una mayor uniformidad y un coste más reducido que los adoquines de piedra y que los cerámicos.

Sobre la propia evolución de la fabricación, primeros modelos estándar y formas de colocación, fue en Holanda y Alemania donde comenzó la investigación y el desarrollo de técnicas que mejoraran la resistencia de los adoquines originales.

Conforme los procesos de fabricación fueron mejorando, se empezaron a introducir formas dentadas o curvas, donde las tolerancias dimensionales eran ya muy pequeñas, y que además permitían la pavimentación siguiendo alineaciones.

Rápidamente, las mejoras en cuanto a fabricación y colocación que tenía el adoquín de hormigón, desplazó al adoquín de piedra original como medio de pavimentación.

La evolución técnica del adoquín de hormigón se dispara en la década de los 70, provocando la aparición de numerosos sistemas de fabricación, modelos distintos de adoquín y principalmente, el abaratamiento de los costes de fabricación y colocación.

## 2. La fabricación del adoquín de hormigón

El adoquín de hormigón se fabrica a partir de hormigón vibropresado. El hormigón es una mezcla de cemento con áridos (arena y grava) y agua, pudiendo llevar incorporados aditivos y/o adiciones. Su resistencia a compresión es notable, contando entre sus propiedades la posibilidad de formar estructuras de un solo cuerpo, autoconservación y buena resistencia al ataque de agentes externos; plasticidad, que le permite adaptarse a cualquier forma; evita las fisuras y tensiones, ya que mantiene un



# Prefabricados de hormigón

coeficiente de dilatación fijo para temperaturas ambiente; es incombustible; y, en cuanto a durabilidad, se comporta como la piedra natural por su carácter pétreo, además de que la capacidad del cemento para adquirir paulatinamente resistencias, lo hace cada vez más resistente con el paso del tiempo.

Para asegurar la adecuada resistencia y durabilidad de los prefabricados, estos se fabrican somitiéndoles a presión y a una vibración perfectamente regulada por una prensa.

En cada unidad de adoquín encontraremos que se pueden distinguir dos capas:

- Capa Vista: Superficie que queda a la vista una vez colocado el adoquín,
- Casa de Base, Apoyo o Masa: Superficie paralela a la capa vista, que permanece enterrada una vez colocado el adoquín.

La composición granulométrica es diferente para las dos capas. Ambas están constituidas por material previamente seleccionado, buscando una mezcla bien graduada con distintos tamaños de árido.

El proceso de vibropresado es un proceso automatizado que consiste en la superposición de las dos amasadas en los moldes metálicos de los adoquines, para posteriormente, comprimir a una determinada presión, produciéndose la vibración del conjunto al mismo tiempo que la compresión. Esta operación se realiza dos veces, una para cada capa del adoquín, asegurándose así, la perfecta cohesión entre ambas.

Debido al contenido de cemento con que cuenta el hormigón, existe un tiempo de fraguado después del cual las propiedades del hormigón, y por tanto del adoquín, se mantienen constantes. El cemento, sobre todo en las primeras edades, puede ser agredido por las bajas temperaturas, congelándose el agua de amasado que paralizaría el fraguado, o bien, con temperaturas altas, podría existir una excesiva evaporación del agua de amasado impidiendo un correcto fraguado del hormigón. Para evitar ambos estados, se requiere un período de curado, que para el adoquín de hormigón se establece de 28 días, según la Normativa española que regula su fabricación.

## 3. Ventajas de los pavimentos prefabricados de hormigón

### 3.1. Ventajas de fabricación

Al contrario de lo que ocurre en la fabricación de la mayoría de los pavimentos flexibles, en el caso de los pavimentos con adoquín de hormigón no es necesario el uso de derivados del petróleo como los productos bituminosos, que además de costosos, son altamente contaminantes. Los adoquines de hormigón tienen la ventaja de poder ser fabricados donde los áridos y cementos locales reúnen las características necesarias. Además, la energía que se requiere en su proceso de fabricación es menor que la necesaria para los pavimentos asfálticos y cerámicos.

### 3.2. Ventajas de ejecución

La mayoría de prefabricados destinados a la pavimentación están diseñados para poder ser instalados en obra de forma manual, de manera sencilla y con pocas herramientas, aunque también se han desarrollado equipos para su colocación mecanizada.

Los pavimentos realizados con prefabricados tienen la ventaja eliminar los tiempos de espera, puesto que las áreas donde son instalados pueden abrirse al tráfico o al paso de peatones inmediatamente después de su ejecución.

### 3.3. Ventajas de comportamiento

El adoquín de hormigón ofrece numerosas ventajas de comportamiento con respecto a otros pavimentos flexibles. En particular, pueden ser fabricados para ser altamente resistentes tanto a cargas verticales repartidas o puntuales, como a esfuerzos horizontales derivados de acciones tales como las frenadas, aceleraciones o giros de vehículos pesados.

Por otro lado, la resistencia de los adoquines de hormigón al vertido de combustibles, aceites, grasas y lubricantes en general, es muy elevada, mientras que los pavimentos bituminosos experimentan una rápida degradación ante estos vertidos.

# Prefabricados de hormigón



# Prefabricados de hormigón

Los niveles sonoros asociados a los pavimentos con adoquín son muy similares o incluso inferiores a los asociados a otro tipo de pavimentos en el caso de superficie seca y sensiblemente inferiores cuando está húmeda, manteniendo no obstante su capacidad de resistencia al deslizamiento. Este nivel de sonoridad resulta particularmente evidente cuando la velocidad de tráfico es inferior a los 60 Km/h siendo, por tanto, una opción magnífica para vías urbanas.

El adoquín de hormigón, por tanto, resulta especialmente indicado en situaciones tales como:

- donde resulte necesario soportar cargas pesadas o muy concentradas,
- en localizaciones de tráfico elevado,
- donde las condiciones de la explanada sean pobres,
- donde el pavimento deba soportar condiciones de trabajo duras, tales como variaciones sustanciales de temperatura, vertidos de combustibles o donde se prevean asientos locales del terreno,

## 3.4. Ventajas de mantenimiento

Los pavimentos de adoquines tienen un largo período de vida útil, la cual viene determinada más por el comportamiento de la base, subbase y explanada, que por los cambios o deterioros del propio adoquín. La vida útil de cálculo que se toma para un pavimento de adoquines es de 30 años, aunque la experiencia demuestra que supera los 50 años.

Durante los procesos de renovación, o cuando existen intervenciones provocadas por reparaciones, se prevé que entre un 90-95 % de los adoquines originales pueden ser reutilizados. Por este motivo, estos pavimentos se reparan de forma mucho más económica que los pavimentos rígidos de cualquier naturaleza y resultan especialmente indicados si se necesita tener un acceso rápido a los servicios urbanos situados bajo el firme, o donde por exigencias de planificación, se requiera realizar cambios en las capas inferiores del pavimento en un plazo breve de tiempo, como barrio de nueva creación.

Las tareas de conservación se reducen a rellenar las juntas con arena de sellado periódicamente debido a la acción erosiva del medio ambiente.

## 3.5. Ventajas de coste

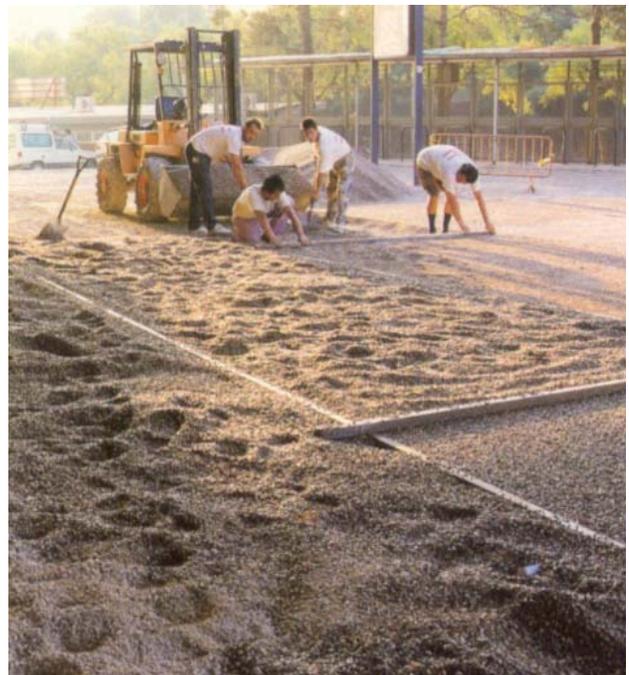
Si bien los costes iniciales por m<sup>2</sup> suelen ser un poco superiores a los pavimentos asfálticos, gracias a sus menores costes de mantenimiento y conservación y a su facilidad de reutilización, le confieren un valor real a largo plazo excelente, resultando mucho más barato que otros pavimentos.

## 3.6. Ventajas de diseño

Las posibilidades expresivas son muy amplias, dada la variada gama de colores, diversidad de formas y texturas, así como las múltiples disposiciones en planta que admiten los adoquines, adaptándose a cualquier necesidad y consiguiéndose variados efectos estéticos

## 4. Colocación de pavimentos prefabricados de hormigón

Tan importante como la calidad en la fabricación del prefabricado, es la correcta instalación del mismo en la obra, de la que depende directamente la durabilidad de una pavimentación y que se puedan desarrollar correctamente las propiedades del adoquín.



# Prefabricados de hormigón

En la colocación de los pavimentos prefabricados hay dos fases diferenciadas, por una parte la preparación del terreno y por otra la colocación del pavimento.

La preparación del terreno, tanto la sub-base como la base es fundamental por su influencia en el comportamiento final del pavimento, no habrá un buen adoquinado si no hay una buena preparación del terreno.

## 4.1. Preparación del terreno

### a) Preparación de la explanada:

Consiste en retirar o añadir todo el material que sea necesario para obtener la cota del proyecto definida en los estudios preliminares.

La explanada debería alcanzar el perfil de diseño del firme, es decir de las pendientes transversales, para posteriormente compactar adecuadamente estas superficies de forma que garantice la capacidad portante exigida en proyecto.

### b) Extensión y compactación de la capa sub-base:

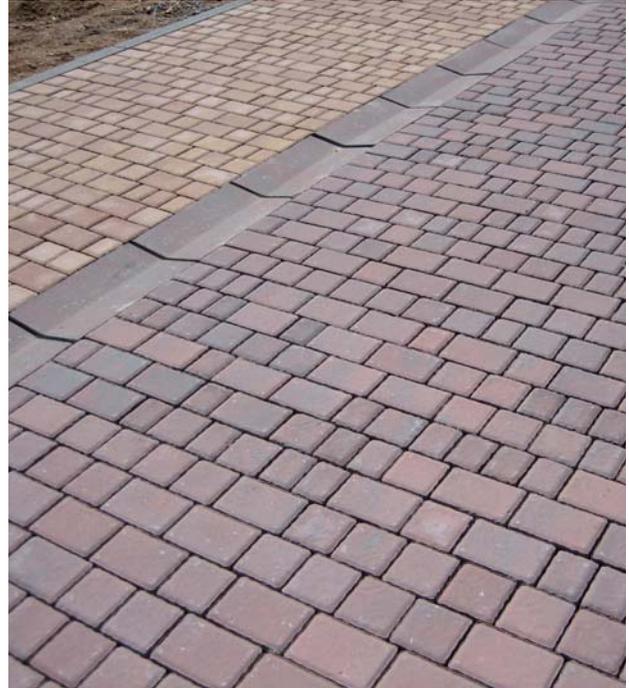
Después de la explanada, se realiza la extensión de la sub-base en tongadas de espesor suficientemente reducido para obtener el grado de compactación exigido, en función de la naturaleza del terreno y los requerimientos de tráfico.

Otro factor a tener en cuenta son las pendientes mínimas que hay que dar a la sub-base y que tienen que ser idénticas a las que definitivamente deberá tener el firme terminado, teniendo en cuenta un mínimo del 2%.

### c) Extensión y compactación de la capa base:

Ésta puede ser de dos tipos:

- Flexible: Cuando se emplea un todo-uno o zahorra natural o artificial debidamente compactado para alcanzar entre un 98% y 100% del ensayo Proctor en función del tipo de tráfico y que tendrá un espesor desde 15 cm a 40 cm.



- Rígida: Si se emplea como base un hormigón o gravacemento, oscilando los espesores entre 15 cm y 25 cm, siendo su puesta en obra análoga a la de todos los tipos.

### d) Bordos de confinamiento:

Los pavimentos de adoquines y losas requieren un elemento que los confine para evitar desplazamientos de las piezas, aperturas de las juntas y pérdida de trabazón entre los adoquines, siendo recomendable que este elemento, generalmente un bordillo, se constituya antes del propio adoquinado.

## 4.2. Colocación del pavimento

Una vez realizada la preparación del terreno se procede a la colocación del pavimento, en 4 etapas:

### a) Capa de arena o motero:

El objeto fundamental de esta capa es servir de base de apoyo a los adoquines, permitiendo una perfecta compactación y nivelación del pavimento.

# Prefabricados de hormigón

Nunca se debe conseguir la pendiente final con esta capa, sino con las bases y sub-bases debidamente tratadas. El asiento de arena debe ser uniforme, siendo su espesor ideal entre 4 y 5 cm.

En el caso de losas de gran tamaño, el lecho de arena de 4-5 cm conviene que vaya mezclado con un poco de cemento, entre 50 y 100 kg de cemento por m<sup>3</sup> de arena. Este cemento se mezcla y se extiende en seco, y no tiene ninguna función resistente, sirviendo únicamente para evitar un posible lavado de las arenas.

El extendido y nivelación de esta capa ha de ser perfectamente uniforme y de espesor constante para la posterior colocación de los adoquines y losas.

## b) Colocación de adoquines o losas:

Esta etapa se realiza de forma manual, sobre la arena previamente nivelada, se colocan las piezas de adoquín o losa, pisando siempre en las unidades colocadas y nunca sobre arena.

Todas las piezas deben quedar niveladas, ajustando el remate a los bordes de confinamiento mediante piezas previamente cortadas.

## c) Compactación o vibrado:

Una vez terminada la colocación de adoquines en una zona que debe ser utilizada o cuando se vaya a interrumpir un trabajo, es necesario proceder a la compactación de la superficie colocada, mediante una bandeja vibrante.

## d) Sellado:

Labor especialmente importante para garantizar un buen comportamiento del pavimento de adoquines o losas.

Se trata de arena fina que ocupa el espacio de la junta entre adoquines, ayuda a confinar lateralmente y transmite cargas entre ellos.

Su papel es fundamental en la resistencia y comportamiento del conjunto.

## 5. Modelos

Existen diferentes soluciones para realizar una pavimentación con prefabricados de hormigón. Entre los principales productos se pueden encontrar: adoquines de hormigón, bordillos de hormigón, o losas de hormigón.

### 5.1. Adoquines de hormigón

Dependiendo de las dimensiones y la superficie de terminación, podemos encontrar distintos modelos de adoquín:

CASCO VIEJO	 <p>Tres piezas: 180x120x60 mm 120x120x60 mm 90x120x60 mm</p>
ÓBANOS	 <p>240x120x60 120x120x60</p>
CUARCITE	 <p>240x120x60 120x120x60</p>

## Prefabricados de hormigón

<p>CIGALES</p>	 <p>200x100x60 200x100x80 200x100x100 100x100x60 240x120x60</p>
<p>TULIPE</p>	 <p>224 mm<sup>2</sup></p>
<p>LUR-H</p>	 <p>200x160x80</p>
<p>UNI-LUR</p>	 <p>225x112,5x60 225x112,5x80 225x112,5x100</p>

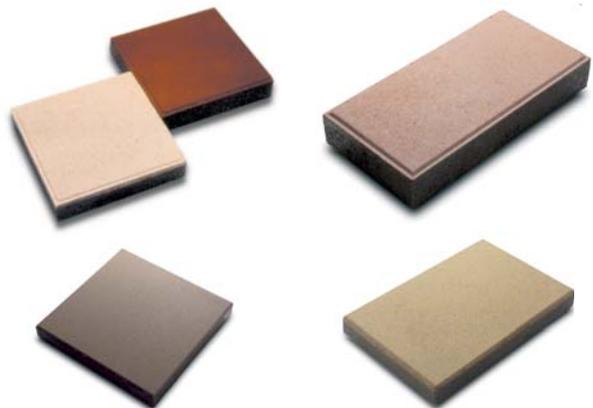
<p>MUSEO</p>	 <p>120x120x60</p>
<p>CERAM-LUR</p>	 <p>210x70x60</p>

### 5.2. Losas de hormigón

Se fabrican losas de hormigón cuadradas y rectangulares en diferentes dimensiones.

Las principales dimensiones utilizadas son:

- 200x200x60 mm
- 300x300x60 mm
- 400x200x60 mm
- 400x200x80 mm
- 500x250x60 mm
- 500x500x60 mm
- 600x300x60 mm
- 600x400x60 mm
- 600x600x60 mm



## Prefabricados de hormigón



### 5.3. Bordillos de hormigón

Dependiendo de la finalidad del bordillo, se puede diferenciar en dos gamas: Calzada o Peatonal.

Los bordillos de la gama Calzada están diseñados para su uso en tareas pesadas, carreteras, áreas de servicio y de tráfico rodado. Los bordillos de la gama Peatonal están indicados para calles, paseos, recintos privados y otras zonas ajardinadas como parques o entornos naturales. Los bordillos se fabrican en doble capa con el fin de darles la resistencia y terminación adecuadas:

### 5.4. Celosía de hormigón

La Celosía Césped, es un tipo especial de losa medio-ambiental, formada por una losa con superficie semiabierta. Permitiendo el cultivo de vegetación, y a la vez adecuada para el paso de cargas y tráfico pesado.

Alternativamente también puede ser utilizado como muro inclinado de retención en taludes.



# Prefabricados de hormigón

## Bordillos

Existen dos gamas de bordillo de hormigón prefabricado. Los bordillos de la GAMA CALZADA han sido especialmente diseñados para el uso en tareas pesadas, carreteras, áreas de servicio y de tráfico rodado. Los bordillos de la GAMA PEATONAL han sido especialmente diseñados para zonas como calles, paseos, recintos privados y otras zonas ajardinadas como parques o entornos naturales.

Los bordillos se fabrican en doble capa con el fin de darles la resistencia y terminación adecuadas.

Tabla de Productos									
GAMA CALZADA	Dimensiones			Peso kgs/ml	GAMA PEATONAL	Dimensiones			Peso kgs/ml
	l	an	al			l	an	al	
<b>C3</b> 	1000	170	280	106	<b>A1</b> 	1000	140	200	61,6
<b>C4</b> 	1000	150	280	90	<b>A2</b> 	1000	100	200	44
<b>C5</b> 	1000	150	250	82	<b>A3</b> 	500	80	200	37
				82	1000	80	200	37	
<b>C6</b> 	1000	120	250	66,2	<b>A4</b> 	1000	80	200	33
<b>C7</b> 	1000	200	220	78	<b>Otros Bordillos (no incluidos en UNE)</b>				
<b>C9</b> 	500	250	130	68	<b>PECHO</b> 				
<b>Piezas Complementarias</b>					<b>PALOMA 1</b> 	250	90	300	52
<b>PIEZAS DE ENTRONQUE IZQ. Y DERECHA</b> 	500	350	210	75*	<b>2</b> 	330	130	300	78
<b>LOSAS DE VADOS</b> 	500	250	18*		<b>T1</b> 	1000	120	200	52,2
<b>R4 CAZ</b> 	500	300	130	86,4	<b>JO</b> 	1000	100	180	42
	600	400	130	106,7	<b>TUDELA</b> 	600	150	160	50
					<b>SANTA ANA</b> 	850	150	280	80

C = LA GAMA CALZADA

A = LA GAMA PEATONAL

\* = unidad

# Prefabricados de hormigón

## 6. Los pavimentos envejecidos

Imitando a los adoquines originales de piedra, existe la posibilidad de fabricar los adoquines prefabricados con una terminación adicional de envejecido. Este tipo de adoquines además se suelen fabricar combinando piezas de distintos tamaños, asemejándose a los formatos irregulares del adoquín clásico y proporcionando elegancia y estilo a cualquier proyecto de pavimentación.

### 6.1. Adoquín Bergerac

El adoquín tipo Bergerac es un ejemplo de adoquín envejecido que combina cuatro tamaños distintos de pieza que deben combinarse de forma aleatoria entre sí. El tratamiento de envejecido aplicado a los adoquines después de su fabricación por vibropresado, permite que se integren perfectamente en entornos rústicos o históricos.

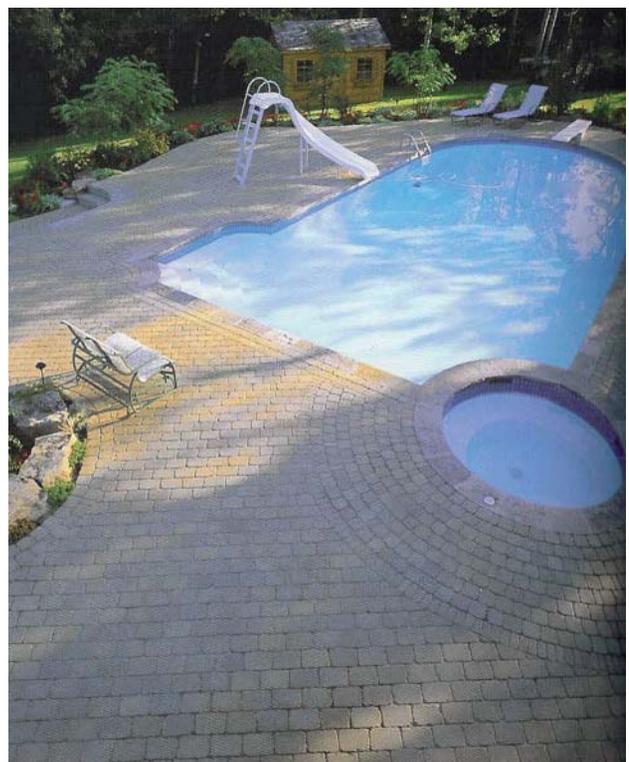


Los formatos de sus piezas en mm. son: 210x140, 175x140, 140x140 y 105x140; todas ellas en 80 mm de espesor.

Para favorecer igualmente el aspecto diferencial de la pavimentación con adoquines envejecidos, este adoquín se ofrece combinando distintos colores que resultan análogos. Las mezclas de color creadas son exclusivas y están formadas por colores que armonizan bien entre sí, dando un aspecto homogéneo a la pavimentación.

### 6.2. Adoquín Galea

Otro ejemplo de adoquín envejecido, que en este caso combina piezas del mismo tamaño, es el adoquín tipo Galea.



## Prefabricados de hormigón



La superficie del adoquín es lisa y antideslizante y no muestra ningún tipo de bisel ni relieve, resultando una pavimentación formada por un solo tipo de adoquín, que puede ser rectangular (240x120x60 mm.) ó cuadrado (120x120x60 mm.) combinando las mismas mezclas de color que el adoquín Bergerac.



Abenor, Comentarios a la Norma de Fabricación de Bordillos de Hormigón, 2001,AB-0401,12-18.

Asociación para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón (Euroadoquín), Manual Técnico de Proyecto, Diseño y Uso de los Euroadoquines, 1997,MTE-97,10-17,56-57.

Asociación para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón (Euroadoquín), Manual Técnico para la correcta colocación de los Euroadoquines, 2004,MTCE-04,12.

Ezarle, S.L., Catálogo Corporativo, 2004.

Prefabricados de Hormigón Lurgain, S.A., Catálogo Corporativo,2006.

# POZOS DE INSPECCIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA CALIDAD: UNA OPORTUNIDAD DE MERCADO PARA LA INDUSTRIA DE ESTRUCTURAS PREFABRICAS DE ESPAÑA

ING. THOMAS SCHARDAX

*MARKETING PERFECT, SCHLÜSSELBAUER TECHNOLOGY*

Las inversiones urgentes en la mejora de las redes de alcantarillado para la protección de las aguas freáticas y, por lo tanto, de la salud de la población española, incluyendo los numerosos pozos de inspección y mantenimiento correspondientes, ofrecen en los próximos años grandes oportunidades para la industria de los elementos prefabricados de hormigón. Un pozo de inspección en la red de alcantarillado que se mantenga impermeable durante los próximos 100 años nos beneficia a todos. A nuestra generación, a la generación de nuestros hijos e incluso aún a la de nuestros nietos.

La inversión en un procedimiento de producción para la fabricación de pozos de inspección monolíticos PERFECT se amortiza al cabo de poco tiempo y el valor añadido permanece en la fábrica de hormigón.

La alta calidad del producto (alta resistencia mecánica y química), la flexibilidad de su construcción y la posibilidad de configurar los canales de forma individualizada (si se requiere, dentro de 24 horas) convierten al productor de elementos prefabricados de hormigón que trabaja con el sistema PERFECT en el socio perfecto, tanto para los empresarios como para las oficinas de planificación. Para obtener más información sobre PERFECT véase en la página web: [www.perfectsystem.eu](http://www.perfectsystem.eu)

### 1. Introducción

Las construcciones de pozos de inspección en los sistemas de canalización de aguas residuales suponen un peligro para el medio

ambiente y, en consecuencia, para toda la población. En España, donde las aguas freáticas puras y potables son escasas, va a ser muy importante en el futuro proteger este valioso bien de la contaminación. Los pozos de ins-

# Prefabricados de hormigón

pección monolíticos PERFECT de alta calidad que se presentan en este artículo, de hormigón autocompactante o de hormigón de alto rendimiento autocompactante, cumplen todos los requisitos de calidad, individualidad, flexibilidad y rentabilidad. Los pozos de inspección prefabricados según el sistema PERFECT dan una nueva imagen al producto de hormigón y hacen sombra en muchos aspectos a los materiales sintéticos.

## 1.1 Planteamiento y objetivo de trabajo para el desarrollo del sistema PERFECT

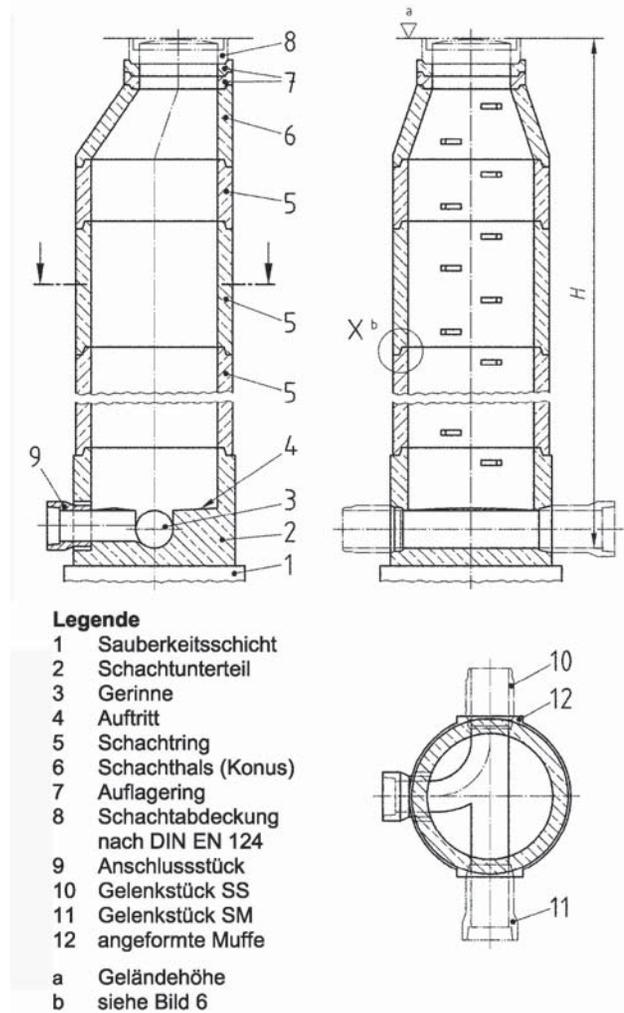
Desarrollo de un método de producción industrial y económico para la fabricación de pozos de inspección de hormigón, monolíticos y homogéneos de una fundición (procedimiento de colada), con una gran resistencia a la corrosión y con acanaladura individual.

Mejorar sensiblemente las condiciones de trabajo en las instalaciones del fabricante y reducir los tiempos de entrega de los pozos de inspección con acanaladura individual según demanda en la obra.

Los pozos de inspección son el límite inferior impermeable de la mayoría de cámaras verticales que, como construcciones en los sistemas de canalización, permiten el acceso a la red subterránea de alcantarillado y colectores. Estos registros de inspección, además de para la ventilación y la aireación de la red de alcantarillas, también sirven para concentrar las aguas y para cambiar la dirección, la sección transversal y la inclinación del sistema de canalización. La Figura 1 muestra la construcción de un pozo de inspección.

El pozo de inspección se construye con la unión de canales que desee y con el cambio de dirección, de sección transversal y de inclinación de tuberías que prefiera. La adaptación de los canales de aguas residuales a las particularidades naturales de la obra lleva consigo el hecho de que cada pozo de inspección es una obra particular. En concreto, los pozos de inspección se diferencian claramente por la posición de las acometidas y salidas y por los diámetros nominales de los tubos conectados. También se pueden diseñar diferentes manguitos de conexión en el pozo de inspección según las propiedades del material de las tuberías que se vayan a tender.

Figura 1.- Ejemplo de un pozo de inspección con elementos prefabricados de hormigón y de hormigón armado



Además de los altos requisitos a la flexibilidad de la geometría del pozo de inspección, también se han de establecer unos requisitos exigentes a la calidad del hormigón utilizado. En la nueva EN 1917 se establece un hormigón de la clase de resistencia C40/50.

Los requisitos a un pozo de inspección se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Capacidad de carga suficiente para la estabilidad de toda la construcción de la cámara de pozo.

## Prefabricados de hormigón

- Altos requisitos a la flexibilidad de la geometría interior del pozo de inspección. El fondo de la cámara debe estar formado con una cuneta (acanaladura de carácter individual)
- Impermeabilidad consistente del elemento constructivo, en particular de las conexiones estancas de la cámara y de los tubos.
- Gran resistencia del canal contra el ataque químico de las aguas residuales.
- Resistencia suficiente a los efectos mecánicos por abrasión, golpes o equipos de limpieza.

Bajo este aspecto debe señalarse que la calidad del canal es esencial para determinar la duración de un pozo de inspección, ya que es el canal el que está en contacto directo con las aguas residuales.

### 1.2 Estado actual de la técnica de construcción de pozos de inspección en España

También en España se sigue construyendo "in situ" en la obra aún en el año 2007 la mayor parte de los pozos de inspección con una anchura nominal comprendida en un margen entre DN 800 y DN 1500. En algunas regiones hablamos del 90 % de las construcciones de registros de inspección que se proyectan de esta manera. La construcción "in situ" absorbe mucho trabajo, dura mucho tiempo por el bajo grado de mecanización y, por lo tanto, es cara. Por lo general, estas construcciones no cumplen ni los requisitos de la norma europea EN 1917 ni los apéndices nacionales españoles a la EN 1917 - el complemento nacional UNE 127917. Las circunstancias poco favorables que con tanta frecuencia predominan "in situ" en las obras y las sustancias y materiales de que se disponen condicionan la ejecución de la construcción de los pozos de registro de inspección, que a menudo acaba siendo deficiente.

La construcción de los primeros pozos de inspección prefabricados en España según la normativa por las empresas dedicadas a la fabricación de elementos de hormigón se realiza produciendo un elemento exterior (pieza en bruto de anillo de pozo con fondo) en el procedimiento de colada o en una unidad de compactación mecánica por medio de vibración. (véase la Figura 2). Así es como se obtiene un hormigón de la clase de resistencia C40/50 para el elemento exterior. La acanala-

dura de los canales en el fondo del elemento base se ejecuta manualmente (véase la Figura 3). Para ello se coloca hormigón apisonado en la pieza en bruto y el canal se moldea a mano. Esta actividad se debe realizar por encima de la pared del pozo, lo cual quiere decir someter a un esfuerzo muy considerable el aparato motor, es decir, la columna vertebral del obrero. Además, este método resulta muy costoso debido a la gran proporción de trabajo manual y las condiciones técnicas de la obra no permiten mantener constante la alta calidad de la construcción. Así pues, como son dos los pasos de trabajo, la conexión de la pieza en bruto con el canal acaba siendo defectuosa. Por otro lado, no se alcanza la resistencia requerida con el hormigón apisonado, que se coloca después y por lo tanto, tampoco se consigue la resistencia suficiente contra las aguas residuales ácidas.

Figura 2.-



Figura 3.-



## Prefabricados de hormigón

Otro método para la producción de pozos de inspección prefabricados prevé la utilización de piezas preformadas de materiales sintéticos como encofrado perdido (véase la figura 4).

Figura 4.-



Con estas piezas preformadas de materiales sintéticos es posible una producción técnica mecanizada, puesto que esas mismas piezas preformadas también se pueden utilizar en el procedimiento de colada, donde se puede conseguir un hormigón de la clase de resistencia C40/50. La superficie de contacto del pozo de inspección con las aguas residuales es aquí material sintético resistente con el que se llega a alcanzar una gran duración. Una desventaja de este procedimiento es el alto precio del encofrado perdido, así como su fabricación en empresas proveedoras externas, lo que prolonga el tiempo de tramitación de un pedido, con lo cual difícilmente se pueden hacer trabajos a corto plazo. Otro problema es garantizar la duración de la conexión de las piezas de material sintético con el hormigón. Como el material sintético no se adhiere al hormigón, es necesario recurrir a medios especiales (a los llamados puentes de adherencia). Debido a la mezcla de materiales, también es muy difícil poder reacondicionar los pozos de inspección.

Otro método consiste en moldear el canal con unas pocas piezas de acero preformadas. La desventaja de este procedimiento es que sólo se puede construir un canal con una ejecución determinada y predefinida. La flexibilidad de este método es muy limitada.

### 1.3 Descripción del nuevo e innovador método PERFECT para la producción de pozos de inspección prefabricados:

Con este nuevo método se pueden fabricar pozos de inspección de hormigón de todas las anchuras nominales de uso corriente (DN 800, DN 1000, DN 1200 y DN 1500 mm) con acanaladura de carácter individual y homogéneo de una fundición.

El punto esencial de este método radica en la configuración individualizada del canal. Como molde negativo de los canales característicos se utilizan piezas preformadas EPS (poliestireno expandible "icopor").

El poliestireno es ligero, fácil de mecanizar y resiste la presión del hormigón durante el llenado de los moldes. Además, se puede reciclar. Una vez utilizado como molde del canal, el poliestireno es granulado en una trituradora y se convierte en una sustancia de valor para la industria de los materiales de construcción, donde el granulado de poliestireno se emplea como sustancia de base para materiales aislantes.

Para poder construir los canales de forma individualizada, las dimensiones de los canales correspondientes se proyectan a partir de un surtido estándar de piezas EPS (arcos de 90° y piezas rectas). Las dimensiones de canal que más se utilizan son 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800 y 1000 mm (véase la figura 5).

Para ensamblar las piezas EPS de forma individualizada hemos desarrollado una técnica de corte especial por alambre de calefacción. Con esta técnica es posible configurar las piezas EPS por control CNC, sin contacto y cortadas exactamente a medida. La conexión de las admisiones laterales en el canal principal se realiza con una guía de corte tridimensional (véase la figura 6).

# Prefabricados de hormigón

Figura 5.- Piezas EPS de arco de 90°.



Figura 6.- Detalle de la instalación de corte tridimensional.



Todos los datos necesarios para fabricar el producto (diámetro, acodamiento, pendiente, admisiones laterales, tipos de junta de tubos, tipo de guarniciones etc.) van a parar a una base de datos centralizada y se procesan y editan mediante

un programa de desarrollo propio de Schlüsselbauer. A partir de ahora, con esta nueva técnica es posible proyectar cualquier configuración de canales que se requiera (véanse las figuras 7 y 8).

Además, el paquete de programas desarrollado se puede utilizar y aplicar también para el proceso logístico completo, desde el pedido de un pozo de inspección determinado hasta su entrega, pasando por la preparación del trabajo, la planificación de la producción y los cálculos.

Figura 7.-

**Eingabemaske**

SchachtNr:  Berme [%]

Durchmesser:  Winkleinheit

Wandstärke:  Winkelangabe

	Gerinne DN	Winkel	Gefälle zu AD	Anschlussart	Anschluss DN	Topfneigung[%]
Auslauf AD	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="2"/>
Einlauf E1	<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="190"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="200"/>	<input type="text"/>
Einlauf E2	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="65"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="2"/>
Einlauf E3	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="270"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="150"/>	<input type="text"/>
Einlauf E4	<input type="text" value="150"/>	<input type="text" value="225"/>	<input type="text" value="67"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="150"/>	<input type="text"/>
Einlauf E5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

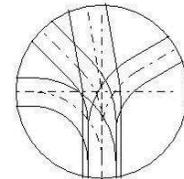
Figura 8.-

**PERFECT**  
Schachtunterteil

**SCHLUSSELBAUER**

Arbeitsplan

Schacht Nr.:  
Durchmesser: 1000  
Wandstärke: 170  
Berme: 2



Hauptgerinne	DN	Höhe	Auslauf	Einlauf	Bogen	Winkel
	200	200	515	515	10	190
Nebengerinne 1	DN	Höhe	Auslauf	Einlauf	Bogen	Winkel
	150	150		319	39	120
	Bezug Winkel	Bezugsgerinne	Zulaufwinkel	Zulauf Dim	Kurvenradius	Produkt DN
	190	200	120	150	400	1000
Nebengerinne 2	DN	Höhe	Auslauf	Einlauf	Bogen	Winkel
	150	150		150	90	270

El proceso de fabricación de un pozo de inspección con canal característico está estructurado de la siguiente manera:

1. Transmisión de datos, p. ej., de la preparación del trabajo a las instalaciones de corte de las piezas EPS.
2. Recorte de los arcos y de las piezas rectas en correspondencia con el canal requerido.

# Prefabricados de hormigón

3. Ensamblaje de cada una de las piezas (pegándolas).
4. Corte de la pendiente requerida y de la inclinación del talud escalonado.
5. Recorte de los sobrantes del canal en las admisiones y salidas.
6. Conexión de las admisiones y salidas adaptada a los materiales correspondientes de las tuberías.
7. Fijación de la unidad de canal en el núcleo interior que garantiza el diámetro interior del pozo de inspección. Ya se ha montado un manguito inferior (arandela) que forma la junta con las piezas constructivas verticales del pozo.
8. Colocación del molde exterior.
9. Aplicación del medio separador para garantizar un fácil desencofrado de las piezas constructivas individuales.
10. Fundición colada del pozo de inspección (el molde se puede llenar dos veces al día con calefacción opcional del molde de fundición).
11. Endurecimiento del producto.
12. Desencofrado y volteo del elemento base de pozo.
13. Retirada de las piezas EPS (escotaduras de admisiones y salida y del molde del canal)
14. Trituración de las piezas EPS preformadas en granulado (utilización como material de reciclaje).

Las siguientes figuras muestran los encofrados de fundición preparados con las piezas EPS preformadas adaptadas de forma individualizada justo antes de llenar con hormigón.

Figura 9.-



Figura 10.-



## 1.4 Registro de patente: estrategia de protección

El procedimiento de producción recién desarrollado está protegido legalmente por patente, tanto las instalaciones de corte como el propio procedimiento completo, el cual prevé el uso de piezas preformadas estándar como moldes negativos para la configuración de los canales característicos.

## 2. Relevancia para el medio ambiente

La alta calidad de producto de los pozos de inspección garantiza un uso duradero y una impermeabilidad inalterable de la construcción de la cámara durante la duración auténtica de la amortización de las redes de alcantarillas (80-100 años).

El uso de hormigón de alto rendimiento autocompactante y altamente resistente a la corrosión también permite instalar los pozos de inspección PERFECT en redes de alcantarillas que descargan aguas residuales agresivas.

Debido a la ejecución monolítica de los pozos de inspección es posible reciclarlos al 100%.

El poliestireno utilizado para el moldeo de los canales característicos se puede utilizar en la industria de materiales para la construcción como material de reciclaje en forma de granulado -> ciclo cerrado.

# Prefabricados de hormigón

## 3. Situación del mercado

### 3.1 Pozos de inspección prefabricados que se encuentran actualmente en el mercado

#### 3.1.1 Pozo de inspección con canal rectificadо manualmente

Alta proporción de actividades manuales y de gran esfuerzo físico. Baja resistencia debido a las condiciones tecnológicas (apisonado manual) en el canal y, por lo tanto, mínima resistencia a las aguas residuales ácidas. No se puede garantizar una calidad mínima constante -> menor duración, inferior a la duración auténtica de la amortización de las redes de alcantarillas (80 – 100 años).

#### 3.1.2 Pozo de inspección de material sintético reforzado con fibra de vidrio y cámara prefabricada de material sintético

Actualmente la fabricación de pozos de inspección mediante fondos de material sintético o la utilización de cámaras prefabricadas de material sintético también está en pleno avance en España. Con esta modalidad de fabricación, el valor añadido pasa de la fábrica de hormigón al fabricante de materiales sintéticos, que por ejemplo en un país pequeño como en Austria llega a obtener una cifra de negocios de aprox. 14 millones de euros al año.

### 3.2 Volumen de mercado del ejemplo de Alemania y Austria

Debido a las medidas de saneamiento obligatorias en la red de alcantarillas y a las nuevas construcciones realizadas en la red de carreteras, cada año se requieren en Alemania unas 800.000 unidades aprox. de pozos de inspección con canal prefabricado y, en Austria, unas 100.000 unidades aprox.

#### 3.2.1 Potencial de mercado en España para pozos de registro prefabricados de hormigón.

Según la información sacada de la IX Encuesta nacional sobre suministro de agua potable y saneamiento en España, AEAS, 2004 los datos son los siguientes:

La longitud media por habitante de la red de alcantarillado es de 1,80 metro/habitante.

La tipología de red más común es la unitaria, con valores medios de alrededor del 90%, mientras que la separativa suele presentar valores del 10%. En áreas metropolitanas lo preferencia son las redes unitarias.

Los materiales más usados son el hormigón, el PVC y el fibrocemento, por este orden (el fibrocemento irá desapareciendo ya que, como sabemos, está prohibido desde hace un tiempo por una Directiva de la Unión Europea).

En cuanto al número de pozos instalados en las redes de alcantarillado, se puede hacer los siguientes calculos: La distancia máxima entre pozos no está normalizada, recomendándose, para diámetros inferiores a 1000 mm que sean inferiores a 50-70 m.

Basarse a estos calculos se puede asumir una largura de 75.000 km de alcantarillado con aproximadamente 1.000.000 de pozos en España.

Una tasa de renovación y construcción de 7% da como resultado una necesidad total de 70.000 elementos de bases de pozos cada año.

En comparación con Alemania y Austria esta cifra parece subestimada y deja más potencial aún para el futuro.

### 3.3 Estrategia de ventas del nuevo procedimiento de fabricación

Schlüsselbauer ofrece un amplia gama de prestaciones en el marco de este nuevo procedimiento de fabricación.

Las prestaciones empiezan con la venta de los dispositivos de fabricación (también con modelos de financiación), pasan por la distribución de las piezas preformadas de poliestireno (entrega de las piezas estándar hasta el reciclaje del granulado) en una amplia área de cobertura, y se extienden hasta las numerosas medidas de marketing y de fomento de las ventas para nuestros clientes (en nuestra región y fuera de ella).

# Prefabricados de hormigón

Figuras 11 y 12.- Canal de hormigón PERFECT conformado de forma individualizada.



Dados los beneficios económicos para nuestros clientes y la utilidad total ecológica y económica, estamos convencidos de que este procedimiento de producción se va a implantar en el futuro.

### 3.4 Beneficios económicos para nuestros clientes

Este nuevo procedimiento de producción permite a nuestros clientes fabricar pozos de inspección monolíticos de alto valor cualitativo. La singularidad de la alta calidad del producto abre nuevas oportunidades de mercado para nuestros clientes.

Los costes variables se reducen considerablemente al disminuir el valor del material utilizado, por lo que se incrementa la contribución de los beneficios por pozo de inspección. Los bajos costes de inversión, comparados con los de las máquinas que actualmente se encuentran en el mercado, también permiten a las pequeñas fábricas, adquirir esta instalación de producción que se llega a amortizar en tan sólo 3-4 años (véase el cálculo de rentabilidad en el punto 6).

Como es posible cubrir una gran parte de los costes de material en la fábrica del cliente, el valor añadido permanece en la fábrica de hormigón. Por otra parte, la independencia con los proveedores proporciona tiempos de ejecución más cortos. Los tiempos de producción disminuyen drásticamente gracias a la automatización del proceso de producción y a la

optimización del proceso logístico. Si se requiere, el producto se puede entregar dentro de 24 horas a partir de la confirmación del pedido. Así también se pueden reducir considerablemente los medios para la construcción de canales.

Condiciones de trabajo ergonómicas en la fabricación de los pozos de inspección. Los puestos de trabajo que requieren un duro esfuerzo físico son sustituidos por unos nuevos puestos que sólo requieren un ligero trabajo. Estos puestos de trabajo, mejor cualificados, también conllevan un aumento de la seguridad laboral.

### 4. Efectos para la economía nacional

La fabricación de productos de hormigón significa automáticamente creación de valor económico en la región y al mismo tiempo puestos de trabajo para la gente local. El uso de áridos, productos naturales locales, las distancias cortas de transporte, el bajo consumo de energía en la fabricación tienen como resultado un producto con balance ecológico altamente positivo.

El valor más alto es sin embargo la calidad del producto PERFECT sumamente alta. Con su estanqueidad garantizada impide que las aguas sucias en los alcantarillados contaminen el agua potable. Ya hoy y aún más en un futuro aproximado, el agua puro y potable se considera como el oro blanco de un valor impagable para la salud de una sociedad.

# Prefabricados de hormigón

## 5. Mejora de los aspectos sociales

Las fábricas de hormigón dan empleo actualmente a albañiles para la construcción de la acanladura en el fondo del elemento base de pozo. Este trabajo requiere un gran esfuerzo físico, principalmente de la columna vertebral, por la manera inclinada de hacerlo. Estas condiciones de trabajo también se hallan en la zona límite por parte del empresario, y ya se está discutiendo un cambio legislativo de las condiciones-marco.

Muy pronto, la fabricación que se representa en la figura 13 (entibación manual de los canales) va a pertenecer al pasado.

Figura 14.- La fabricación automatizada PERFECT de pozos de inspección es el futuro.



Figura 15.- Pozos de inspección perfectos.



Figura 16.- Facilidad y reducción de tiempo en la obra.



Figura 17.- Pozos de inspección de hormigón de alto rendimiento doblemente resistentes a la corrosión.



Figura 18.- La perfecta calidad PERFECT da una nueva imagen al producto prefabricado de hormigón.



## Prefabricados de hormigón

Este duro trabajo corporal desaparece con unos elementos constructivos más ligeros y una postura corporal vertical erguida para la construcción principal del canal. Estas nuevas condiciones exigen todas las opciones disponibles para configurar óptimamente el puesto de trabajo según los conocimientos más modernos de ergonomía.

### 5.1 Rentabilidad del procedimiento de fabricación de pozos de inspección

Como ejemplo para calcular la rentabilidad, hemos supuesto una pequeña fábrica de prefabricados con una producción anual de 2000 unidades de pozos de inspección. Como producto comparativo se ha elegido un pozo de inspección (canal recto DN 300) con un precio de venta de 200 EUR. Para simplificar la comparación de las dos variantes no se ha tenido en cuenta la infraestructura de la empresa y se ha determinado un 5% como interés sobre el capital invertido. Se ha supuesto una tarifa de la hora de trabajo de 35 EUR.

Ante este resultado, es evidente que la fabricación de pozos de inspección de material sintético reforzado con fibra de vidrio (GFK) no tiene ningún aspecto rentable para los productores de elementos prefabricados de hormigón y sólo sirve para cubrir el catálogo de productos.

La producción de elementos de bases de pozos con sistema PERFECT reduce notablemente los costes de fabricación, evitando la compra de fondos de plástico (PVC, fibra de vidrio o otros...). Al mismo tiempo los bases de pozos PERFECT obtienen por su alta calidad y por su resistencia contra ataques químicos al mercado precios comparables con los productos revestidos con plástico. El tiempo de amortización de la inversión en el sistema PERFECT es muy corto por su alto rendimiento (contribución de los beneficios) y por eso interesante para empresas de prefabricados de hormigón.

	Pozo de inspección GFK	Pozo de inspección PERFECT
Inversión instalación de prod. en EUR	0	350.000
Inversión en moldes en EUR	40.000	100.000
Tiempo de trabajo en minutos/unidad	0:32	0:32
Material en EUR/unidad	179,5	91
Costes salariales en EUR/año	37.333	37.333
Costes de materiales en EUR/año	359.000	182.000
Costes de producción en EUR/año	396.333	219.333
Beneficios en EUR/año	400.000	400.000
Contribución de los beneficios en EUR/año	3.667	180.667
Costes fijos en EUR	40.000	450.000
Amortización	10,9 años	2,5 años

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS  
DE DISEÑO DE BLOQUES DE  
HORMIGÓN RESPECTO A SU  
COMPORTAMIENTO TERMICO**

**RAMÓN LOSADA RODRÍGUEZ**

*CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD*

**EDUARDO ROJÍ CHANDRO**

*PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD*

**JESÚS CUADRADO ROJO**

*PROFESOR TITULAR DE ESCUELA UNIVERSITARIA*

**MARCOS LARRAURI GIL**

*PROFESOR COLABORADOR*

**UNAI ELORTEGUI LECANDA.**

*PROFESOR COLABORADOR*

*PROFESORES DEL ÁREA DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN*

*E.T.S. INGENIERÍA DE BILBAO (UPV/EHU)*

La búsqueda de los máximos niveles de sostenibilidad en la materialización de las construcciones nos conduce, hoy en día, a la consideración de este concepto desde la fase de diseño de los edificios, e incluso en la fabricación de los diferentes componentes que integran dichos edificios.

Una de las vertientes fundamentales de la sostenibilidad es el ahorro energético de las edificaciones. Dicho ahorro energético pasa, forzosamente, por la optimización del comportamiento térmico de los elementos envolventes de la edificaciones que ejercen de frontera entre el ambiente interior y exterior. Pero a su vez, también se tendrá que tener en consideración el ahorro energético entre los distintos espacios definidos en el interior del edificio.

# Prefabricados de hormigón

El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) introduce una serie de nuevos requerimientos térmicos a cumplir tanto por los sistemas de cerramiento de los edificios como por las particiones interiores, que condicionan las características que deben tener los componentes que lo integran.

El presente documento analiza dichos requerimientos para el caso de utilizar un bloque de hormigón, normalmente aligerado, marcando unas directrices de diseño para obtener elementos de cierre con propiedades térmicas optimizadas.

## 1. Introducción

Antaño, cuando algún fabricante debía evaluar el comportamiento de un muro realizado con algún nuevo diseño de bloque, no había herramientas que predijeran en cierto modo dicho comportamiento a la hora de realizar el diseño de dicho bloque. El único modo que se utilizaba era realizar un prototipo de diseño, basándose en la experiencia y buen hacer del fabricante de bloques, y una vez realizado el molde, no había más remedio que realizar los pertinentes ensayos en laboratorios especializados. De este modo, si el nuevo muro no satisfacía las necesidades del mercado o de la normativa vigente que el fabricante de prefabricados buscaba, la pérdida económica del mismo era considerable, ya que el capital invertido tanto para la realización de utillajes, como los ensayos en laboratorios especializados era muy grande.

Hoy en día, y con la ayuda de la normativa y las herramientas informáticas, se trata de diseñar elementos que permitan obtener como resultado muros de bloque con el comportamiento requerido, sin que la inversión, a priori, sea tan elevada. De ese modo, se logra diseños de muros que cumplan los requerimientos demandados tanto por el mercado, como por la normativa vigente.

La caracterización del comportamiento de un muro de bloque de hormigón supone la realización de los siguientes estudios:

- ANÁLISIS TÉRMICO: Obtención del coeficiente de transmisión térmica del elemento constructivo (U).
- ANÁLISIS ACÚSTICO: Obtención del aislamiento acústico del elemento constructivo (R).
- ANÁLISIS FRENTE AL FUEGO: Obtención de la resistencia frente al fuego del elemento.

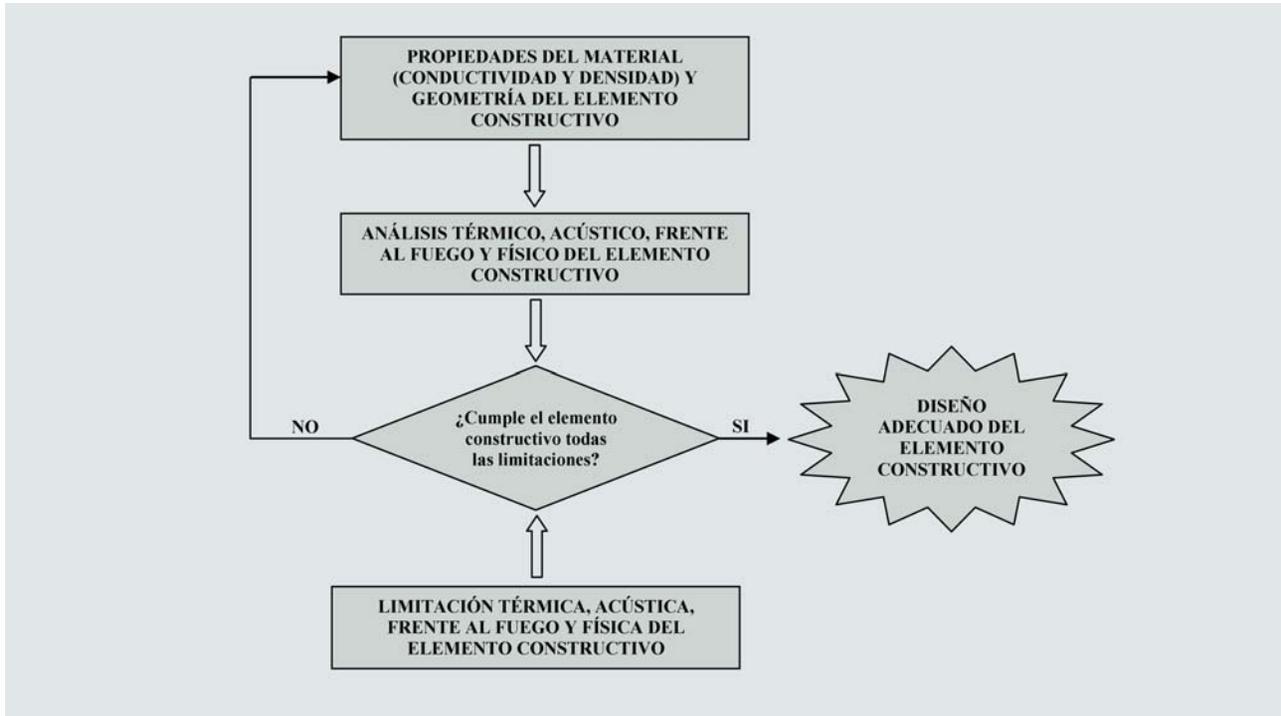
- ANÁLISIS FÍSICO: Obtención del peso y las características resistentes del elemento constructivo.

Para ello se ha planteado el siguiente proceso iterativo:

1. Suponer una geometría del elemento constructivo, así como la conductividad y densidad de su material.
2. Analizar el elemento constructivo.
3. Obtener las limitaciones térmicas, acústicas, frente al fuego y físicas que debe cumplir el elemento constructivo a analizar:
  - LIMITACIÓN TÉRMICA: Obtención del coeficiente de transmisión térmica máximo que se puede admitir en el elemento constructivo.
  - LIMITACIÓN ACÚSTICA: Obtención del aislamiento acústico mínimo que se puede admitir en el elemento constructivo.
  - LIMITACIÓN FRENTE AL FUEGO: Obtención de la resistencia frente al fuego mínima que se puede admitir en el elemento constructivo.
  - LIMITACIONES FÍSICAS: Observación de las limitaciones físicas que debe poseer el elemento constructivo.
4. Observar si el bloque analizado cumple todas las limitaciones que exigen las normas, y si no es así, variar alguno de los parámetros de diseño del elemento constructivo (geometría o propiedades del material) y repetir el proceso iterativo desde el punto 1 al 4.

# Prefabricados de hormigón

Figura 1.- Esquema del proceso iterativo a seguir para determinar los comportamientos de los cerramientos de bloques de hormigón aligerado.



5. El proceso iterativo finalizará, cuando el elemento constructivo cumpla con todas las limitaciones que exigen las normas, teniendo en éste caso un posible diseño adecuado del mismo.

En el presente documento, solamente se trata el diseño de bloques respecto al análisis de su comportamiento térmico del espacio interior con respecto al exterior, pudiendo este espacio exterior referirse al ambiente exterior al edificio o a un espacio adyacente sin que este tenga que estar obligatoriamente a la intemperie.

## 2. Definición del comportamiento térmico

La caracterización del comportamiento térmico de bloques de hormigón aligerado, generalmente se podrá realizar de dos modos distintos;

1. Mediante el cálculo teórico basado en la normativa vigente. El cálculo basado en la extrapolación de nor-

mativa presenta una complejidad media, que se ve compensada por una precisión relativamente alta. En el presente método se asemeja el comportamiento térmico del bloque a su símil eléctrico, calculándose la Resistencia Térmica Total (RT), obteniéndose automáticamente el Coeficiente de Transmisión Térmica (U) mediante la relación (1):

$$U \left[ \frac{W}{m^2K} \right] = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

2. Mediante la utilización de programas informáticos de fluidodinámica y transmisión térmica que ayuden a analizar el comportamiento del elemento de hormigón.

El presente estudio, se ha planteado la modelización del comportamiento térmico del bloque de hormigón, mediante el programa comercial CF-Design, con objeto de estudiar el comportamiento de las diferentes variables que aparecen en el diseño de un bloque de hormigón, de cara a mejorar su comportamiento térmico.

# Prefabricados de hormigón

## 2.1. El coeficiente de transmisión térmica del cerramiento (U), según el nuevo Código Técnico de la Edificación

En el elemento de cierre de un edificio se diferencian distintas capas de materiales, con diferentes valores de transmisión térmica, donde todos ellos componen un tipo de cerramiento concreto. Por ello, es necesario realizar una media ponderada de los diversos valores de transmisión térmica de cada uno, obteniendo el coeficiente de transmisión térmica de la tipología de cerramiento, que no debe de superar un valor máximo definido en norma. De esta forma se obtiene la expresión (2)

$$U = \frac{\sum (U_i \cdot A_i)}{\sum A_i} \leq U_{max} \quad (2)$$

donde:

U [W/m²K]: Coeficiente de transmisión térmica total del cerramiento.

U<sub>i</sub> [W/m²K]: Coeficiente de transmisión térmica de una parte de cerramiento que pertenece a una tipología de cerramiento concreto (calculado según el apéndice F de la norma CTE: DB-HE1, o utilizando los valores que indica el fabricante de los cerramientos).

A<sub>i</sub> [m²]: Superficie de una parte de cerramiento que pertenece a una tipología de cerramiento concreto.

## 2.2. Los límites marcados al coeficiente de transmisión térmica (U), según el CTE

El valor máximo del coeficiente de transmisión térmica (U<sub>max</sub>) que proporciona el Código Técnico para los cerramientos, depende de la tipología de cerramiento y de la zona climática donde esté ubicado el edificio.

Se consideran las siguientes tipologías de cerramientos verticales:

- 1) Medianerías
- 2) Particiones interiores
- 3) Fachadas

Los cerramientos de un espacio habitable que sean medianerías, esto es, cerramientos que lindan con otros edificios ya construidos o que se construyan a la vez y que conformen una división común, tendrán un coeficiente de transmisión térmica (U) no superior a 1 W/m²K.

En edificios de viviendas, las particiones interiores que delimitan cada unidad de uso, entendiendo como tales, los elementos constructivos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes recintos, tendrán un coeficiente de transmisión térmica (U) no superior a 1,2 W/m²K.

El valor máximo del coeficiente de transmisión térmica (U<sub>max</sub>) que se permite en muros de fachada depende de la zona climática donde esté ubicado el edificio:

Al objeto de limitar la demanda energética, se establecen 12 zonas climáticas identificadas por una letra, correspondiente a la división de invierno, y un número, correspondiente a la división de verano. En general, la zona climática donde se ubican los edificios se determinará a partir de los valores tabulados.

## 2.3. Análisis de comportamiento térmico de bloques de hormigón, mediante su modelización con ayuda de programas informáticos

Como se ha comentado con anterioridad, se plantea la posibilidad del estudio de un modelo de bloque de hormigón mediante el programa CF-Design. Para dar comienzo al estudio y como datos de entrada, se deberá conocer en un muro

Tabla 1.- Valores de U según zona climática.

Zona climática												
	A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
U <sub>max</sub> (W/m²K)	0,94	0,94	0,82	0,82	0,73	0,73	0,73	0,73	0,66	0,66	0,66	0,57

# Prefabricados de hormigón

tanto la conductividad del material (o materiales) que está compuesto y las características geométricas básicas de los elementos (dimensiones de la pieza y sus intersticios, etc...) que configuran el mismo.

Como habitualmente los bloques tienen diversos agujeros en su configuración, la conductividad del material que define el bloque no es el mismo que el del propio bloque ( $\lambda_{\text{material}} \neq \lambda_{\text{bloque}}$ ); por ello en éste caso se tendrá que calcular una conductividad equivalente ( $\lambda_{\text{eq}}$ ) del bloque tal y como se indicará posteriormente.

Como parámetros de salida de éste método vamos a obtener los siguientes resultados:

- Resistencia térmica superficial interior ( $r_{si}$ ) y exterior ( $r_{se}$ )
- Resistencia térmica total ( $R_T$ )
- Coefficiente de transmisión térmica ó transmitancia (U ó K)
- Resistencia térmica del bloque ( $R_b$ )
- Conductividad equivalente ( $\lambda_{\text{eq}}$ )

A su vez, en los cálculos sucesivos se van a tener en cuenta las siguientes hipótesis simplificadoras que no afectarán sustancialmente al resultado final del análisis:

- Resistencias superficiales independientes de la temperatura ambiente y de la geometría y material del bloque
- Pared plana
- Flujo de calor unidireccional perpendicular a la pared
- Régimen estacionario
- Efectos de la radiación despreciable (se puede hacer porque en el cálculo térmico de bloques no se trabajan con temperaturas muy elevadas)
- Emisividad y resistividad del material nula

A continuación y abreviadamente, se explican los diferentes pasos a realizar para caracterizar un bloque de hormigón y poder obtener los resultados anteriormente mencionados.

- En primer lugar se dibuja en un programa de diseño por ordenador el elemento que sea desea analizar, tanto el material sólido de su estructura y los respectivos huecos de aire que lo forman.

Figura 2 y 3.- Diseño gráfico del muro diferenciando en primer lugar los diferentes materiales que forman el conjunto del muro (Figura 6 material del bloque ; Figura 7 huecos de aire dentro del bloque).

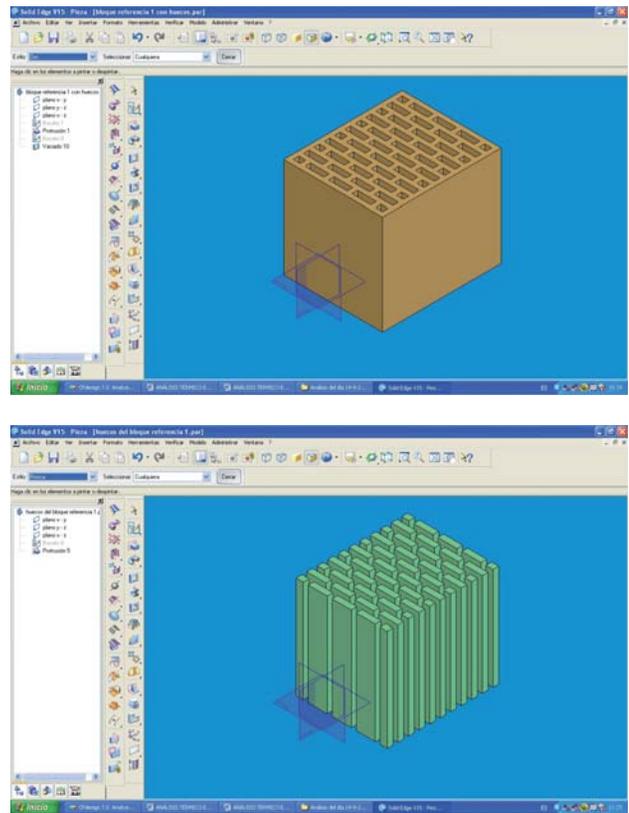
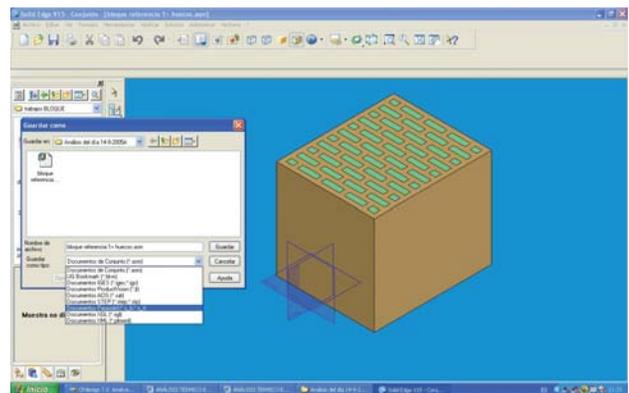


Figura 4.- Diseño gráfico del muro, unidas ya las diferentes partes que lo forman logrando un único elemento a estudio.



## Prefabricados de hormigón

2) A continuación, el elemento dibujado se introduce en el programa CF-Design, y una vez definidos los parámetros de medida de los elementos y el tipo de coordenadas con el que se va a trabajar, se definen las siguientes condiciones de contorno (cc) para el estudio:

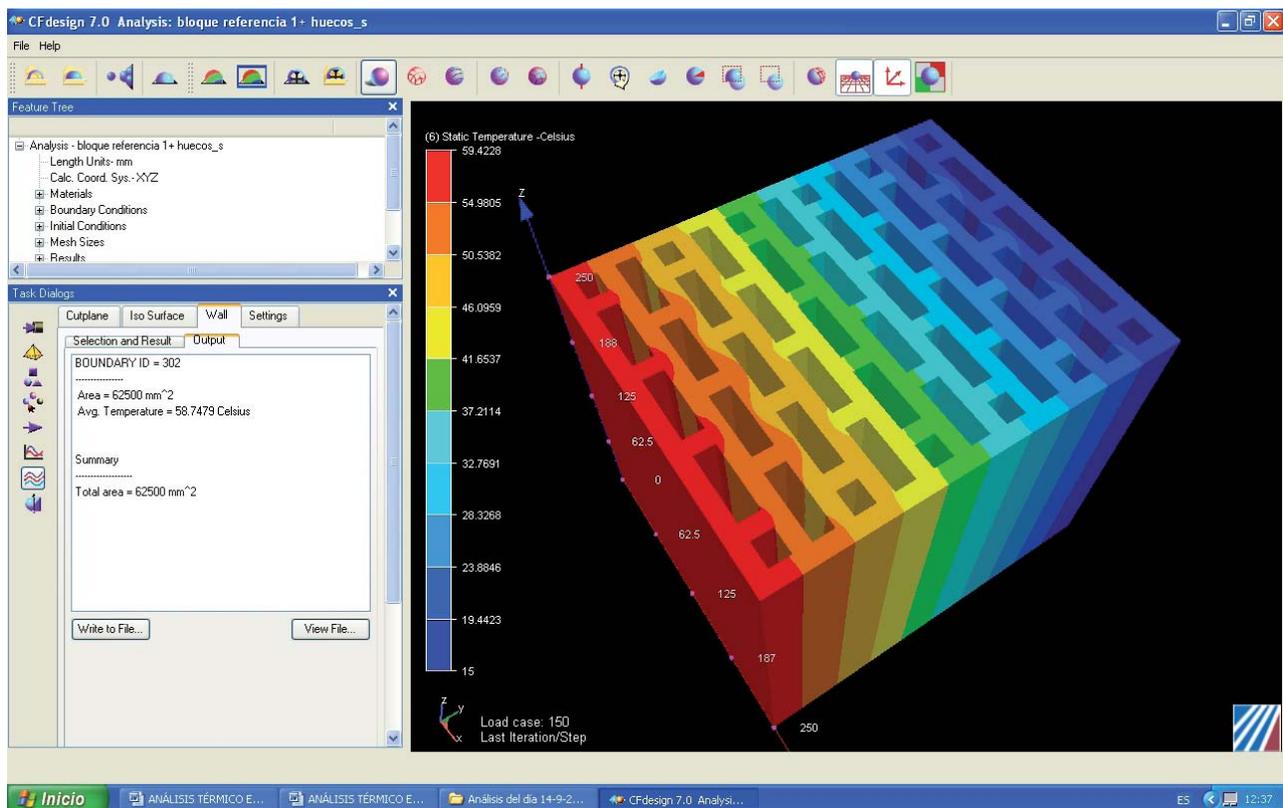
- cc<sub>1</sub>: Elegir las superficies de la pared interna y ponerlas a una temperatura interior de, por ejemplo  $\theta_{Pi} = 15$  °C.
- cc<sub>2</sub>: Elegir las superficies de la pared externa e introducir un valor del flujo de calor de, por ejemplo  $q = 30$  W/m<sup>2</sup>.
- ci: No se va a introducir ninguna condición inicial (ci), debido a que sólo se estudia el régimen estacionario.

3) Una vez establecidos estos parámetros, se define el tamaño de mado, seleccionando un valor

suficiente pequeño para que la solución converja. Posteriormente, se definen el bloque, los huecos del bloque, el mortero de fábrica y los revestimientos indicando, para cada uno de las partes los parámetros de naturaleza del material, conductividad y densidad del mismo. En el caso del calor específico del material, se puede elegir un valor arbitrario ya que no afecta al cálculo térmico, y la emisividad y resistividad de los distintos materiales se suponen nulas.

4) Una vez de especificar que el análisis debe hacerse en régimen estacionario, se calcula el flujo de calor que atraviesa el bloque mediante el programa de cálculo. Del resultado del análisis realizado con el programa de cálculo, se obtiene la temperatura de la pared externa del muro que proporciona el programa ( $\theta_{Pe}$ ).

Figura 5.- Resultado final del análisis del muro mediante el CF-Design obteniendo la temperatura de la pared externa del muro como dato.



# Prefabricados de hormigón

- 5) A continuación, mediante la fórmula (3) se evalúa la resistencia térmica del bloque ( $R_t$ ):

$$R_t = |\theta_{pe} - \theta_{pi}| / q \quad (3)$$

Independientemente de que se elijan diferentes valores para la temperatura de la pared interior ( $\theta_{pi}$ ) y/o para el flujo de calor ( $q$ ), el programa va a proporcionar un valor de la temperatura de la pared exterior ( $\theta_{pe}$ ) que hace que todos los parámetros térmicos que definen el muro no varíen.

- 6) Tomando de las diferentes normativas [2], [10] y [12] los valores de la resistencia térmica superficial interior ( $r_{si}$ ) y exterior ( $r_{se}$ ), se valora la resistencia térmica total ( $R_T$ ), con ayuda de la expresión (4):

$$R_T = r_{si} + R_t + r_{se} \quad (4)$$

- 7) Finalmente, una vez obtenida la resistencia térmica total, se define el coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ), valor de limitación en las diferentes normativas, según (5):

$$U \left[ \frac{W}{m^2K} \right] = \frac{1}{R_T} \quad (5)$$

Esta modelización supone la realización de una serie de hipótesis simplificadoras, al igual que se hace en el cálculo teórico, que permiten obtener unos resultados similares a los de este último con unos márgenes de error máximo, siempre inferiores al 4%, siendo el error máximo permitido para el coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ) del 2%.

### 3. Criterios a tener en cuenta en el diseño y comportamiento térmico de bloques de hormigón

El principal objetivo del estudio realizado, ha sido siempre la obtención de unos valores del coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ), lo más bajos posibles, con objeto de reducir el consumo energético del edificio en el largo periodo de vida útil del mismo. De hecho, este gasto energético, supone una de las principales fuentes de consumo de energía en gran parte de los países.

Tras aplicar la metodología de cálculo a diversos casos y tipologías de muros diferentes, se ha observado que para obtener cerramientos elaborados con bloques prefabricados con valores de coeficiente de transmisión térmica ( $U$ ) (ya que es este coeficiente el que regulan las distintas normativas vigentes) lo más baja posible hay que tener en cuenta los siguientes aspectos durante el diseño de los mismos:

- Conductividad del material del bloque
- Espesor del bloque
- Espesor de huecos interiores
- Filas de huecos
- Relación espesor de huecos- filas de huecos
- Disposición de columnas de huecos
- Disposición de huecos

Por lo tanto, a continuación, se analizará mediante diferentes ejemplos comparativos la influencia de la variación de cada uno de estos parámetros en el coeficiente de transmitancia térmica ( $U$ ) para obtener un conjunto de parámetros de diseño, que se han tenido en cuenta en el estudio y modelización del bloque térmicamente optimizado.

#### 3.1. Conductividad del material del bloque

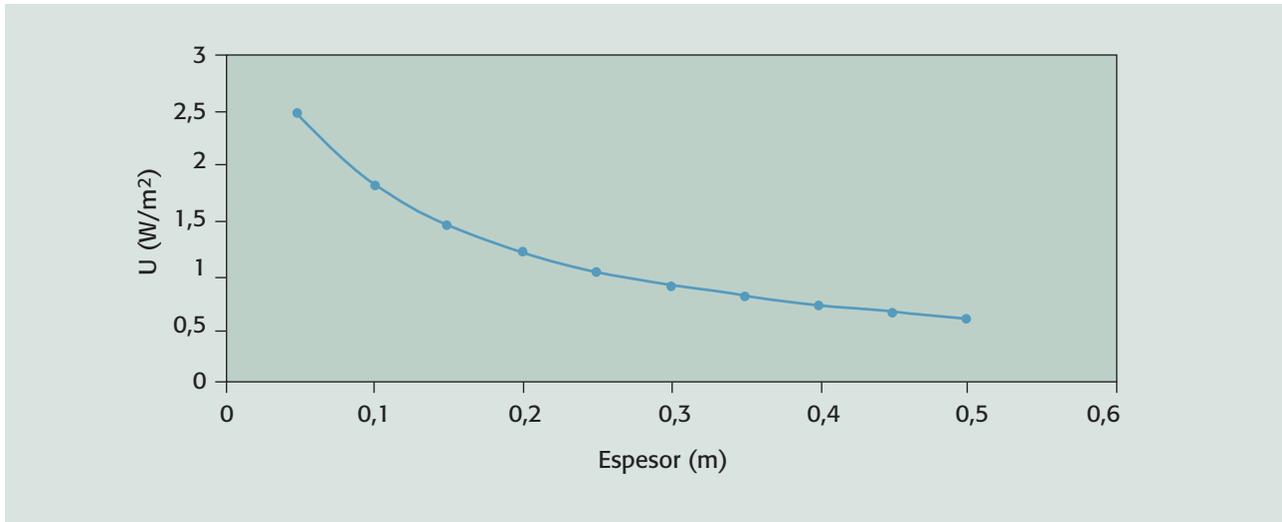
En relación con la conductividad del material que compone el bloque, para conseguir un mejor comportamiento desde el punto de vista térmico, este valor debe ser lo más bajo posible, lo que generalmente es equivalente a trabajar con materiales de densidades bajas. Este parámetro supone importantes reducciones del coeficiente de transmisión térmica. Mediante la realización de diversas simulaciones, se ha podido observar como, reduciendo la conductividad del material en un 50%, manteniendo todos los parámetros constantes, el valor de la transmitancia térmica del elemento se reduce en un 35%.

#### 3.2. Espesor del bloque

Teniendo en cuenta este aspecto, lograr un mejor comportamiento desde el punto de vista térmico, lógicamente supone dotar de un mayor espesor al bloque (anchura del mismo). Este factor se encuentra limitado ya que, al incrementar el espesor del cerramiento, se están reduciendo los

# Prefabricados de hormigón

Figura 6.- Resultados variación de U, según el espesor del bloque.



metros cuadrados útiles del interior del edificio y se aumenta a su vez el peso propio de cada elemento, y su variación se puede apreciar en la figura 6.

### 3.3. Espesor de huecos internos

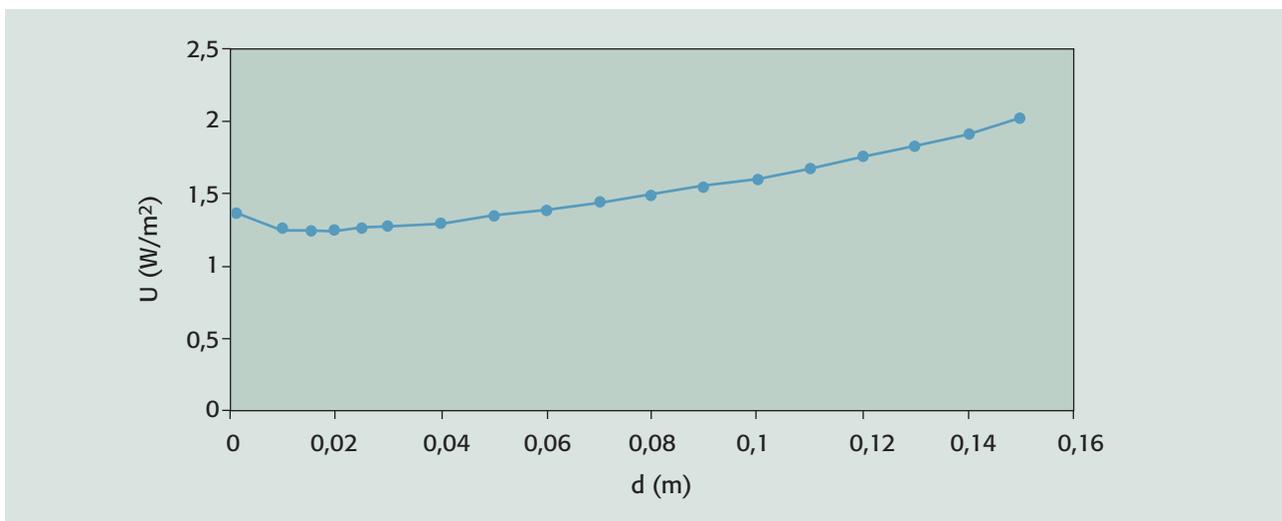
Otro factor importante a la hora del diseño de bloques es el espesor de los huecos internos del mismo. En este caso, se ha comprobado que para un mismo número de filas de huecos, es recomendable térmicamente, que el espesor de

los huecos en la dirección paralela al flujo de calor (d) sea lo más próxima posible a 20 mm. como se muestra en la figura 7, que representa la variación de la U del bloque, en función del espesor del hueco, para un bloque de las mismas dimensiones y conductividad del material utilizado.

### 3.4. Filas de huecos

A su vez, el numero de filas optimo en la distribución interna del bloque para obtener el valor más bajo del coeficiente

Figura 7.- Resultados variación de U, según espesor de huecos interiores.



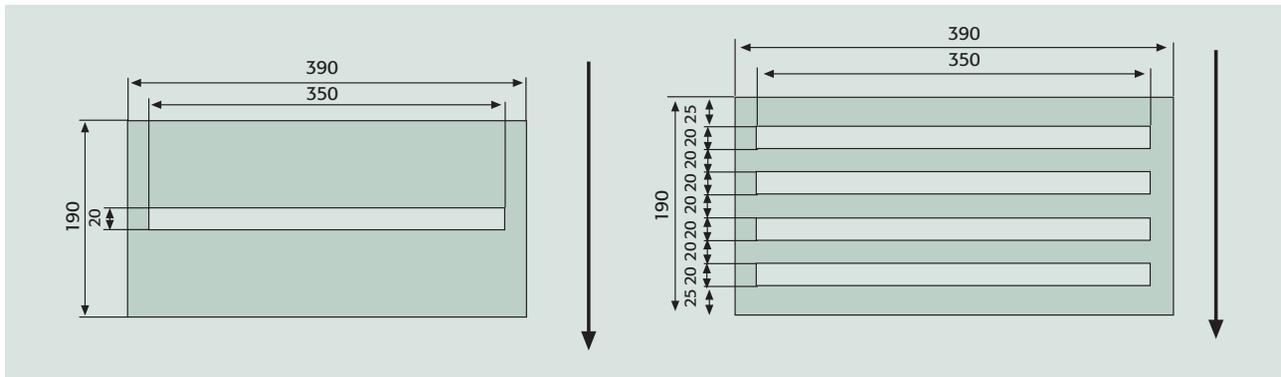
# Prefabricados de hormigón

de transmisión térmica también representa un importante parámetro a tener en cuenta. En este caso se ha observado que manteniendo constante la dimensión del hueco en la dirección paralela al flujo (d), es recomendable desde el punto de vista térmico, que haya la mayor cantidad de filas de huecos posible. Así se ha podido comprobar que, para un mismo bloque de hormigón, la disposición de una única fila de huecos frente a 4 filas del mismo espesor, como es lógico, supone una mejora del coeficiente de transmisión térmica de hasta un 25%, como se observa en la figura 8.

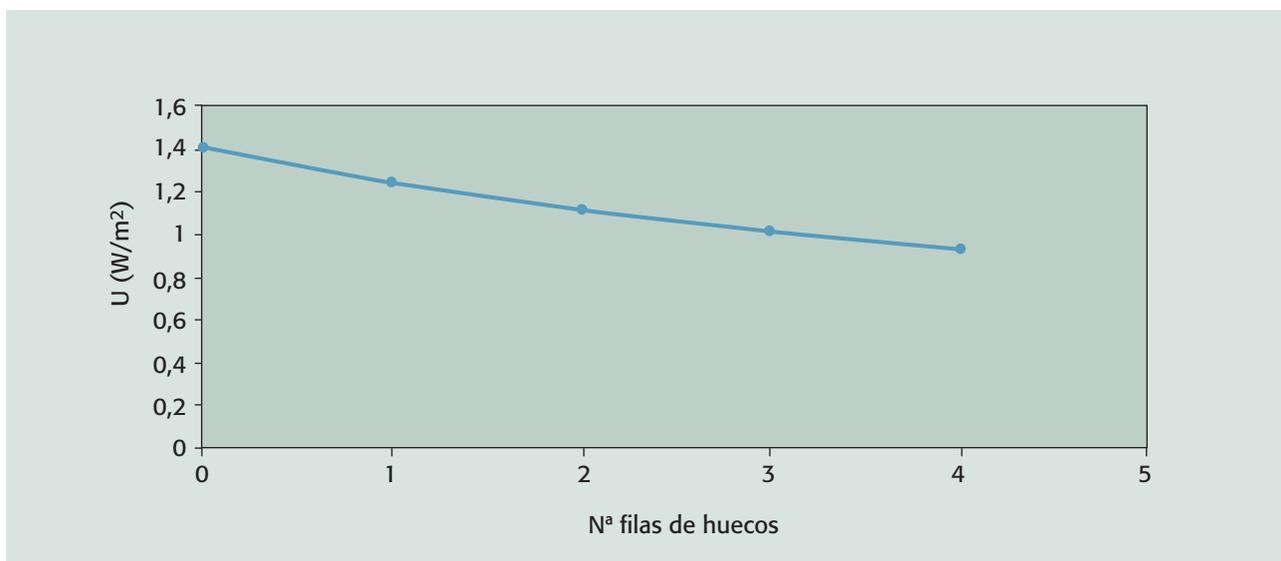
## 3.5. Relación espesor de huecos- filas de huecos

Como se ha podido comprobar en los dos anteriores criterios de diseño, térmicamente se deben buscar bloques con gran número de filas de huecos interiores y un espesor de hueco en la dirección paralela al flujo de calor (d) de aproximadamente 20 mm. Obtener sendas condiciones es bastante complicado en un bloque en el cual el espesor total de la pieza esta limitado, y además los tabiques interiores del

Figura 8.- Variación de U, según el número de filas de huecos.

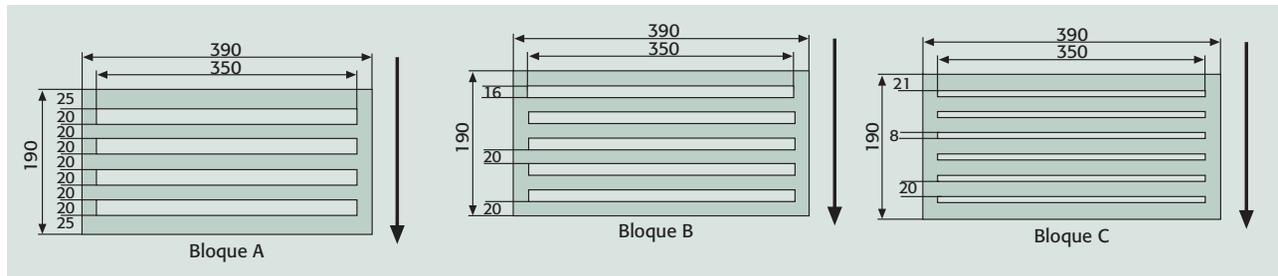


Nº filas de huecos	Ubloque (W/m²K)
1	1,2416
4	0,9306



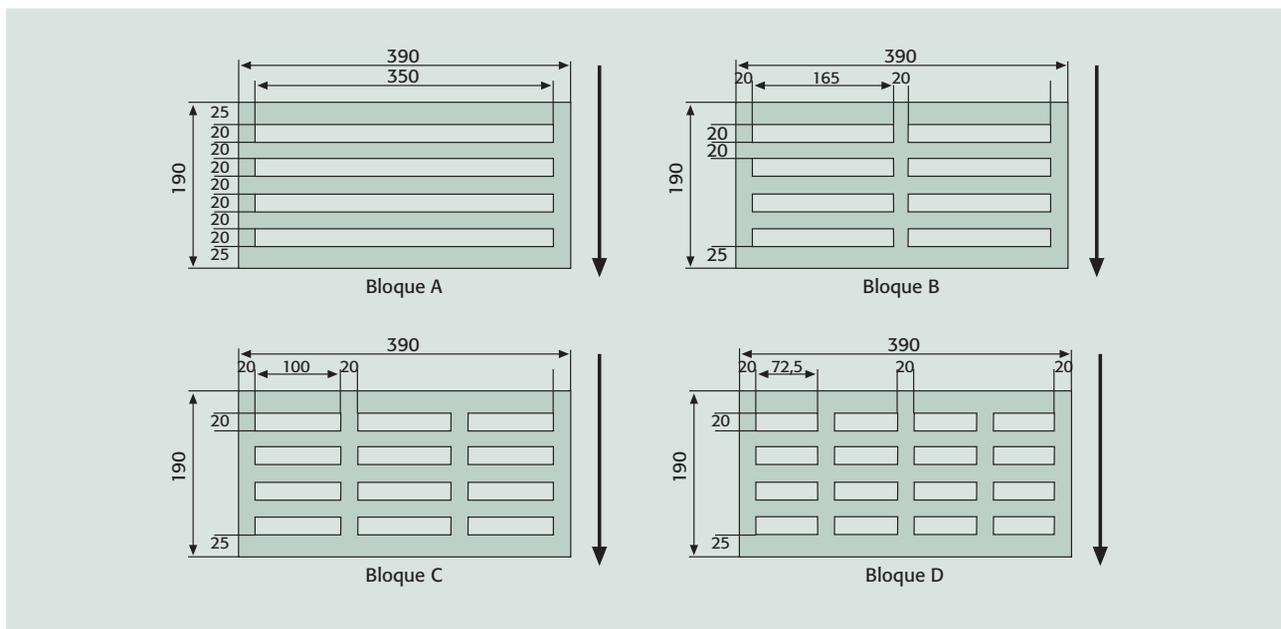
# Prefabricados de hormigón

Figura 9.- Resultados según espesor de filas de huecos.



Caso de estudio	Nº filas de huecos	d (m)	Ubloque (W/m²K)
Bloque A	4	0,02	0,9306
Bloque B	5	0,014 (valor más próximo posible a los 2 cm para 5 filas de huecos)	0,866
Bloque C	6	0,008 (valor más próximo posible a los 2 cm para 6 filas de huecos)	0,8573

Figura 10.- Influencia del nº de columnas de huecos en la variación de U.



Caso de estudio	Nº columnas de huecos	Ubloque (W/m²K)
Bloque A	1	0,9306
Bloque B	2	0,9485
Bloque C	3	0,9914
Bloque D	4	1,011

# Prefabricados de hormigón

bloque deben de constar con unas dimensiones que permitan la correcta fabricación tanto del utillaje como del bloque. Respecto a la relación espesor de huecos con el número de filas de huecos, se ha observado como, para el conjunto de bloques del mismo material, el comportamiento térmico mejora ligeramente cuando se plantea un mayor nº de filas.

### 3.6. Disposición de columnas de huecos

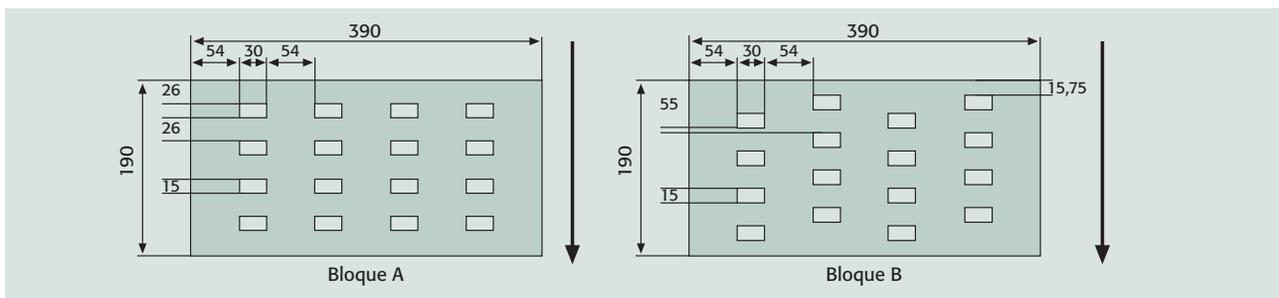
Como se ha comentado con anterioridad, térmicamente es más recomendable disponer de un número elevado de filas de huecos con la mayor longitud posible. En este caso, se ha analizado esta solución (véase bloque A), frente a la realización de bloques con un mayor número de columnas pero donde los huecos presentaban menor anchura (véanse bloques B, C y D en figura 10). Como se observa, la configuración

que presenta el bloque "A" es más óptima y recomendable desde en punto de vista térmico frente al resto de soluciones adoptadas como ejemplo.

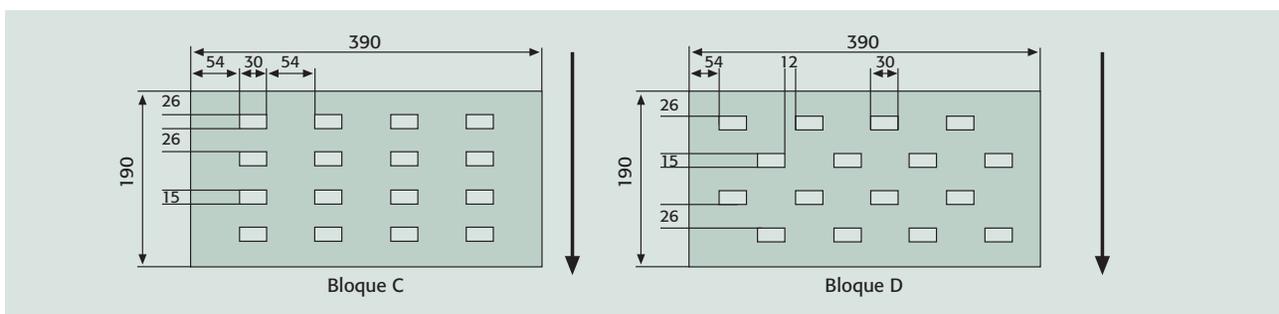
### 3.7. Disposición de huecos

Por último, otro parámetro que se ha analizado de cara a tratar de mejorar el comportamiento térmico de los bloques, es la posibilidad de disponer en un bloque, de una serie de columnas con sus huecos de forma que se encuentre alineados o al tresbolillo. En este caso se ha comprobado la disposición de las columnas al tresbolillo, en la dirección del flujo y en la dirección perpendicular al mismo. Ha sido en este último caso donde se ha apreciado una mejora en el comportamiento del bloque, como se puede apreciar en los resultados planteados en la figura 11.

Figura 11.- Influencia de la disposición de huecos.



Disposición de huecos	Ubloque (W/m²K)
Sin tresbolillo	1,258
Con tresbolillo paralelo al flujo	1,3002



Disposición de huecos	Ubloque (W/m²K)
Sin tresbolillo	1,258
Con tresbolillo perpendicular al flujo	1,2305

# Prefabricados de hormigón

## 4. Conclusiones

Una vez mostrados todos los análisis térmicos realizados en relación a todas las variables presentadas, se puede deducir los siguientes criterios, que pueden orientar sobre el comportamiento térmico de bloques de hormigón al diseñador además pueden dar una idea sobre los parámetros que se pueden variar a la hora de mejorar un bloque térmicamente:

- La conductividad del material empleado en la fabricación del bloque debe ser la menor posible, aspecto relacionado directamente con la densidad de dicho material.
- Como es lógico, cuanto mayor sea el espesor total de la pieza, mejor será su comportamiento térmico, es decir, menor será su coeficiente de transmitancia térmica (U).
- Se debe tratar de configurar el mayor número de filas internas de huecos posible en la dirección perpendicular al flujo calor, teniendo en cuenta que la fabricación de la pieza pueda llevarse acabo realmente.
- Las dimensiones de los huecos, rectangulares, casi pasantes, han de ser de la mayor longitud posible, tratando de aproximarla a la total del bloque, y buscando que el espesor de los mismos sea próximo a 20 milímetros.
- En caso de disponer de varias columnas de huecos, la disposición a tresbolillo, en la dirección perpendicular al flujo, tiene mejor comportamiento térmico.

## 5. Agradecimientos

Proyecto de Investigación Universidad-Empresa, titulado: "Diseño de bloques de hormigón con enfoque hacia la edificación sostenible", desarrollado en colaboración entre la empresa Prefabricados Alberdi S.A., la Fundación Unitec, y la Universidad del País Vasco (E.T.S. de Ingeniería de Bilbao).



[1] UNE- EN 1745:2002; "Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos del proyecto".

[2] UNE-EN ISO 6946:1996; "Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo".

[3] UNE- EN 771-3:2004; "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón" (Con áridos densos y ligeros)".

[4] UNE- EN 771-3:2004/A1:2005; "Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón" (Con áridos densos y ligeros)".

[5] UNE-EN 772-13: 2001; "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería (excepto piedra natural)".

[6] UNE-EN ISO 10211-1:1995; "Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales de cálculo".

[7] UNE-EN ISO 10211-2:2001; "Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 2: Puentes térmicos lineales".

[8] UNE-EN ISO 14683:1999; "Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto".

[9] UNE-EN 1934:1998; "Prestaciones térmicas de edificios. Determinación de la resistencia térmica por el método de la caja caliente utilizando un medidor de flujo de calor. Albañilería".

[10] NBE-CT :1979; Norma Básica de la Edificación. Condiciones térmicas en los edificios.

[11] UNE- ENV 1996-1-1. Eurocódigo 6, "Proyecto de estructuras de fábrica. Parte 1-1 Reglas generales para edificios. Reglas para fábrica y fábrica armada".

[12] CTE- DB- HE, "Código Técnico de la Edificación Documento Básico. Habitabilidad. Ahorro de energía", 2006.

[13] CTE- DB- HS, "Código Técnico de la Edificación Documento Básico. Habitabilidad. Salubridad", 2006

[14] CTE- DB- SE- F, "Código Técnico de la Edificación Documento Básico. Seguridad estructural. Estructuras de fábrica", 2006.

# EL SISTEMA DE ALBAÑILERÍA INTEGRAL ALLWALL CON BHH / BLOC+

JOSEP M<sup>o</sup> ADELL

*PROF. DR. ARQUITECTO*

*CATEDRÁTICO EN EL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA  
ARQUITECTÓNICAS, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA,  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA MADRID*

Se desarrolla a continuación, una nueva técnica constructiva para levantar muros de fábrica armados en las 3 direcciones del espacio, cualquiera que sea el material empleado y utilizando sólo mortero en lugar de hormigón.

El Sistema de Albañilería Integral AllWall está especialmente ideado para facilitar la ejecución por parte del albañil y economizar mano de obra, al tiempo que controla la fisuración de la fábrica e incrementa las aplicaciones técnicas de las fábricas.

La Asociación Nacional de Fabricantes de Bloques y Mampostería de Hormigón española, NORMABLOC, está potenciando este sistema constructivo con su nuevo bloque de hormigón BLOC+.

### 1. Introducción

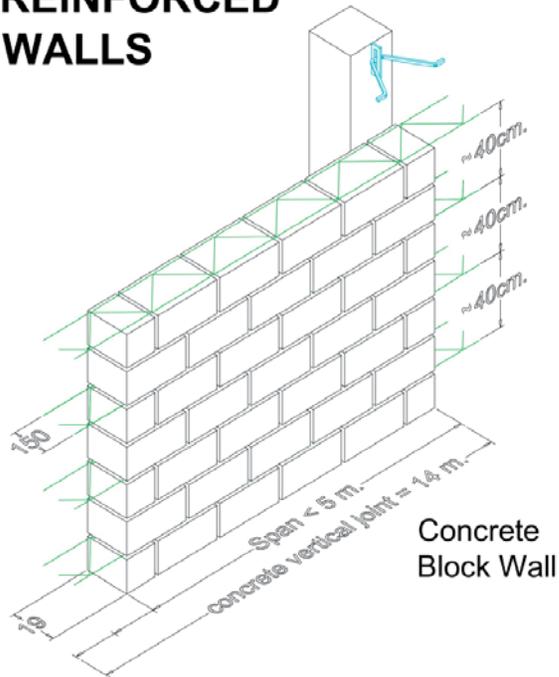
El SAI: Sistema de Albañilería Integral<sup>®</sup> es una nueva técnica constructiva de reciente desarrollo, que permite armar vertical y horizontalmente cualquier tipo de fábrica, con independencia del tipo de material empleado, logrando construir placas armadas en las 3 direcciones del espacio, con cualquiera de dichos materiales.

La técnica de "LA FÁBRICA ARMADA: Murfor<sup>®</sup>", habitualmente empleada en España desde que fue desarrollada en 1992 por el que suscribe, parte de emplear cerchas de tendel homogéneamente distribuidas en un muro, con cerchas de tendel cada 60cm de altura como máximo, y con una proporción del 0,03% de acero en la sección de la fábrica para controlar su fisuración, empleando mortero en lugar de hormigón (Figura 1).

# Prefabricados de hormigón

Figura 1.- Muro de Fábrica Armada con Bloque

## REINFORCED WALLS



## 2. El SAI®: Sistema de Albañilería Integral® AllWall®

El Sistema de Albañilería Integral® añade a "la fábrica armada" la posibilidad de armar los muros verticalmente con o sin mortero, ya que las costillas que se emplean son autorresistentes, y no requieren del mismo para transmitir sus esfuerzos entre sí (pues se sujetan arriba y abajo de los forjados con las correspondientes fijaciones del sistema).

El elemento más novedoso, con Patente de Invención de J.M. Adell (1997), es la Costilla® Vertical de Refuerzo AllWall®, que consiste en una celosía doble capaz de enhebrarse horizontalmente con las armaduras de tendel en forma de cercha.

En la ficha SAI: Sistema de Albañilería Integral®: AllWall® (Figura 2), se expone la síntesis del Sistema.

Los componentes metálicos del SAI son:

- Cerchas de tendel tipo Murfor®.
- Anclajes AllWall® de diversas libertades de movimiento.

- Costillas AllWall® con sus fijaciones específicas.

Las piezas de hormigón adecuadas al SAI son:

- Pieza Ferrater-Torho®
- Bloque de Hormigón Hueco BHH
- BlocPlus®, Bloc+®.

Según se arme un muro con mayor o menor proporción de armaduras de tendel y/o costillas, se logrará cumplimentar eficazmente las solicitaciones propias del tipo de muro que se construya.

Los componentes del SAI® se comercializan con la denominación AllWall® (TodoMuro®), adaptándose como ya se ha dicho, a cualquier material y tipología de muro, ya que para cada ancho de fábrica existen los anchos apropiados de la cercha horizontal y la costilla vertical.

## 3. Técnica de ejecución

NORMABLOC, la nueva asociación nacional que agrupa a los fabricantes de bloques y mampostería de hormigón, quiere promover la calidad de sus materiales así como las nuevas técnicas constructivas que facilitan su colocación y empleo.

Este nuevo enfoque se presentó en Construmat'03 (Barcelona) y en el stand de Normabloc en la Feria Construtec'04 (Madrid) (Figura 3).

Recientemente se ha desarrollado un nuevo bloque denominado BLOC+ que tiene la particularidad de facilitar la puesta en obra del armado vertical de los muros por acceso lateral, al armado previamente situado en vertical (Figura 4. a y b).

El SAI AllWall/BLOC+, contempla junto con la pieza de Bloque de Hormigón Hueco BLOC+, desarrollada por Normabloc, las costillas verticales con sus fijaciones en los extremos, cerchas de tendel tipo Murfor, además de anclajes AllWall con una o dos libertades de movimiento para muros entestados o pasantes según cómo se sujeten al soporte.



## Prefabricados de hormigón

Figura 3.- Vista del stand Normabloc. Feria Construtec, Madrid 2004.



Para lograr el entrecruzado de los armados vertical y horizontal, las costillas verticales, se enhebran con las armaduras de tendel, para lo que suele aprovecharse realiza el solape de estas últimas en la vertical de las primeras (Figura 5.a, b, c y d).

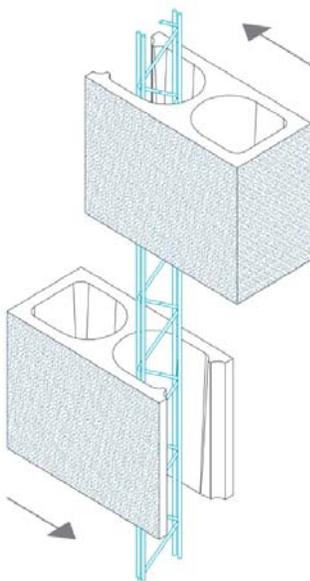
El sistema AllWall contempla además las fijaciones inferiores y/o superiores de las costillas para asegurar la transmisión de esfuerzos a los forjados (Figura 6.a y b).

Los extremos de los muros suelen acometer a los soportes de la estructura porticada existente, siendo común que los cerramientos sean pasantes por delante de la estructura, mientras que las particiones acometan directamente a los pilares. Para lograr la libertad de movimiento a la hora de anclar el muro a los soportes, el Sistema AllWall ofrece anclajes con doble libertad de movimiento para los cerramientos pasantes, y con una libertad de movimiento, para las particiones entestadas (Figura 7.a,b,c).

El Sistema AllWall/BLOC+ ofrece dos posibilidades de ubicación de las costillas: dentro de las piezas o entre las piezas.

Con las costillas ubicadas dentro del BLOC+, no se interrumpe el aparejo del muro y no se aprecia dónde está el

Figura 4.-



## Prefabricados de hormigón

Figura 5.- a) Gráfico del armado tridimensional del SAI por combinación de las cerchas horizontales con las costillas verticales por solape.

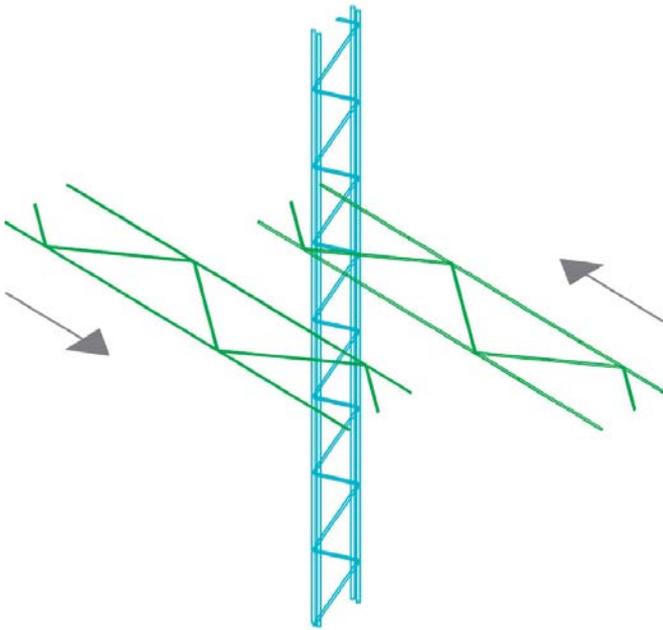


Figura 5.- b) Replanteo del solape de cerchas Murfor en la vertical de la costilla.



Figura 5.- c) Solapado del armado Murfor del paño izquierdo acometiendo la Costilla AllWall.



Figura 5.- d) Solapado de la armadura Murfor del paño derecho acometiendo la costilla AllWal



## Prefabricados de hormigón

Figura 6.- a) Muro con el Sistema de Albañilería Integral (SAI)

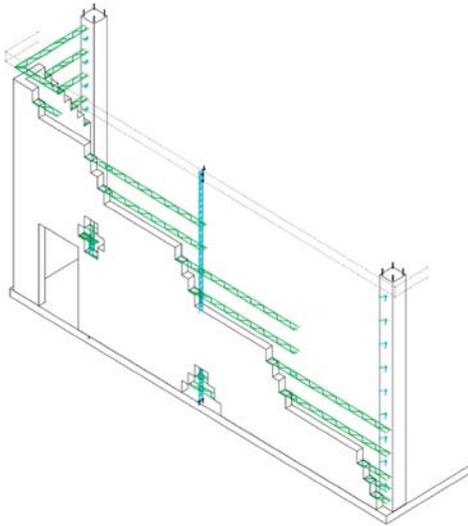


Figura 6.- b) Costillas AllWall distanciadas a 2,80m entre sí, dispuestas en llaga vertical continua (en muro cortafuego doble de la Terminal T4 del Aeropuerto Madrid-Barajas).



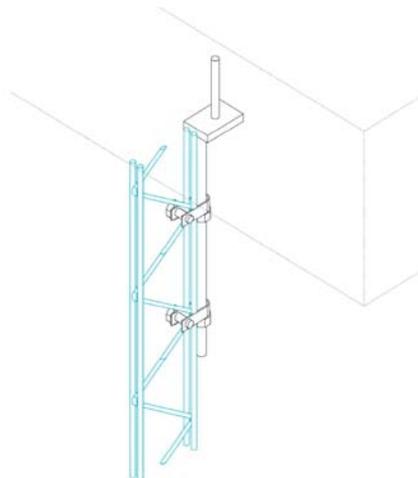
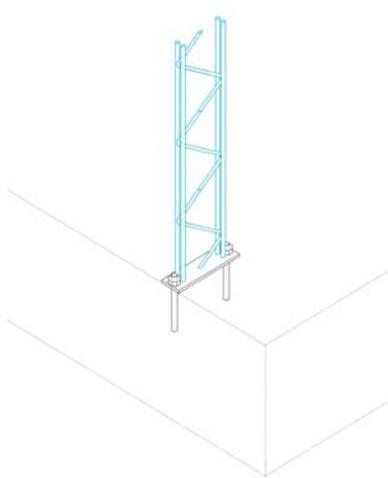
armado vertical ubicado, empleándose para muros de fábrica vista de bloque de hormigón (Figura 8.a y b).

Con las costillas ubicadas en la llaga vertical continua, aunque está perfectamente trabada con las cerchas horizontales, la llaga queda aparente en la vertical del armado teniendo la ventaja de poder emplear costillas más anchas y por lo tanto,

de mayor inercia frente al cálculo de resistencia al viento, lo que no afecta estéticamente en muros interiores o para revocar (Figura 9.a y b).

Construyendo con el SAI, se levantan muros que constituyen placas estructurales que tienen armado homogéneo con cerchas horizontales cada 40 ó 60cm como

Figura 7.- a) Fijación AllWall inferior Alfa. b) Fijación AllWall superior Beta. c) Fijación Telescópica de la Costilla AllWall al forjado superior.



# Prefabricados de hormigón

Figura 8.-

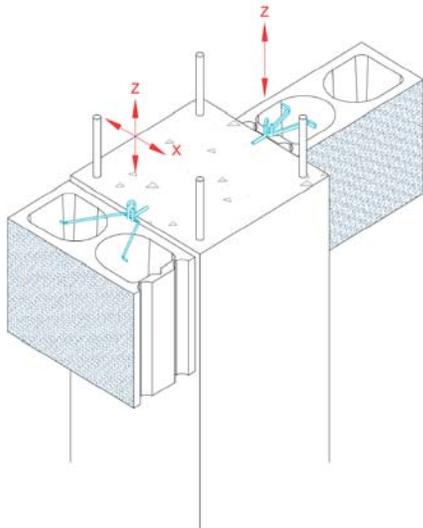


Figura 9.-

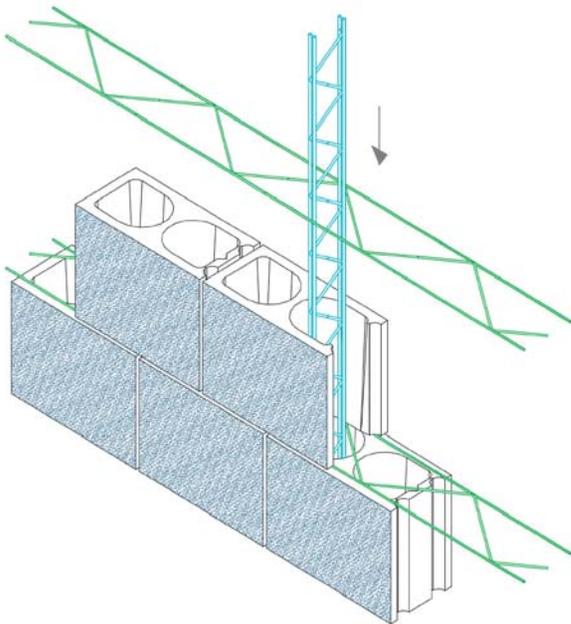


Figura 9.- b) Imagen de un caso de costilla embutida lateralmente dentro de la pieza del BLOC+.



máximo (2 ó 3 hiladas de bloques) y armado vertical de costillas distanciadas normalmente cada 7 bloques, equivalente a 2,80m para muros de cerramiento (como los cortafuegos del Aeropuerto de Barajas) y cada 14 bloques, equivalente a 5,6m para particiones interiores industriales (Figura 10.a y b).

Una vez decidida la ubicación de las costillas y replanteadas éstas en función de los bloques, se disponen en vertical fijadas inferiormente al forjado, para posteriormente, levantar la fábrica entre ellas, introduciendo las piezas dentro de los bloques, o dejando las costillas en llagas verticales continuas, aunque perfectamente trabadas horizontalmente con la fábrica armada (Figura 11.a y b).

## Prefabricados de hormigón

Figura 10.- a) Gráfico de la Costilla ubicada en la llaga vertical continua.

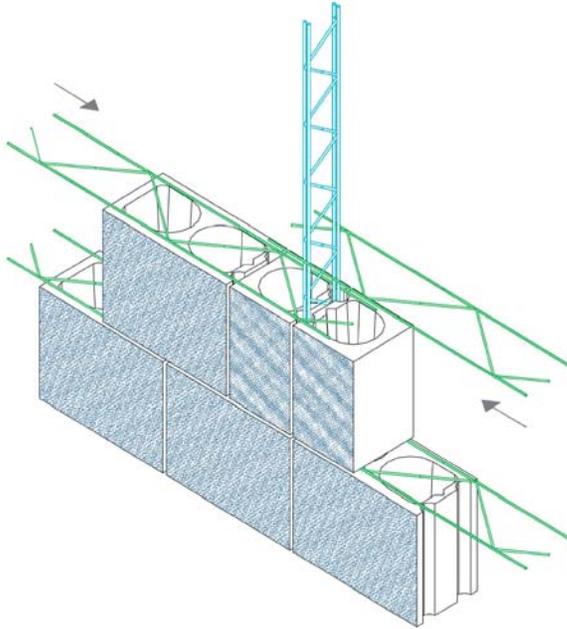


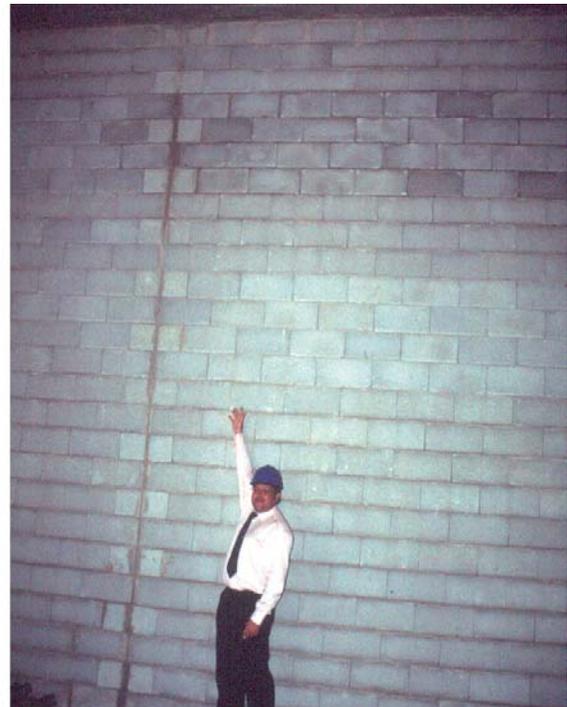
Figura 10.- b) Vista de Costilla AllWall colocada en una llaga vertical continua en un muro de Construmat'03.



Figura 11.- a) Costillas verticales ya fijadas inferiormente, preparadas para construir un muro industrial.



Figura 11.- b) Costilla en llaga vertical continua, en un muro de bloque para revestir de 6m de alto.



## Prefabricados de hormigón

Lo que se señala en la Figura 11.b., de una fábrica para revocar, es la apariencia de una costilla vertical trabada en horizontal cada 60cm de altura, en el centro de un paño de fábrica, lo que dista mucho de ser una junta vertical de movimiento entre dos paños de fábrica.

### 4. Aplicaciones arquitectónicas AllWall BHH/BLOC+

En todos los casos las ventajas del Sistema AllWall/BLOC+ están principalmente en que no se necesita hormigón armado, ya que las costillas tienen su sistema de fijación propio y son autorresistentes soportando los esfuerzos perpendiculares a ellas, sin la necesidad de la contribución del hormigón que es lo habitual en los muros de bloque de hormigón rellenos de hormigón armado, con sus múltiples complicaciones técnicas.

Hay que resaltar que las diagonales de las cerchas de las costillas soportan el esfuerzo cortante en los apoyos, y que al ser las costillas galvanizadas, no se corroen al recubrirlas sólo con mortero.

Es muy habitual aplicar el Sistema AllWall/BLOC+ en muros de gran altura, interiores o exteriores, para edificios industriales o grandes superficies, o edificios singulares.

Figura 12.- a) Demostración de la ligereza de manipulación de una costilla reforzada de 8m de altura.



Figura 12.- b) Replanteo de la costilla AllWall anterior de 200mm, con doble refuerzo, en un BHH de 29cm de ancho.



Figura 13.- a) Construcción con el SAI, de una partición de muro doble de 15x14m.



## Prefabricados de hormigón

Figura 13.- b) Muro doble anterior con la costilla atando ambas hojas de BHH de 15cm de grueso.



Se aplican costillas reforzadas, en grandes muros de 1 grueso hoja de BHH (29 cm), donde la ligereza de las costillas, inclusive reforzadas, permite una muy fácil manipulación, y donde no hace falta ningún relleno de hormigón armado (Figura 12. a y b).

En ocasiones, interesa hacer muros dobles de 2 hojas con un bloque más delgado (14 cm), donde las costillas abarcan el ancho de ambas hojas, atándolas entre sí junto con el armado horizontal, a caballo de ambas, también sólo con mortero, como en el caso del archivo de la Comunidad de Madrid en las Rozas (Figura 13.a y b).

Por el contrario, a veces en muros de gran altura, sobre todo si no pueden fijarse en la parte superior bajo la cubierta, se emplean muros con distinto grueso en la parte inferior que en la parte superior, combinando bloques de 19 cm en los 6m de altura inferiores, con bloques de 14 cm en la parte superior, para economizar material.

En estos casos, se emplean las costillas apropiadas a cada grueso del paño de fábrica inferior (150 mm) y superior (100 mm). Y al tratarse de un muro en ménsula, pueden disponerse las costillas más próximas en la parte inferior que en la superior, como se ha hecho en el Centro Comercial Eroski en Vitoria (Figura 14).

El Sistema AllWall/BLOC+ ofrece las soluciones más idóneas en cualquier situación técnica y formal, como en el caso de los grandes muros y muros curvos del Hotel de las Bodegas de Marques de Riscal en El Ciego (Álava), diseñadas por el Arquitecto Ghery, y dirigidos por IDOM (Figura 15.a y b).

En este singular edificio y dadas las elevadas exigencias de

Figura 14.- Partición interior del Centro Comercial Eroski de Vitoria, empotrada abajo y libre arriba. Muro de 11m de alto en 2 tramos, inferior con BHH de 29cm y superior con BHH de 19 cm, y con costillas de distinta altura para soportar el muro en ménsula.



## Prefabricados de hormigón

Figura 15.- a) Cerramiento del Hotel Marqués de Riscal en el proceso de ejecución de la fábrica con el SAI, empleando dobles costillas reforzadas de 7m de alto.



Figura 15.- b) Muro terminado con costillas en llaga, a la espera del aislamiento y del chapado de piedra.



Figura 16.- a) Ejecución del cerramiento de 7m de alto del Hotel Marqués de Riscal en un paño recto con dobles costillas reforzadas.



Figura 16.- b) Cerramiento de 3m de altura con costillas en un paño curvo.



## Prefabricados de hormigón

Figura 17.- Hotel Marqués de Riscal de F.O. Ghery, donde se ha empleado el Sistema de Albañilería Integral, SAI.



acción de viento ( $200 \text{ kg/m}^2$ ), en muros de BHH de 19 cm y 7 m de alto, se ha necesitado emplear dobles costillas reforzadas y con refuerzo de cortante. También se han empleado en muros curvos de menor altura e igual presión, obligando a disponer las costillas cada 1,4 m (Figura 16.a y b).

La imagen del edificio de Ghery, envuelve con chapados de piedra y ondulaciones de acero, los muros resistentes de bloque de hormigón construidos la nueva técnica constructiva del Sistema de Albañilería Integral: AllWall (Figura 17).

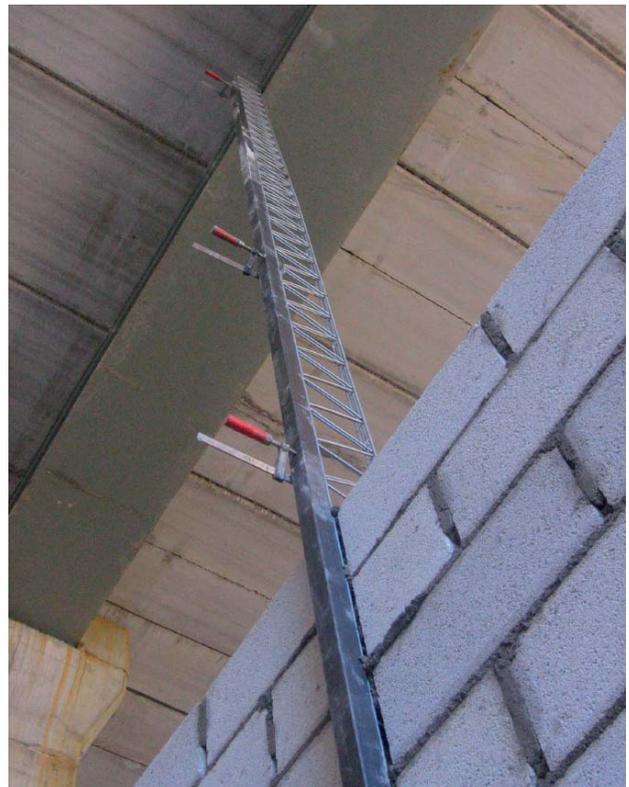
Recientemente se han optimizado las Costillas AllWall, fabricándolas con diámetro de mayor sección, lo que todavía economiza más el Sistema, al incrementar las prestaciones de sus componentes metálicos.

Actualmente se están construyendo las particiones y cerramientos de aeropuertos, con Bloque de Hormigón y estas nuevas Costillas.

Figura 18.- Costilla AllWall AW-COS.10/Z-140 mm fijada en el centro de la partición de 9 m de largo x 9m de altura, en el Aeropuerto de Málaga.



Figura 19.- Vista desde debajo de la construcción del paño anterior, con la mira sujeta en la Costilla.

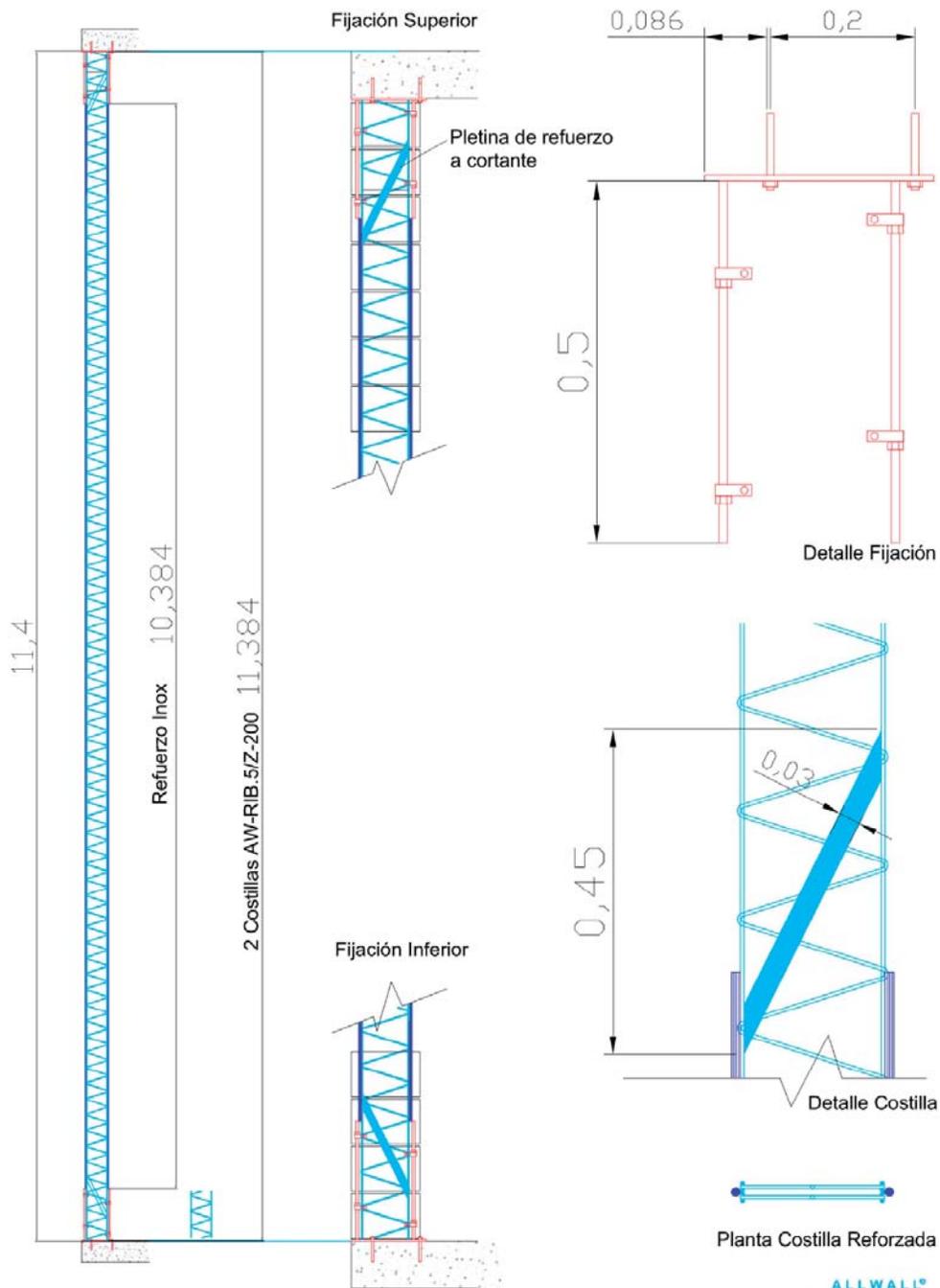


# Prefabricados de hormigón

Figura 20.- Diseño de las Dobles Costillas AllWall Reforzadas, para el cerramiento de 11,20 m de altura del Aeropuerto de Alicante, con sus correspondientes Fijaciones ajustables.

Fijaciones Costilla ALLWALL AW-RIB.5/Z-200 en muro de h=11,40m máx (Alicante)

7 Marzo 07



ALLWALL SYSTEMS S.L. Comercializadora Exclusiva del Sistema ALLWALL, en su conjunto.  
C/ General Perón 3. 28020 Madrid. Tfo: 91-556 81 93 E-mail: awsystems@arquinox.es



# Prefabricados de hormigón

En el Aeropuerto de Málaga, los muros de partición de BHH20 son de 9 m de largo entre soportes y de 9 m de altura entre forjados. Se dispone armado Murfor RND.4/Z-150 mm cada 60 cm de altura y 2 Costillas AllWall AW-COS.10/Z-140 mm, en el centro de cada paño (Figura 18 y Figura 19).

En el Aeropuerto de Alicante, se está realizando el cerramiento de fachada con muro doble de 2 BHH15 (30 cm de ancho), en paños sin soportes de 11,20 m de altura y 40 m de largo. En él se dispone además del armado Murfor RND.4/Z-250mm cada 40 cm de altura, 2 Costillas AllWall AW-RIB.5/Z-200 mm, con 2 refuerzos (Inox.) de diámetro 12 mm cada 1,60 m de separación. Las Fijaciones de las Costillas son empotradas y regulables en altura, y están especialmente diseñadas para soportar el empuje del viento de un paño de fábrica expuesto a 20 m de altura (Figura 20).

En España ya se han hecho muchos edificios con este sistema debido a sus múltiples ventajas, a las que añade la existencia de la asesoría Técnica AIA Arquitectura s.XXI, que vela por la adecuada explotación de la licencia de invención del Sistema AllWall, que se empieza a exportar a otros países de la Comunidad Europea.



Adell, J.M., Sobre la denominación de: "la fábrica armada", Actas II Congreso Hispanoamericano de Terminología de Edificación, Valladolid 1987.

Adell, J.M., Arquitectura de investigación con fábrica armada ("Architecture and research with reinforced masonry"), Revista Informes de la Construcción. Vol. 44. nº 421. Instituto Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, Septiembre/octubre, 1992.

Adell, J.M., Razón y ser de la fábrica armada (Reason & being of the reinforced masonry), Revista Informes de la Construcción. Vol. 44. nº 421. Instituto Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, Septiembre/octubre, 1992.

Adell, J.M.; Lahuerta, J.A., Manual Murfor: La Fábrica Armada. (Cálculo).Bekaert Ibérica, S.A. Barcelona, 1992 (reeditado en 2002).

Adell, J.M., La fábrica armada. Ed. Munilla-Lería. Madrid 2000. ISBN 84-89150-39-7.

Adell, J.M., The integral masonry system and the contemporary façade. Paper of the 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid 2000.

Adell, J.M., The universal masonry unit and rib reinforcement. Paper of the 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid 2000.

Adell, J.M. Ed. AWS, AllWall Systems.Manuales AllWall: Sistema de Albañilería Integral: ("Allwall: Integral Masonry System")

Madrid entre los años 2001-2005.

- Bloque de hormigón hueco para todos los fabricantes de BHH (2002)
- Pieza Ferrater para Torho (2003)
- Brick Vallés para Calibloc (2003)
- Bloc+ (BlocPlus) para Normabloc (2005)

Comité técnico NORMABLOC/E.U.A.T.M., Código de Buena Práctica para la ejecución de Fábricas con Bloques y Mampostería de Hormigón. Ed. Normabloc. Madrid, 2004.

Adell, J.M., Normabloc y BLOC+ en Construtec. Revista Editeco nº 210. Diciembre 2004 (páginas 54 y 55).

Adell, J.M. y Dávila, Mª D., The Integral Masonry System. 13th IBMAC. Amsterdam, Junio 2004 (páginas 519-528).

Adell, J.M., Manual NORMABLOC: Asociación Nacional de Fabricantes de Bloques y Mampostería de hormigón. Ed. Normabloc. Madrid, 2007.

# FIBRAS DE CELULOSA: UNA PROTECCIÓN EFICAZ FRENTE AL FUEGO

IGNACIO DE LA FUENTE

*DIRECTOR TÉCNICO*

*CHRYSO ADITIVOS*

### Introducción

En los últimos años se han producido numerosos avances en el campo de los hormigones reforzados con fibras, buscando diferentes mejoras en las propiedades del hormigón como material de construcción. Se han desarrollado fibras sintéticas de diferente naturaleza, empleando materiales como el Polipropileno (PP), Polietileno, Fibra de Vidrio, PVA, etc..., pero el desarrollo de fibras de origen natural ha sido menor.

Dentro de las fibras de origen natural cabe destacar los avances obtenidos en el desarrollo de las fibras de Celulosa y su aplicación tecnológica al hormigón.

Hoy en día está ampliamente estudiado el papel que ejercen las tradicionales fibras de Polipropileno en el comportamiento del Hormigón frente al fuego, al reducir e incluso evitar los fenómenos de "spalling", ampliamente descritos en la bibliografía.

El proceso de spalling o desprendimiento tiene lugar entre los 100 y 150 °C, debido al rápido aumento de la Tª y al cambio de

estado del agua intersticial. El agua va evaporándose en los capilares del hormigón y no puede escapar eficientemente a través de su matriz. Esto supone un aumento de la presión dentro de la estructura del hormigón. Cuando la presión en el hormigón es superior a su resistencia, comienza el proceso de desprendimiento o spalling. Estos desprendimientos dejan al descubierto el hormigón interno así como las armaduras, sufriendo daños graves que comprometen su función estructural.

El empleo de fibras de Polipropileno evita este fenómeno, ya que al fundirse en la matriz del hormigón cuando aumenta la Tª, crea unos canales por los que puede escapar el vapor de agua generado, evitando así el aumento de presión intersticial.

En este artículo, vamos a estudiar el papel de las fibras de Celulosa como alternativa a las fibras de Polipropileno en su protección frente al fuego, con las ventajas que este material de origen natural aporta sobre el Polipropileno constituyente de las fibras tradicionales.

# Prefabricados de hormigón

Tabla 1.- Características de las fibras.

	Fibras de Celulosa	Fibras de Polipropileno
Longitud media (mm)	2,1	12
Diametro medio (µm)	18	30
Nº Fibras por kg	1585 millones	97 millones
Densidad aparente (g/m <sup>3</sup> )	1,1	0,9
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	25.000	1.500
Tensión de Rotura (MPa)	600-900	200-480
Módulo de Elasticidad (MPa)	8.500	4.200



Se puede observar que el número de fibras de celulosa por kg, además de su superficie específica, es muy superior respecto a las de Polipropileno. Una vez dentro del hormigón, la fibra es prácticamente invisible, debido a su pequeño tamaño y a que se integra perfectamente con la matriz cementicia.

## Propiedades de las Fibras de Celulosa

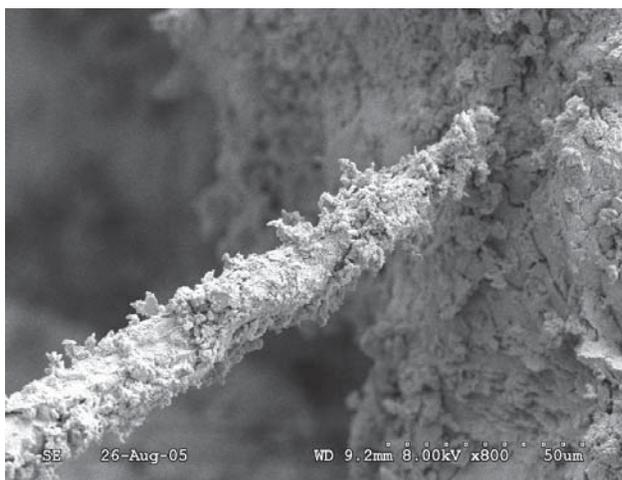
Las fibras de celulosa, comercializadas por CHRYSO bajo el nombre de CHRYSO®Fibre UF500, son fibras de origen natural, obtenidas a partir de un determinado tipo de árboles de madera blanda.

Las propiedades de las fibras se muestran en la Tabla 1, comparadas con las propiedades de las fibras de polipropileno, de uso habitual en la industria del hormigón.

## Interacción con el Hormigón

La celulosa es levemente más densa que el agua (1,1 g/cm<sup>3</sup>) mientras que las fibras sintéticas de POLIPROPILENO son menos densas (0,9 g/cm<sup>3</sup>). Las fibras hidrófilas de la celulosa interaccionan mejor con la pasta de cemento que el polipropileno (Imagen 1), que es hidrófobo. A causa de su naturaleza, las fibras de celulosa se dispersan fácilmente dentro del hormigón, en los procesos de mezcla habituales de la industria. La buena dispersión de la fibra dentro del hormigón es importante

Imagen 1.- Fibra de Celulosa (Izda.) y Fibra de PP (Dcha.). Interacción con la pasta de cemento.



## Prefabricados de hormigón

hidrófoba del polipropileno presenta un desafío a la hora de una buena mezcla y distribución de la fibra, siendo difícil evitar la formación de bolas de fibra que modifican las propiedades locales del hormigón y producen malos acabados.

Comparada con las fibras sintéticas de polipropileno, la fibra de celulosa CHRYSO®Fibre UF500 posee una mayor tensión de rotura y un mayor módulo de elasticidad. El pequeño diámetro y longitud de las fibras permite incrementar el número de fibras activas, reduciendo el espacio entre fibras y aumentando la superficie específica de anclaje.

### Resistencia al fuego con Fibras de Celulosa

A continuación se presentan los resultados del ensayo de resistencia al fuego realizados según la norma EN 1363-1, utilizando la curva normalizada de calentamiento ISO 834.

Se compara el comportamiento de un hormigón reforzado con fibra de polipropileno monofilamento frente a un hormigón con la misma dosificación de Fibras de Celulosa y un hormigón patrón sin fibras.

Las formulaciones de los hormigones sometidos a estudio se muestran en el cuadro siguiente:

En los tres casos se realizan 2 prismas con refuerzo de acero corrugado (simulando el refuerzo estructural real), para simular el papel que cumplen las armaduras en el Hormigón.

El ensayo consiste en someter a una pieza prismática de hormigón, de 30x30x75 cm, a un calentamiento progresivo desde temperatura ambiente (20 °C) hasta 1025 °C en un período de 90 minutos.

Tabla 2.-

	Hormigón con Fibra de Celulosa	Hormigón con Fibra de Polipropileno	Hormigón sin fibras
Formulación del Hormigón (Kg/m <sup>3</sup> )			
Cemento CEM I 52.5	462	462	462
Humo de Sílice	55	55	55
Arena Silíceo 0/4	693	693	693
Gravilla Caliza 4/6	87	87	87
Gravilla Caliza 6/12	953	953	953
Fibras de Celulosa	1.78	0	0
Fibras de PP L18mm/Ø18µm	0	1.78	0
Relación A/C	0,40	0,40	0,40
Aditivo Superplastificante	6	6	6
Consistencia (cm)	25	25	26

Tabla 3.-

Referencia	Masa Inicial (kg)	Masa Final (kg)	Pérdida de Masa (kg)	Pérdida de Masa (%)
Fibras Celulosa	171,36	160,26	11,10	6,5
	172,11	160,81	11,30	6,6
Fibras PP	168,32	157,96	10,36	6,2
	168,94	158,51	10,43	6,2
Sin Fibras	171,57	121,09	50,48	29,4
	168,67	132,84	35,83	21,2

# Prefabricados de hormigón

Imagen 2.- Disposición de la muestra del horno.



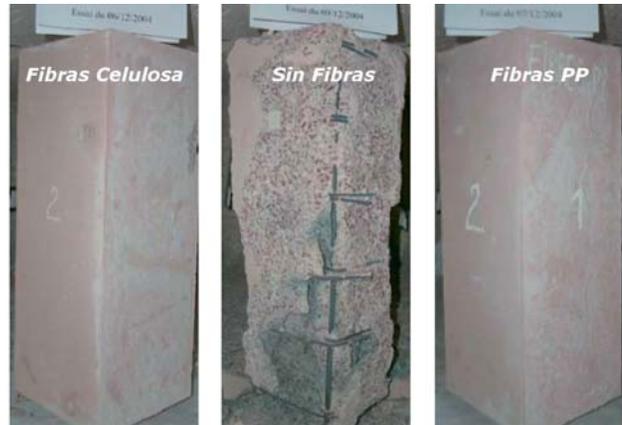
El parámetro más importante de este ensayo es la pérdida de masa que sufre la muestra a lo largo del ciclo de calentamiento (Tabla2). A medida que va aumentando la temperatura, se va evaluando visualmente la evolución del material y se registran hechos como el comienzo del "spalling" o el comienzo de la exudación de agua.

El resultado de este ensayo demuestra que el empleo de Fibras de Celulosa reduce la pérdida de masa respecto a un hormigón sin fibras en más de un 70%, situándose al mismo nivel de prestaciones que las fibras de polipropileno tradicionales.

A la vista de los resultados obtenidos en estos ensayos, se realizó un estudio paralelo de exposición al fuego bajo la Normativa Española de Resistencia al Fuego de elementos portantes, según UNE-EN 1365-1:2000.

El ensayo que rige la norma consiste en la determinación de la temperatura en la cara externa de una muestra prismática de hormigón sometida a calentamiento en horno, registrando dicha temperatura a través de 5 sensores dispuestos en diferentes puntos de su superficie. La muestra alcanza su máxima resistencia al fuego (RF) cuando uno de los sensores alcanza un diferencial de 180°C sobre la Tª ambiente en la cara exterior o bien la media de los sensores de la muestra alcanza un diferencial de 140 °C. El tiempo en minutos trans-

Imagen 3.- Prismas de hormigón después del ensayo.

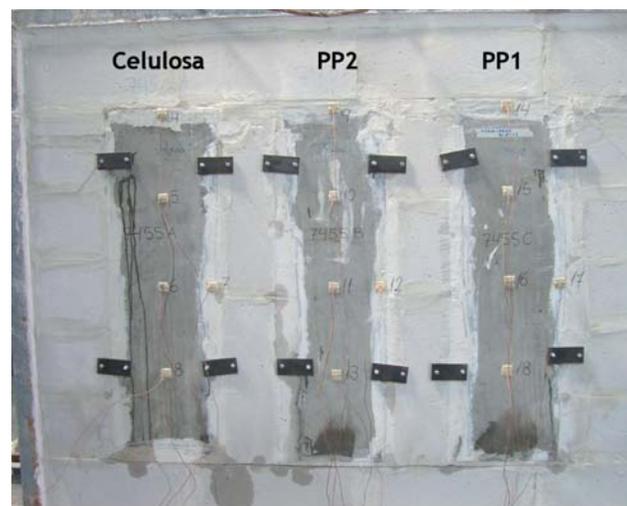


currido hasta dicho momento es el que determina la categoría RF del Hormigón (RF120, 180, etc..)

En dichos ensayos, los parámetros a seguir son:

- Dimensiones de las muestras: 400x1300 mm. Armadura equivalente a la empleada en paneles macizos tabiqueros
- Temperatura durante el ensayo: el calentamiento se realiza según Norma ISO 834
- Evaluación visual del comportamiento del hormigón durante el ensayo: "Spalling", exudación superficial, deformación de la muestra, etc., y de la cara expuesta al fuego al finalizar el ensayo.

Imagen 4.- Disposición de las muestras.



# Prefabricados de hormigón

Tabla 4.-

	Hormigón con Fibra de Celulosa	Hormigón con Fibra de Polipropileno PP1	Hormigón con Fibra de Polipropileno PP2
<b>Formulación del Hormigón (Kg/m<sup>3</sup>)</b>			
Cemento CEM I 52.5	400	400	400
Filler Calizo	195	195	195
Arena Silíceea	880	880	880
Gravilla Caliza 4/10	755	755	755
Fibras Celulosa CHRYSO®Fibre UF 500	2	0	0
Fibra Polipropileno 1 L12mm /Ø50µm	0	2	0
Fibra Polipropileno 2 L12mm /Ø18µm	0	0	2
Aditivo CHRYSO®Fluid Premia 180	6,5	6,5	6,5
Relación a/c	0,53	0,53	0,53
Consistencia (Ø cm)	66	60	58
Clasificación HAC	AC2	AC1	AC1

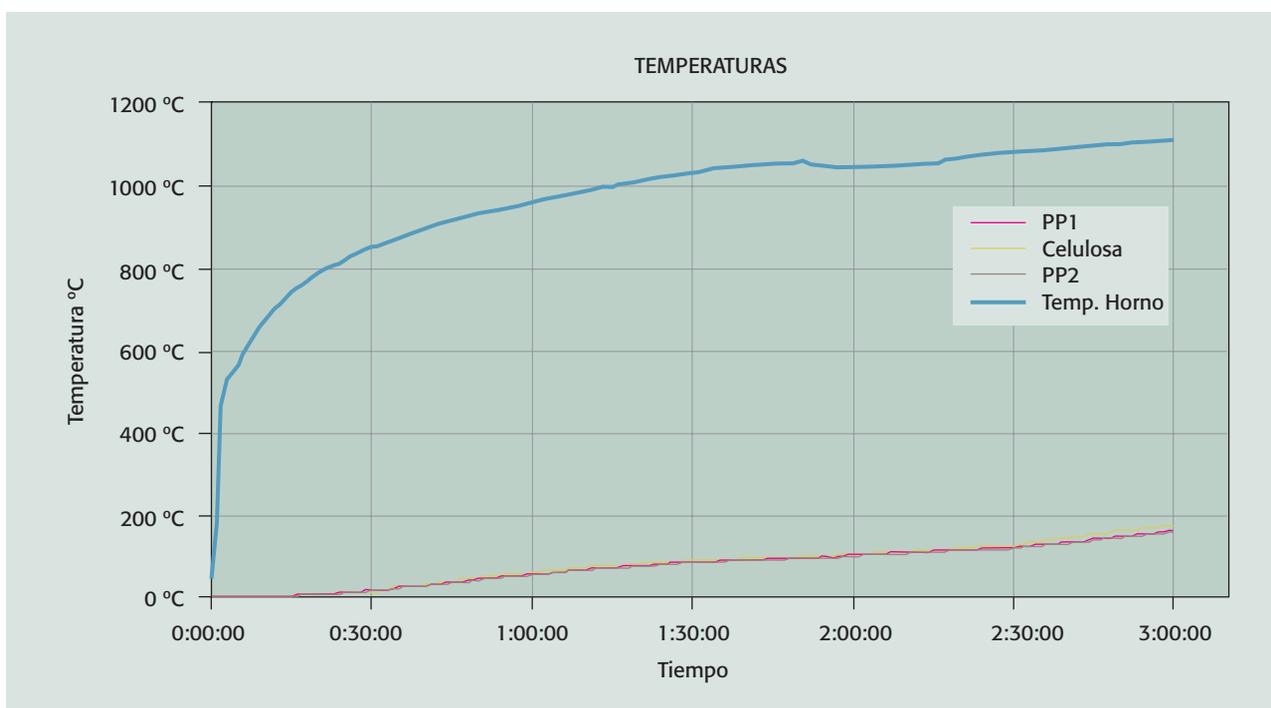
Se ensayaron muestras de Hormigón reforzado con fibras de Celulosa y dos tipos de fibras Polipropileno.

La formulación de hormigón empleada es la que se muestra en la Tabla 4.

Los Resultados obtenidos en este ensayo se reflejan en el Gráfico 1.

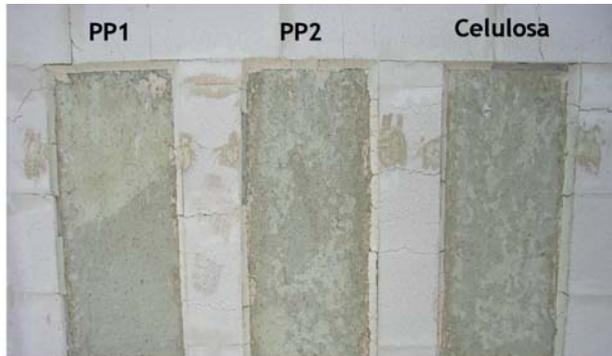
En el gráfico de datos obtenido se observa que el aumento de temperatura en las tres muestras es similar, alcanzando las condiciones de fin de ensayo a los 158 min. para las Fibras de Celulosa, 166 min. para las Fibras PP1 y 168 min. para las Fibras PP2. Con estos resultados, los hormigones ensayados obtendrían un valor RF 140.

Gráfico 1.-



# Prefabricados de hormigón

Imagen 5.- Aspecto de la cara expuesta al fuego.



Se observa que el comportamiento frente al fuego del Hormigón reforzado con fibras de celulosa es similar al reforzado con fibras de Polipropileno tradicionales. En la Imagen 5 se observa que las tres caras expuestas al fuego no presentan pérdida de masa debida al fenómeno de "spalling".

## Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que las fibras naturales de celulosa suponen una alternativa eficaz a las fibras de Polipropileno tradicionales en su acción de proteger las estructuras de hormigón frente al fuego.

Como ventajas respecto al empleo de fibras de Polipropileno, podemos citar:

- Mejor interacción con la pasta de cemento debido a su naturaleza hidrófila.
- Mayor número de fibras por unidad de peso.
- No se aprecia pérdida de consistencia en el hormigón con la adición de fibras, evitando así la adición extra de agua de amasado, influyendo esta en las resistencias mecánicas del hormigón.
- Posibilidad de dosificación a granel, directamente a la amasadora, a través de un sistema exclusivo de expedición.



1. P. Kalifa et al. High temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres from spalling to microstructure- Cement and Concrete Research 31 (2001) 1487–1499
2. M. Zeiml et al. How do polypropylene fibers improve the spalling behaviour of in situ concrete- Cement and Concrete Research 36 (2006) 929–942
3. B. Chen, J. Liu, Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures- Cement and Concrete Research 34 (2004) 1065–1069.
4. B. Persson, Self-compacting concrete at fire temperatures- Lund Institute of Technology-Division of Building Materials-2003
5. R.F. Zollo, Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development, Cem. Concr. Compos. 19 (1997) 115

# LA LOSA ALVEOLAR

DANIEL GONZÁLEZ LÓPEZ

INGENIERO INDUSTRIAL

SECRETARÍA TÉCNICA DE AIDEPLA

DEPARTAMENTO TÉCNICO ESTRUCTURAL DE ANDECE

### Reseña histórica

El primer elemento estructural similar a lo que hoy en día conocemos como losa alveolar apareció en los años treinta de manos del alemán Wilhem Schaefer y su colega Kuen.

Se trataba de un elemento estructural constituido por una losa alveolada de hormigón de piedra pómez situada entre dos lositas de hormigón armado normal.

Alrededor de 1955 se abandonó la losa de hormigón de piedra pómez para iniciar la realización de losas alveolares de hormigón monolítico, que permitían aguantar mayores

cargas y cubrir mayores luces, sin sufrir la escasa resistencia a cortante de la piedra pómez.

### Fabricación

Su evolución hasta nuestros días la ha llevado a convertirse en uno de los elementos prefabricados estructurales más industrializados. Su producción se realiza en instalaciones cerradas, sobre largas pistas de acero (de alrededor de 150 m) calefactadas para conseguir un curado acelerado del hormigón (Figura 1). Se trata de plantas modernas, equipadas con tecnologías avanzadas muy automatizadas que requieren de poca mano de obra.

Figura 1.- Pistas de fabricación.



## Prefabricados de hormigón

El proceso de fabricación de la losa alveolar consta de las siguientes fases:

1. Preparación de la pista: limpieza con agua a presión y aplicación del desencofrante.
2. Colocación de las armaduras (generalmente activas, aunque también podría llevar armadura pasiva).
3. Tesado de las armaduras con control sistemático tanto de la tensión como de los alargamientos (Figura 2. ).

Figura 2.- Tesado de armaduras.



4. Colocación de la máquina de vertido del hormigón, que previamente ha sido preparada con el molde adecuado (Figura 3. ).

Figura 3.- Máquina de vertido.



5. Alimentación de la misma para un vertido continuado del hormigón de modo que la máquina avance a una velocidad regular de 1,10  $\square$  1,50 m/minuto (Figura 4).

Figura 4.- Alimentación de la máquina de vertido.



6. Marcado de las losas según pedido.
7. Cubrición de las pistas con lonas para facilitar el curado acelerado mediante el sistema de calefacción.
8. Control sistemático de la resistencia del hormigón mediante la rotura de probetas sujetas a un tratamiento de vibración y curado idéntico al de las pistas para saber si se ha alcanzado la resistencia necesaria para el destesado de las armaduras (Figura 5) (Figura 6. ).

Figura 5.- Probeta curando junto a pista.



# Prefabricados de hormigón

Figura 6.- Laboratorio.



9. Destesado de las armaduras activas.
10. Corte mediante disco diamantado, obteniendo así los elementos de la longitud deseada (Figura 7).
11. Traslado de las losas desde la pista a la zona de acopio.

Figura 7.- Corte de la losa alveolar.



## Tipología y ventajas de utilización

En cuanto a la tipología de las losas alveolares, se trata de un elemento superficial plano de hormigón pretensado, con canto constante, aligerado mediante alveolos longitudinales (Figura 8).

Para adaptarse perfectamente a las diferentes condiciones de trabajo a las que puede estar sometida la losa alveolar, existen gran variedad de cantos, de los cuales los más usuales

Figura 8.- Losa alveolar.



están entre los 12 cm y 50 cm, aunque ya se fabrican losas de hasta 1 m de canto en países como Italia (Figura 9) y en España se pueden ver de hasta 83 cm de canto, utilizándose armadura pasiva además del pretensado en las losas alveolares de más de 50 cm de canto.

La losa alveolar ha tenido gran aceptación y difusión en todos los continentes siendo, probablemente, el más internacional de los componentes prefabricados estructurales en la construcción mundial. Existen numerosos motivos para esto, entre los que podríamos destacar los siguientes:

- Ofrecer unos elevados niveles de calidad y control debido a que se trabaja a cubierto, en un entorno

Figura 9.- Losa de gran canto.



## Prefabricados de hormigón

controlado, con personal especializado y empleando técnicas y medios idóneos.

- Usar hormigones preparados con áridos seleccionados, curvas granulométricas controladas y especialmente constantes en el tiempo, de baja proporción agua-cemento, bien compactados y con elevadas características físico-mecánicas, ralentizando sensiblemente la velocidad de carbonatación, lo que asegura su durabilidad y permitiendo su utilización incluso en ambientes muy agresivos cuando se respetan los recubrimientos del acero señalados por la normativa vigente. (Figura 10. )

Figura 10.- Losas alveolares en ambiente agresivo.



- Poder aplicar fácilmente la técnica del pretensado, mediante el uso de alambres y cordones de características certificadas, de muy alta resistencia y pequeñas secciones, que requieren menor espacio de alojamiento y posibilitan piezas más ligeras, más seguras frente a fisuración y con menor deformación.
- Reducir los tiempos de ejecución y la mano de obra necesaria al tratarse de un proceso sencillo, repetitivo y seguro, en el que se cubre mucha superficie con un solo elemento, maximizando el rendimiento por operario. Todo ello tiene una repercusión muy importante a la hora de reducir costes en obra. (Las figuras 11 a 14 muestran esa velocidad de colocación en obra).

Figura 11 a 14.- Velocidad de colocación en obra.



## Prefabricados de hormigón

- Ser un elemento de gran versatilidad, ya que nos ofrece diversas posibilidades de aplicación: forjados, cerramientos, muros de sótano, contención de tierras, depósitos, silos, piscinas, graderíos, pasarelas, andenes...
- Gran flexibilidad en cada uno de los usos antes especificados.

### La losa alveolar como forjado

La aplicación de la losa alveolar como forjado es, sin duda, su aplicación más importante y a la que se dedican, con diferencia, el mayor número de metros cuadrados producidos.

Para que un conjunto de losas pueda considerarse como un forjado, es necesario darle una continuidad transversal que establezca la colaboración de unas con otras para que se redistribuya la carga entre ellas, se permita su actuación como diafragma y se aseguren las condiciones de aislamiento y estanqueidad requeridas. Esto se consigue macizando con hormigón la junta entre dos losas alveolares, cuyo perfil lateral es tal que permite la formación de una llave que obliga a trabajar conjuntamente a ambas losas, con lo que se verán forzadas a iguales desplazamientos verticales.

Además de las ventajas antes reseñadas, su uso como forjado presenta otras muchas, como pueden ser:

- Apenas incorporan material in situ: Éste se reduce al hormigón para el macizado de las juntas. En ciertos casos, podría requerirse capa de compresión con armadura adicional (Figura 15).
- Simplicidad en el transporte y acopio: Ya que sólo hay un único componente, se elimina el doble transporte y el consiguiente acopio necesario cuando también hay piezas de entrevigado, por lo que la descarga en obra se agiliza.
- Se trata de un elemento autoportante: La resistencia de la losa será suficiente, en general, para soportar su peso propio, el peso del hormigón vertido sobre ella

Figura 15.- Capa de compresión y junta hormigonada.



y la sobrecarga de ejecución. Esto hace que se pueda prescindir de las sopandas, dando rapidez, seguridad, comodidad, limpieza y economía a la ejecución de la obra (Figura 16).

Figura 16.- Limpieza de la obra prefabricada.



- Es posible prescindir de la capa de compresión: Se calcula en ese caso la losa para que además de autoportante sea autorresistente, pudiendo trabajarse sobre ella inmediatamente con carácter provisional y con carácter definitivo en cuanto el hormigón de las juntas haya adquirido la resistencia necesaria.

# Prefabricados de hormigón

- Gran resistencia a cortante: Esto es debido al gran número de almas, por lo que hace innecesarios los macizados por supresión de bovedillas frecuentes en otros forjados.
- Mayor luz a igualdad de cantos: Como se puede ver en el gráfico (Figura 17) que representa la máxima luz L (m) que, para un determinado canto h (cm), podría considerarse admisible por deformación para forjados de losa alveolar, de viguetas pretensadas y bovedillas y de viguetas armadas y bovedillas. Se supone tramo aislado simplemente apoyado que soporta tabiques con una carga total de 4 kN/m más su peso propio.

Para un buen aprovechamiento de todas las ventajas que ofrece la prefabricación en general y la losa alveolar en particular, resulta fundamental una buena planificación previa y un cumplimiento estricto de la misma.

Pero una vez se cumple con esa planificación previa, la flexibilidad del producto es muy grande, permitiendo cortes transversales, longitudinales, oblicuos, cajeados, taladros y huecos (Figura 18 y 19).

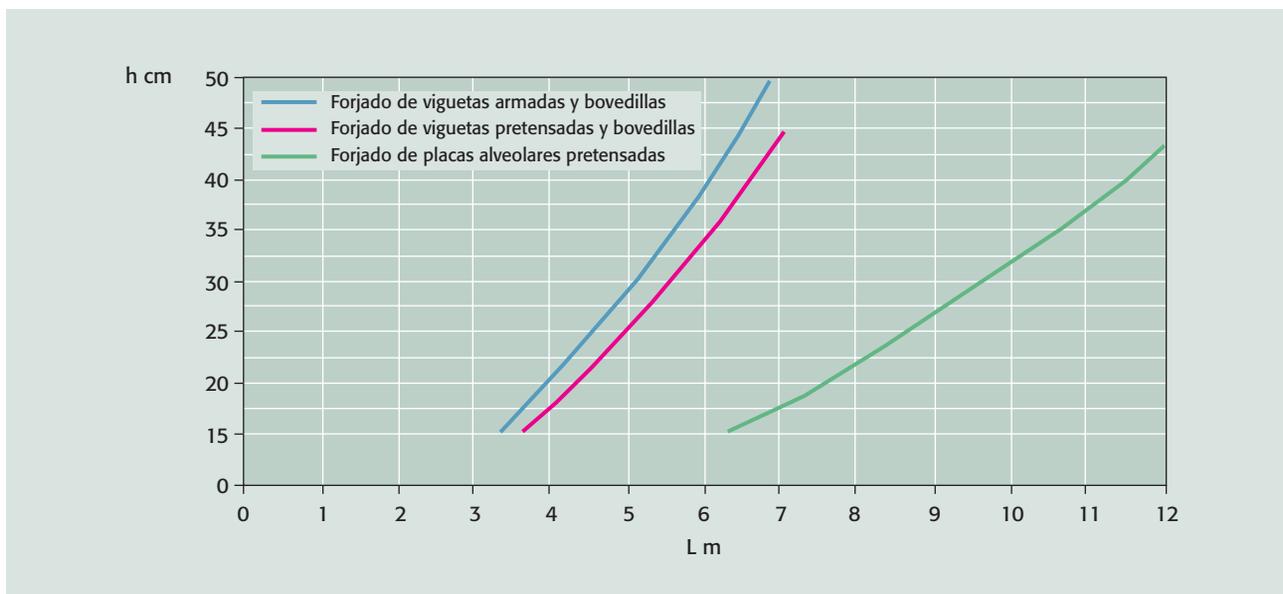
Figura 18.- Cajeados para salvar un pilar.



Figura 19.- Corte oblicuo.



Figura 17.- .



# Prefabricados de hormigón

## La losa alveolar en la contención de empujes

Como se ha visto en el apartado anterior, los forjados horizontales son adecuados para resistir las acciones gravitatorias. La losa alveolar es igualmente eficaz para resistir fuerzas horizontales si su plano medio se dispone verticalmente, usándose para diversas aplicaciones como la contención de tierras, silos, depósitos, piscinas.

En caso de la contención de tierras y, por similitud, en el de silos, a parte de las ventajas ya señaladas, no precisa de encofrados ni de armaduras a disponer in situ durante el proceso constructivo; es un elemento resistente desde el momento que queda vinculado a la cimentación (Figura 20).

Figura 20.- Muro de contención de tierras en semi-sótano.



La junta entre las losas alveolares se obtura fácilmente para evitar la salida de finos desde el terreno del trasdós y toda su superficie podría ser impermeabilizada si se considerase necesario.

Para los depósitos y piscinas, las paredes de los vasos destinados a contener líquidos reciben fuerzas horizontales como en el caso de la contención de tierras, pero deben considerarse diferencias importantes:

En primer lugar debe tenerse en cuenta que en un depósito es fundamental la estanqueidad, por lo que la superficie de las placas debe cubrirse con un acabado impermeabilizante y las juntas entre placas se retacarán muy cuidadosamente con hormigón rico al que se le habrá adicionado un hidrófugo.

Y por otro lado, en los depósitos enterrados, debe tenerse en cuenta las situaciones de depósito vacío y de depósito lleno, ya que las paredes también estarían sometidas al empuje de las tierras exteriores.

## La losa alveolar como cerramiento lateral

En esta misma forma de planos verticales, la losa alveolar encuentra una importante aplicación en el cerramiento y compartimentación de superficies (Figura 21).

Figura 21.- Cerramiento lateral.



En esta función constituye un cerramiento fuerte y seguro, de sencilla colocación y gran rapidez de ejecución. Su extraordinaria resistencia a flexión le permite soportar con facilidad la presión del viento, consiguiendo alturas elevadas con cantos reducidos (Figura 22).

Figura 22.- Colocación como cerramiento lateral.



# Prefabricados de hormigón

## La losa alveolar en graderíos

Es también la solución idónea para construir graderíos en instalaciones deportivas, teatros y auditorios al aire libre, o cualquier otro recinto en que se pretenda una disposición escalonada de superficies destinadas a acoger, cómodamente, al público (Figura 23).

Figura 23.-



Su anchura ofrece un amplio espacio para permitir el paso sin estorbar las posiciones de pie y sentado. Su resistencia a flexión admite espaciar largamente los apoyos y aceptar, con seguridad, fuertes concentraciones de público. Dado que la armadura activa de la losa alveolar no varía a lo largo de su longitud, se adapta perfectamente a cualquier posición de la carga.

## La losa alveolar en pasarelas

Sin lugar a dudas, la losa alveolar resuelve con toda sencillez el tránsito de personas y cargas ligeras con acciones dinámicas no relevantes, sobre vías de comunicación, canales o cualquier otro obstáculo.

Es suficiente recibir las losas en sus apoyos, macizar sus juntas, colocar las barandillas y realizar los acabados convenientes, para tener la pasarela en condiciones de servicio.

## Transporte, manipulación y acopio

Estas operaciones deben realizarse siguiendo fielmente las instrucciones del fabricante, para que los esfuerzos que

soporte la losa alveolar no alcancen valores que puedan dañarla.

En general se acopiará apoyada en toda su anchura sobre durmientes de las dimensiones indicadas por el fabricante, de modo que la geometría de esos durmientes permita la colocación de los útiles para su izado y manipulación, tanto en fábrica como en obra. La posición de estos durmientes hace que la losa alveolar trabaje como una losa biapoyada con un cierto voladizo a cada lado. Debe cuidarse que no queden zonas excesivamente largas en el voladizo, ya que los momentos negativos producidos por el peso propio podrían llegar a ser inadmisibles o a elevar excesivamente las compresiones en el vano. Se extremarán las precauciones para que los durmientes coincidan en la misma vertical.

El acopio se realizará sobre una plataforma horizontal y suficientemente estable, no superando el número de losas alveolares por cada pila indicado por el fabricante (Figura 24).

Para el izado y manipulación existen diversos medios en función de las características de la losa alveolar y de la obra

Figura 24.- Apilamiento correcto.



en la que se emplearán. Vuelve a ser imprescindible cumplir rigurosamente todas las especificaciones dadas por el fabricante (Figura 25).

Si durante las operaciones previas a su colocación en obra resultara dañada alguna placa, de forma que pueda afectar a su capacidad resistente o a otra particularidad importante para cumplir los requisitos de seguridad o de aptitud para el servicio que se le exigen, deberá desecharse.

# Prefabricados de hormigón

Figura 25.- Manipulación de la losa alveolar.



## Recepción en obra

Dentro del compromiso que AIDEPLA tiene por la calidad, existe una preocupación porque el material que finalmente llega a obra ofrezca garantías de que realizará un buen servicio.

En este sentido, las empresas Asociadas, están en disposición de aportar la siguiente información en caso de que se les solicite:

- Catálogo de producto acompañando a la oferta.
- A la dirección facultativa: planos con los detalles constructivos.
- Cálculo y su justificación si así fuera solicitado.
- Asesoramiento durante la ejecución de obra, incluso el despiece, si fuera necesario.
- Instrucciones para el correcto acopio, izado y manipulación.
- Ficha de Autorización de Uso con las características técnicas.
- En caso de tenerlo, Certificado del Sello de Calidad de Producto (CIETAN o similar).
- En otro caso, justificación documental del control interno de fabricación.
- Certificados de Calidad de las materias primas usadas en el proceso de producción.
- Certificado de Idoneidad de las losas, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente.

Recordar también que a partir de marzo de 2008 será obligatorio el Mercado CE de las losas alveolares, lo cual implicará que se cumplen unos requisitos mínimos de seguridad, con la realiza-

ción de ensayos y con un Control de Producción en Fábrica que será evaluado y vigilado por un Organismo Notificado externo.

## Normativa aplicable

En cuanto a la normativa nacional, es obligado nombrar el Código Técnico de la Edificación que habrá que tener en cuenta fundamentalmente en sus Documentos Básicos de Acciones en la Edificación, Seguridad Estructural, Seguridad en caso de Incendio y el próximo Documento Básico de Protección frente al Ruido.

En cuanto a los aspectos específicos de seguridad estructural del hormigón, el Código Técnico redirige directamente a la EHE, a la que actualmente ha de acompañar la EFHE para las losas alveolares cuyo canto no excede de 50 cm.

Como se ha podido ver en el Borrador 0 de la futura EHE, ambas Instrucciones se refundirán en un único texto.

Respecto a la normativa europea, se puede acudir a los Eurocódigos 1 y 2, que tratan aspectos como las bases de realización de un proyecto y acciones sobre las estructuras, las reglas generales para el diseño y cálculo de estructuras de hormigón y los elementos prefabricados de hormigón.

Por otro lado, como ya se ha comentado en el apartado anterior, a partir de marzo de 2008 será obligatorio el Mercado CE de las losas alveolares, lo cual obliga al cumplimiento de los requisitos indicados en el Anexo ZA de la Norma Europea UNE-EN 1168: Prefabricados de Hormigón. Losas alveolares, aplicable únicamente para losas alveolares hasta un canto que en breve será ampliado a 50 cm y destinadas a ser usadas como forjados.



- Manual para el Proyecto y Ejecución de Elementos Resistentes con ALVEOPLACA. Editado por AIDEPLA.
- Boletines Técnico-Informativos AIDEPLA.
  - La losa hueca. Proyecto y utilidades. Editado por ASSAP.
  - EHE
  - EFHE
  - UNE-EN 1168: Prefabricados de hormigón. Losas alveolares.

# Prefabricados de hormigón

# ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN PUENTES

FERNANDO HUE

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

MIEMBRO DEL COMITÉ TÉCNICO ESTRUCTURAL DE ANDECE

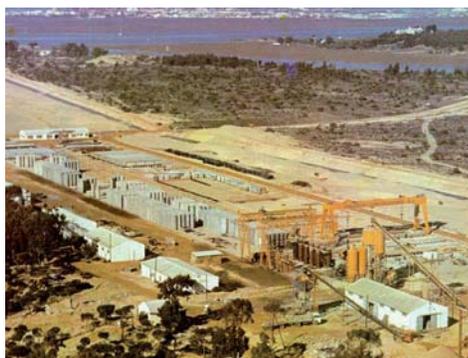
CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DRAGADOS, S.A. (DRACE - FPS)

### 1. Introducción

La utilización de elementos prefabricados de hormigón en la construcción de puentes tiene indudables ventajas:

- Los elementos se fabrican en un lugar distinto del puente, permitiendo simultanear su fabricación con la construcción de otros elementos del puente como cimentaciones, pilas y estribos, con la consiguiente reducción de plazos de construcción.
- Se puede disponer de mayor espacio de fabricación pues incluso se pueden utilizar varias fábricas, ventaja especial

Figura 1.- Planta de elementos prefabricados de Huelva.



si en la obra existe disponible sólo un espacio reducido (Figura 1).

- Se utilizan hormigones de mayor resistencia y de mejores prestaciones.
- Las tolerancias de fabricación, la calidad del acabado y el Control de Calidad son mejores.
- Se ahorran apuntalamientos, cimbras y encofrados en la obra.

Pero también tiene algunas desventajas:

- Se necesitan grandes medios de transporte y montaje y sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra. El agua de mares, lagos y grandes ríos puede facilitar las operaciones de transporte y montaje (Figura 2).
- Las uniones entre elementos o entre elementos y partes "in situ" pueden ser bastante o muy complicadas, en especial en estructuras hiperestáticas.

Los elementos prefabricados para puentes se fabrican, en general, con un

## Prefabricados de hormigón

Figura 2.- Puente sobre el Río Tinto.



hormigón de mayor resistencia que el utilizado en partes de puentes "in situ" con la misma función resistente, por varias razones:

- Una mayor resistencia permite disminuir la sección necesaria y con ello el peso de la pieza y la magnitud de los medios de transporte y montaje necesarios para la construcción.
- El desmoldeo en edades tempranas, para la reutilización del molde y reducir el ciclo temporal de fabricación, requiere suficiente resistencia a esas edades tempranas, en especial en piezas pretensadas, lo que exige hormigones de alta resistencia final.

En general, una mayor resistencia requiere una proporción mayor de cemento y una relación agua-cemento más reducida, lo que proporciona un hormigón con una mayor compacidad y durabilidad, con la consiguiente ventaja.

Hoy día existen soluciones prefabricadas para casi todas las tipologías de puentes de hormigón, aunque habitualmente sólo se prefabrica el tablero. Las partes de los puentes se pueden clasificar en función del empleo de elementos prefabricados en su construcción:

- Tableros de vigas:
  - Tableros de vigas I
  - Tableros de vigas U o artesa

- Tableros de monovigas (vigas artesa únicas)
- Tableros de vigas artesa con junta longitudinal para formar cajón multicelular
- Tableros losa de vigas en T invertida

- Losas de tableros de vigas:
  - Losas de encofrado perdido entre vigas
  - Prelosas o semilosas entre vigas o con vuelos exteriores
  - Losas de espesor completo
  - Losas para tableros de vigas metálicas

- Tableros de dovelas:
  - Dovelas de sección completa o incompleta
  - Dovelas de sección completa unidas por la losa de tablero
  - Dovelas unidas por las losas superior e inferior para formar cajón multicelular

- Tableros completos

- Estribos:
  - Estribos de tierra armada
  - Estribos de elementos verticales en cantilever
  - Estribos de gravedad
  - Estribos de viga flotante sobre terraplén

- Pilas:
  - Fustes independientes con o sin capitel de apoyo
  - Pilas pórtico formadas por fustes verticales y cabezera superior de unión
  - Pilas construidas por dovelas horizontales

- Cimentaciones:
  - Pilotes bajo encepados "in situ"
  - Pilotes formando fustes de pilas pórtico
  - Zapatas

- Elementos auxiliares:
  - Impostas y bordillos
  - Aceras
  - Barreras de seguridad

Todos estos elementos se describirán más adelante.

# Prefabricados de hormigón

## 2. Un poco de historia de la prefabricación de puentes en España

La prefabricación en elementos de puentes comenzó en España a principios de los años 50, es decir, hace algo más de cincuenta años, con los primeros tableros de vigas prefabricadas pretensadas.

En 1963 se construyó sobre el río Guadalquivir, en Almodóvar del Río cerca de Córdoba, el primer puente realizado en España mediante dovelas prefabricadas conjugadas fabricadas en las proximidades del puente y que después se montaron mediante blondín colocado en los estribos. Su luz es de 70 m. En 1969 se construyó otro de forma similar sobre el río Ebro en Castejón de Navarra, entre Logroño y Zaragoza, pero de 100 m de luz.

A principios de los años 60 DRAGADOS obtuvo la licencia de fabricación en España de los pilotes patentados norteamericanos Raymond, pretensados, de sección anular y de diámetros exteriores 0,91 m, 1,37 m y 1,98 m. Se fabricaban en segmentos de 5 m o 2,5 m de longitud por centrifugación y vibración enérgica combinadas, por lo que se obtenía una compacidad muy alta y por lo tanto una resistencia elevada, de unos 50 a 60 MPa (probeta cilíndrica), ya en aquella época. Los segmentos se unían con cables de pretensado, alojados en orificios longitudinales, que se pretensaban contra anclajes provisionales apoyados en las superficies extremas. Después de la inyección de los orificios, se retiraban los anclajes provisionales y los cables de pretensado quedaban anclados por adherencia. Entre segmentos contiguos se aplicaba mortero de resina epoxi. Así se formaba la longitud requerida de pilote.

Se instaló para ello una fábrica en Huelva (Figura 1), ya que se emplearon gran cantidad de ellos para la construcción de muelles en el puerto de esta ciudad, instalado en la desembocadura de los ríos Tinto (Figura 2) y Odiel, una zona de marismas que requería cimentaciones muy profundas. Pero también sirvieron para servir de fustes de las pilas pórtico, con cabecero realizado "in situ", de dos puentes de acceso a ese puerto, uno sobre cada río. Los tableros se hicieron con vigas prefabricadas. A finales de los años 60 se utilizó una solución similar para el puente de peaje sobre la bahía de

Figura 3.- Puente sobre la Bahía de Cádiz.



Cádiz (Figura 3), excepto evidentemente el tramo de puente móvil de dos hojas. Durante los años 70 se utilizó una solución similar en varios pantalanés para barcos petroleros en Algeciras, La Coruña y Bilbao, pero ya con cabeceros también prefabricados.

La prefabricación de puentes en gran cantidad llegó con la construcción por DRAGADOS a finales de los años 60 de la autopista de peaje entre Sevilla y Cádiz, concesión en prolongación de la del puente sobre la bahía de Cádiz. Esta autopista, de unos 100 km de longitud, requería gran número de puentes, tanto pasos superiores sobre la misma para el cruce de carreteras y caminos cortados por ella, como pasos

Figura 4.- Puente sobre el Río Ebro - Autopista Tarragona-Valencia .

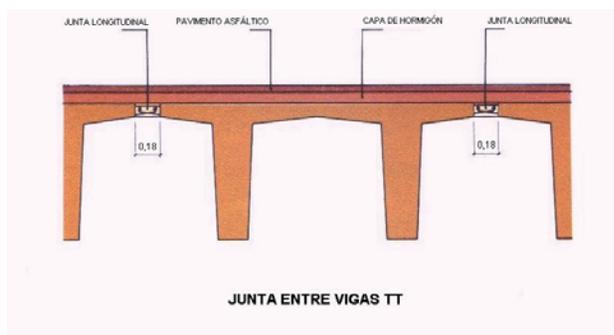


## Prefabricados de hormigón

inferiores de cauces bajo la autopista. Para poder empezar a rentabilizar la autopista en el plazo más breve posible, se requería una construcción muy rápida, y además, poder circular las máquinas de construcción sobre ella cuanto antes, pues debido a la gran cantidad de marisma el acceso a las obras era difícil en muchas zonas.

Como la capacidad portante del terreno de cimentación era muy baja, los puentes se diseñaron con tableros isostáticos de vigas, con pilas pósito de cimentación profunda sobre pilotes Raymond, unidos en cabeza mediante cabeceros prefabricados de sección rectangular, y vanos de acompañamiento apoyados en estribos de zapata flotante sobre terraplén. Las vigas eran en forma de  $\Pi$  ( $\pi$ ), con dos nervios de sección trapecial invertida unidos por una losa superior. Esta losa formaba la losa de tablero mediante la unión entre vigas contiguas por una junta longitudinal "in situ" de 18 cm de anchura (Figura 5). Sobre esta losa se colocaba el pavimento formado por una capa de hormigón de regularización y sobre ella la capa asfáltica de rodadura. Los puentes eran pues casi totalmente prefabricados, con sólo "in situ" los estribos embebidos en los terraplenes con aletas muy pequeñas y las uniones entre pilotes y cabeceros y entre vigas contiguas. Las vigas eran pretensadas con cables de trazado poligonal mediante desviadores. El hormigón de estas vigas era de 45 MPa (probeta cilíndrica).

Figura 5.- Tablero de vigas  $\Pi$  ( $\pi$ ) - Autopista Sevilla-Cádiz.



Las vigas de sección en T o  $\Pi$  (dos T unidas) tiene un mal funcionamiento resistente, al tener la fibra neutra muy alta, y requiere mayor cantidad de hormigón y por lo tanto peso, pero en cambio el molde es fijo (no requiere ser abierto

para el desmoldeo) y además permite el trazado poligonal de cables y utilizar el mismo molde para varios cantos de viga (entre 0,50 m y 1,00 m en esa autopista), simplemente colocando dentro, en el fondo del molde, un suplemento realizado con hormigón, de la altura no utilizada. La proximidad de la fábrica de Huelva disminuía las desventajas del mayor peso en el transporte.

Una solución similar utilizó DRAGADOS a principios de los años 70 para la construcción de unos 200 pasos sobre el ferrocarril en supresión de los correspondientes cruces a nivel. La disposición tipo era de tres vanos, el central sobre el ferrocarril y los laterales de acompañamiento para poder colocar estribos de viga flotante sobre los terraplenes de acceso de ambos lados. La longitud de los vanos era de 11 m en sentido perpendicular al ferrocarril, que aumentaba al disminuir el ángulo de cruce sobre él, tipificado en 90°, 75°, 60° y 45°. El canto de las vigas variaba en función de su longitud entre 0,50 m y 0,70 m. En estos puentes se aumentó el nivel de prefabricación, llegando a la prefabricación casi total del puente, dejando "in situ" únicamente el hormigonado de las juntas longitudinales entre vigas y, en el caso de cimentación profunda que no era lo habitual, la unión entre cabeceros y pilotes Raymond.

Las vigas flotantes de los estribos eran armadas y tenían una sección en T invertida, similar a media viga  $\Pi$ , que se volteaba después del desmoldeo. Las pilas pósito tenían en general dos fustes de pilote Raymond, pero aumentaba su número en puentes más anchos. En la mayoría de los casos la cimentación no era profunda sino superficial. Los fustes de unos 7 m de longitud se fabricaban con dos segmentos Raymond, uno de 5 m y el otro de la longitud restante, que se unían provisionalmente con tres barras de armadura colocadas en tres orificios a 120° de los doce que tenía el pilote. Se utilizaba mortero de resina epoxi para adherir estas barras en los orificios y los dos segmentos entre sí. La zapata, de sección transversal trapecial que se fabricaba invertida, era armada y también prefabricada. Llevaba embebidas tres vainas a 60° debajo de cada apoyo de pilote, de forma que se introducía un cable (en algunos casos dos) por cada vaina, sobresaliendo de ella seis ramas a 60°.

## Prefabricados de hormigón

En el montaje de la pila se colocaba la zapata sobre un lecho de grava de unos 30 cm de espesor, se introducían las seis ramas de cable por los correspondientes orificios de los fustes de pilote Raymond y por otros seis orificios dejados en el cabecero en cada zona de unión con fuste, y se anclaban mediante placas y cuñas definitivas en la cara superior del cabecero. Posteriormente se inyectaban las vainas y orificios para proteger los cables contra la corrosión. La grava de debajo de la zapata se inyectaba después con mortero de cemento para un mejor asiento de ella y mejor reparto de cargas sobre el terreno (Figura 6). El apoyo del estribo se hacía de forma similar con lecho de grava de 20 cm de espesor inyectado posteriormente. Todos los elementos del puente, incluidas las barandillas de acero, se transportaban por ferrocarril desde la fábrica de Huelva hasta dejarlos acopiados en sus proximidades. En un día de trabajo se montaban las dos pilas y las vigas del tramo central. Después se construían los dos terraplenes, que cubrían las zapatas de las pilas. Posteriormente, en otro día de trabajo, se colocaban los dos estribos y las vigas de los dos vanos de acompañamiento. Por último, se hormigonaban las juntas longitudinales entre vigas, se colocaban las juntas de dilatación entre tableros, las barandillas y la capa de rodadura.

Durante los años 70 DRAGADOS construyó con una solución parecida otras tres autopistas de peaje, entre Tarragona y Valencia (Figura 4), entre Valencia y Alicante y la de Navarra. Debido a la publicación en 1972 de una nueva normativa española de cargas de carretera IAP-72 donde se consideraba el paso de un

Figura 6.- Sección de una pila completamente prefabricada.

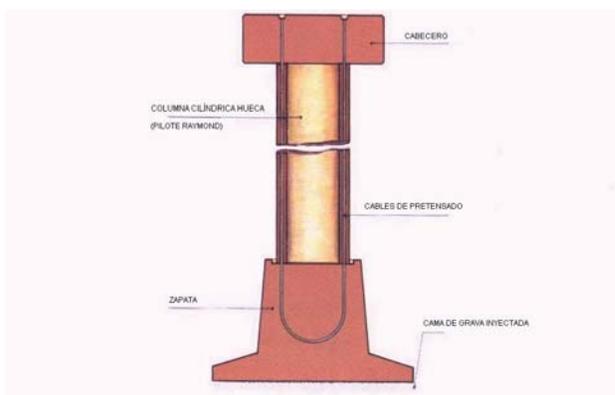


Figura 7.- Junta entre vigas en paso superior.

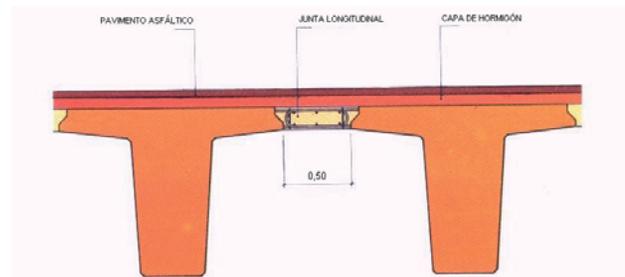
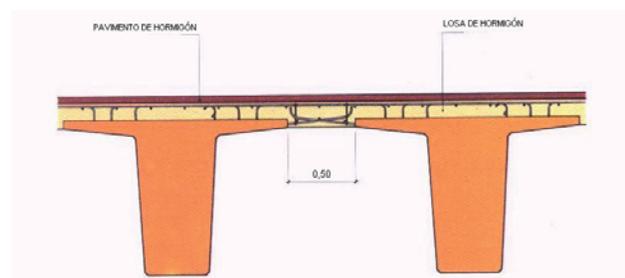


Figura 8.- Junta entre vigas en paso inferior.



vehículo pesado de 60 t, se tuvo que aumentar el canto de las vigas de los tramos principales de 1 m a 1,65 m. El aumento de peso correspondiente obligó a utilizar vigas con sección en T en lugar de la II. Además se adoptó pavimento rígido de hormigón en la autopista en lugar del flexible asfáltico. Para la construcción de los elementos prefabricados de estas autopistas se construyó una nueva fábrica en Sagunto (Valencia). Los elementos se transportaban por carretera para las dos primeras autopistas y por ferrocarril para la de Navarra hasta una estación de acopio cerca de Pamplona y después por carretera.

Las vigas de los pasos superiores se unían de forma similar a las descritas anteriormente, aunque se aumentó la anchura de la junta a 50 cm. Las alas de las vigas con las juntas de unión formaban la losa de tablero (Figura 7). En los pasos inferiores las vigas se fabricaban prácticamente sin cabeza superior, que se hormigonaba "in situ" formando al mismo tiempo la losa de tablero y la capa de rodadura, con un espesor adicional para tener en cuenta desgastes y reparaciones (Figura 8). Las zapatas de las pilas con cimentación directa, que en estas autopistas eran mayoría por disponer de mejores terrenos de apoyo, eran de sección rectangular, pero poseían cálices o huecos circulares con reborde superior para

## Prefabricados de hormigón

Figura 9.- Puente sobre el Río Ebro - Autopista de Navarra.



la colocación y unión con los fustes de pilote Raymond. Estas zapatas y también los estribos se construyeron "in situ".

En Castejón de Navarra, en el cruce de la autopista de Navarra con el río Ebro se construyó un puente singular, con un vano atirantado de 140 m de luz, una pila inclinada hacia el lado contrario y dos macizos de contrapeso para anclaje de los cables traseros (Figura 9). El tablero tenía una anchura total de 29 m, formada por un cajón central tricelular y dos vuelos laterales rigidizados por nervios cada 3,20 m. En la célula central, mucho más estrecha que las laterales, se anclaban las 35 parejas de cables cerrados que soportaban el tablero. Se construyó por dovelas prefabricadas de 3,20 m de la longitud del tablero y en dos mitades, cada una de una calzada, que se unían en el centro del tablero con una junta "in situ" en las losas superior e inferior. En la junta entre dovelas se aplicaba resina epoxi. Se construyeron conjugadas, una contra la anterior ya construida, en la fábrica de Sagunto, como el resto de elementos prefabricados de la autopista.

La ralentización de la construcción de carreteras a mediados de los años 70, después de la crisis del petróleo, obligó a adoptar las secciones de vigas en I (Figura 10), de mejor funcionamiento estructural y de menor peso y consumo de materiales, aunque con moldes más complicados, que requerían el abatimiento de los laterales para el desmoldeo y necesitando un molde distinto para cada altura de viga o bien la utilización de suplementos en el molde para aumentar la

altura. El pretensado utilizado era recto, dentro de la cabeza inferior. Para reducir la fuerza de pretensado en las zonas de las vigas cercanas a los apoyos y evitar las elevadas tensiones de tracción en las cabezas superiores en esas zonas de momentos flectores reducidos, se empezó a utilizar el envainado de cables con fundas de caucho.

A mediados de los años 80 se incrementó la construcción de autovías que requerían gran número de puentes y donde la prefabricación fue utilizada masivamente. Los diseñadores y constructores de puentes "in situ", que veían reducir su participación en la construcción, convencieron a los responsables de la construcción de carreteras para que considerasen los puentes de vigas I como estéticamente feos, para su visión por los usuarios de las carreteras, y que las formas en U de los puentes "in situ",

Figura 10.- Puente con tablero prefabricado de vigas I .

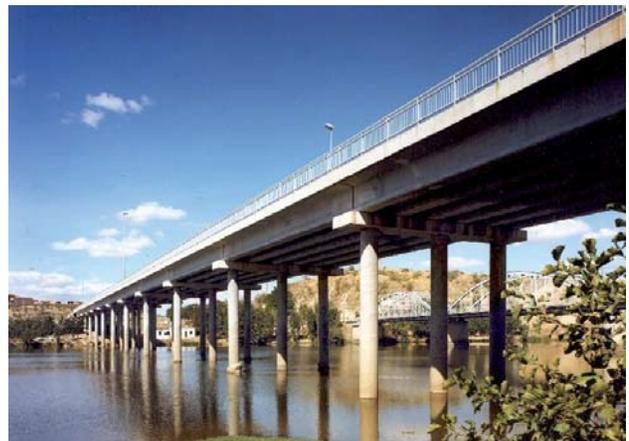


Figura 11.- Puente con tablero prefabricado de vigas U.



## Prefabricados de hormigón

Figura 12.- Puentes con tableros prefabricados de monovigas.



utilizados en otras autopistas de peaje construidas con plazos de ejecución más largos, eran mucho más agradables a la vista y menos perturbadoras para los conductores. Esto obligó a los prefabricadores a adoptar soluciones con vigas en U o artesa, que aunque más caras y pesadas, eran aceptables y no se podían rechazar al reproducir la misma forma que los puentes "in situ" (Figura 11). También se llegó a la solución de viga única o monoviga, viga en U o artesa muy ancha que puede resolver con una sola viga los puentes de anchuras habituales de unos 10 m (Figura 12). En los pasos inferiores se siguieron utilizando vigas I, más económicas, al no ser visibles por los usuarios de las autovías y no tener esos condicionantes estéticos. También se empezaron a fabricar con mayor frecuencia pilas de fustes independientes, con o sin capitel o con doble capitel (palmera) dependiendo del tipo de apoyo de los tableros.

Todas estas soluciones se aplicaron también al ferrocarril, en variantes de trazados antiguos y en el tren de alta velocidad (AVE) Madrid-Sevilla construido a finales de los años 80 y principios de los 90. Para las líneas del AVE Madrid-Barcelona y el resto de la red actualmente en construcción, la autoridad ferroviaria consideró que en puentes de varios vanos eran más adecuadas, para reducir giros relativos entre tramos contiguos y vibraciones que perturbasen el confort de los pasajeros, soluciones con continuidad hiperestática entre tramos que con discontinuidad isostática. Como reacción, los prefabricadores pusieron a punto soluciones de unión entre tramos que garantizan esa continuidad, bien mediante pretensado secundario, bien mediante soluciones armadas o mediante soluciones mixtas entre ambos sistemas (Figura 13).

Figura 13.- Tablero doble prefabricado de AVE con continuidad hiperestática .



## Prefabricados de hormigón

Figura 14.- Transporte de una viga U de canto variable.



Figura 17.- Pieza de cantilever sobre la pila.



Figura 15.- Tableros prefabricados con planta curva.



Para responder a las exigencias, tanto funcionales como estructurales y estéticas, de las administraciones de carreteras, ferrocarriles, ayuntamientos, regionales y de clientes particulares, los prefabricadores han diseñado soluciones prefabricadas de puentes que cubren hoy día una gama amplísima de tipologías, vigas de altura variable (figs. 14 y 30), de planta curva (Figura 15), de caras laterales o inferiores planas y curvas, con vuelos apoyados en nervios o jabalcones de formas variadas y complejas (Figura 16), tramos divididos en su longitud en dos piezas, una en cantilever sobre la pila, de canto generalmente variable (Figura 17), y otra cubriendo el vano central entre las anteriores,

Figura 18.- Puente con tableros soportados por jabalcones en construcción.



Figura 16.- Jabalcones de forma compleja.



## Prefabricados de hormigón

Figura 19.- Puente con tableros soportados por jabalcones.



Figura 22.- Tableros prefabricados con forma especial.



Figura 20.- Puente atirantado con tablero prefabricado.

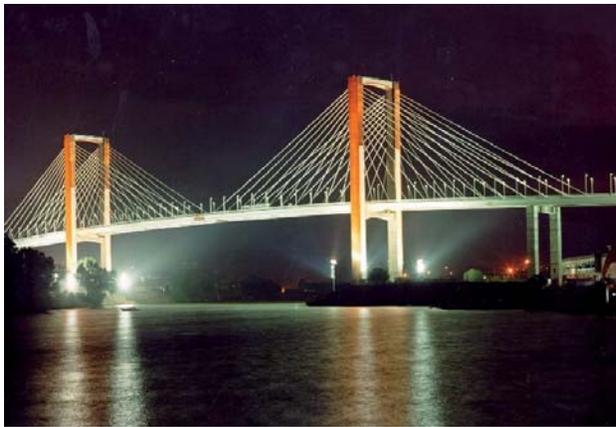


Figura 23.- Puente con tableros de arcos prefabricados.



Figura 21.- Puente atirantado con tablero prefabricado en construcción.



de canto generalmente constante aunque también puede ser variable, tramos soportados por jabalcones para reducir la luz efectiva de cálculo del vano (fig8. 18 y 19), tableros completamente prefabricados para puentes atirantados (figs. 9, 20, 21, 37 y 38), tableros de puente con formas especiales (Figura 22), tableros de arco (Figura 23) y otras muchas tipologías.

# Prefabricados de hormigón

## 3. Tipologías de elementos de puentes

### 3.1. Tableros de vigas

#### 3.1.1. Tableros de vigas I

Son los más extendidos aunque están cuestionados estéticamente si son visibles por debajo desde la carretera o en puentes urbanos. Es difícil que un usuario no experto en puentes, son todos los usuarios salvo muy pocos, sepa apreciar la diferente tipología del tablero circulando por debajo a más de 100 km/h. En un entorno urbano el puente es mucho más visible aunque la estética es una cuestión subjetiva difícil de medir. Se fabrican estas vigas con cantos entre 0,60 m y 2,50 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m en carreteras y hasta 40 m en ferrocarril (figs. 24 y 25).

#### 3.1.2. Tableros de vigas U o artesa

Están muy extendidos por razones estéticas si son visibles por debajo desde la carretera o en puentes urbanos. Se fabrican estas vigas con cantos entre 0,70 m y 2,50 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m en carreteras y hasta 40 m en ferrocarril (Figura 26). También se fabrican

Figura 24.- Puente con tableros de vigas I.



Figura 25.- Transporte por carretera de una viga I larga.



Figura 26.- Puente con tableros de vigas U.



con canto variable y para soluciones con tramos divididos en su longitud en dos piezas, una en cantilever sobre la pila, de canto generalmente variable (Figura 17), y otra cubriendo el vano central entre las anteriores, de canto generalmente constante. Las caras laterales e inferiores son generalmente planas pero también pueden ser curvas por motivos estéticos.

#### 3.1.3. Tableros de monovigas (vigas artesa únicas)

Es una solución extendida de las vigas artesa, pues es una artesa de más anchura. Sirve para tableros de carretera de hasta 10 m de anchura. También se pueden fabricar con trazado curvo (Figura 27).

Figura 27.- Puente con tableros de monovigas de planta curva y canto variable.



# Prefabricados de hormigón

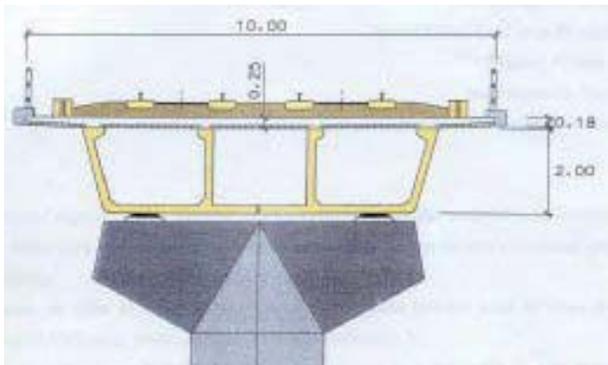
## 3.1.4. Tableros de vigas artesa con junta longitudinal para formar cajón multicelular

En el caso de tableros de mayor anchura o por motivos de resistencia se pueden fabricar vigas artesa de cajón multicelular, divididas longitudinalmente en dos mitades, que se unen con junta "in situ" en las losas superior e inferior (figs. 28 y 29).

Figura 28.- Viga U para puente de ferrocarril con junta longitudinal para formar un cajón tricelular.



Figura 29.- Viga U para puente de ferrocarril con junta longitudinal para formar un cajón tricelular.



## 3.1.5. Tableros losa de vigas en T invertida

Se utilizan en tableros de luz muy pequeña, colocando unidas a tope las alas inferiores y rellenando con hormigón "in situ" el espacio entre vigas y un cierto espesor sobre ellas para formar un tablero losa de espesor constante.

## 3.2. Losas de tableros de vigas

### 3.2.1. Losas de encofrado perdido entre vigas

Es la forma más extendida de encofrar los vanos entre vigas I y vigas artesa y los vanos interiores en las vigas artesa. No permiten realizar vuelos por el exterior de las vigas exteriores. Tienen espesores de 4 a 6 cm y pueden ser armadas o pretensadas según la luz del vano a cubrir. Sobre estas losas se construye "in situ" la losa de tablero en todo su espesor, colocando las parrillas de armadura superior e inferior y hormigonando después la losa (Figura 30).

Figura 30.- Apilado de losas de encofrado perdido.



### 3.2.2. Prelosas o semilosas entre vigas o con vuelos exteriores

Tienen espesores inferiores o iguales a la mitad del espesor de la losa de tablero y son generalmente armadas, llevando incorporadas la parrilla inferior de armaduras y colocando "in situ" la superior, hormigonando después el espesor que falta de la losa (Figura 31). Si es necesario incorporan conectores de armadura entre ambos hormigones. También pueden llevar incorporada parte o toda la armadura transversal superior del tablero con disposiciones de armadura en forma de celosía de sección triangular, con una barra superior y dos inferiores. Esta disposición de armadura permite realizar vuelos por el exterior de las vigas exteriores. En tableros de grandes vuelos exteriores y gran separación entre vigas se ha

# Prefabricados de hormigón

Figura 31.- Parrilla de armadura superior colocada sobre prelosas de tablero.



utilizado este sistema para losas de tablero pretensadas transversalmente, aunque no es una solución habitual.

### 3.2.3. Losas de espesor completo

Solución menos habitual que las anteriores. Generalmente cubren toda la anchura del tablero y se emplean en tableros sobre dos vigas I o una monoviga. Se unen entre ellas mediante juntas transversales "in situ" y a las vigas mediante ventanas también hormigonadas "in situ", por lo que los conectores de las vigas se disponen en zonas localizadas en lugar de distribuirse por toda la viga sin discontinuidades (Figura 32). Si no cubren toda la anchura del tablero necesitan juntas longitudinales, más difíciles de realizar por afectar a la armadura transversal del tablero, mucho más importante y densa que la longitudinal (Figura 33).

Figura 32.- Losas prefabricadas de tablero con espesor total.

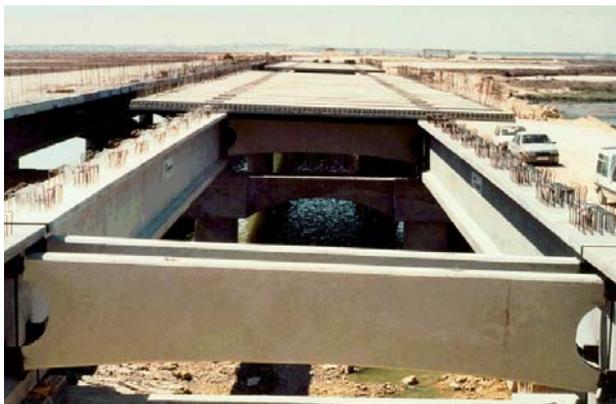


Figura 33.- Losas prefabricadas de tablero con espesor total.



### 3.2.4. Losas de tableros de vigas metálicas

Las tres soluciones anteriores de losas se pueden aplicar también de forma similar a tableros metálicos de puentes, tanto de vigas I como de vigas cajón, sean unicelulares o multicelulares (Figura 34).

Figura 34.- Losas prefabricadas con espesor total sobre estructura de acero (cajón y jабalcones).



## 3.3. Tableros de dovelas

### 3.3.1. Dovelas de sección completa o incompleta

Dependiendo de la anchura del tablero y del peso adecuado para los medios de transporte y montaje a utilizar, se pueden construir las dovelas con la sección completa del tablero (Figura 35) o sólo del cajón central (Figura 36), añadiendo posteriormente "in situ" las losas en voladizo de

## Prefabricados de hormigón

Figura 35.- Dovela de sección completa en la planta de prefabricación.



Figura 36.- Dovelas de sección parcial en la planta de prefabricación.



ambos lados, con o sin jabalcones o ménsulas de rigidización, elementos que también pueden ser prefabricados.

### 3.3.2. Dovelas de sección completa unidas por la losa de tablero

En el caso de autopistas y autovías, es decir en carreteras de calzadas independientes, se puede optar por dos tableros independientes realizados con dovelas de sección completa o bien unidos por la losa de tablero mediante una junta longitudinal hormigonada "in situ".

### 3.3.3. Dovelas unidas por las losas superior e inferior para formar cajón multicelular

Si el tablero es muy ancho se puede optar por un cajón multicelular con vuelos en ambos lados. Si las dovelas en

sección completa son muy grandes y pesadas se pueden dividir en dos o más partes que posteriormente se unen mediante juntas longitudinales hormigonadas "in situ" en las losas superior e inferior. Una solución de este tipo se empleó en el puente atirantado de Castejón descrito anteriormente (figs. 9 y 37).

Figura 37.- Puente atirantado con dovelas de media sección del tablero.



## 3.4. Tableros especiales

También hay soluciones prefabricadas para tableros especiales como los tableros de puentes atirantados (figs. 20, 21 y 38).

Figura 38.- Puente atirantado con tablero prefabricado.



# Prefabricados de hormigón

## 3.5. Tableros completos

Es una solución muy especial, debido a su gran peso, que requiere medios de transporte y montaje excepcionales. En Portugal se utilizó en algunos tramos del puente de peaje "Vasco de Gama" que cruza el estuario del río Tajo en Lisboa. El transporte y montaje se realizó con medios marinos.

En España DRAGADOS construyó, a finales de los años 90, los tableros de los dos puentes de aproximación al puente atirantado que cruza el estrecho de Oresund entre Copenhague (Dinamarca) y Malmo (Suecia) (Figura 39). Son 42 vanos de 140 m de longi-

Figura 39.- Puente de Oresund. Vista general.



Figura 40.- Puente de Oresund. Planta de prefabricación.



tud y 7 de 120 m, con una longitud total de 6754 m. Las juntas de dilatación se disponen en estribos, conexiones con el puente atirantado y cada 6 vanos. La sección estructural es mixta acero-hormigón. El tráfico discurre en dos niveles. En la parte superior, sobre una losa de hormigón de 24,8 m de anchura, pretensada transversalmente, se disponen cuatro carriles de circulación normal más dos de emergencia para el tráfico por carretera. En la parte inferior, formada por una estructura metálica en forma de U, de 12 m de gálibo horizontal libre, se colocan dos vías de ferrocarril con una pasarela de servicio en cada extremo (Figura 43).

Estos tableros completos, de hasta 5500 t de peso, fueron construidos en Cádiz (Figura 40), y se transportaron en barco de dos en dos hasta las instalaciones del puerto de Malmö (Figura 41). Allí les colocaron unas artesas prefabricadas

Figura 41.- Puente de Oresund. Transporte por mar.

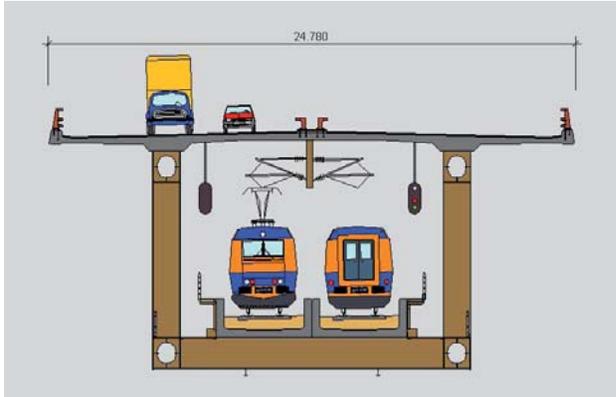


Figura 42.- Puente de Oresund. Instalación sobre las pilas mediante una enorme grúa.



# Prefabricados de hormigón

Figura 43.- Puente de Oresund. Sección transversal.



de hormigón armado, apoyadas en las vigas inferiores de la estructura metálica, para contener las vías sobre balasto. Después se transportaron y colocaron en sus posiciones definitivas sobre las pilas, por medio de una enorme grúa flotante, con una capacidad de carga de 9000 t (Figura 42). Para el izado se construyó un balancín de 1500 t de peso. Con él se izaron los tableros colgados por los 60 m centrales.

## 3.6. Estribos

### 3.6.1. Estribos de tierra armada

Están formados por elementos placa de hormigón armado de pequeño espesor y forma generalmente hexagonal, que forma el paramento exterior del estribo con sus muros de acompañamiento. Estas placas están sujetas por pletinas, generalmente de acero, que por rozamiento se anclan dentro del terraplén formando una armadura del mismo. Los tableros apoyan sobre vigas flotantes realizadas "in situ", suficientemente dentro del terraplén.

### 3.6.2. Estribos de elementos verticales en cantilever

Son elementos de hormigón armado. Se componen de una placa vertical de pequeño espesor que forma el paramento exterior del estribo con sus muros de acompañamiento y que lleva uno o dos nervios de refuerzo en el lado del terraplén. Del extremo inferior del nervio salen las armaduras para anclaje de los elementos a la zapata de sección rectangular hormigonada "in situ". Los tableros apoyan sobre vigas rectangulares realizadas "in situ" apoyadas en los nervios (Figura 44).

Figura 44.- Estribo prefabricado con contrafuertes.



### 3.6.3. Estribos de gravedad

Están formados por pequeños elementos enlazados entre sí que se colocan en pendiente y mantienen el terraplén con un talud más vertical. Pueden servir de soporte de plantas para vegetarizar el talud. Se emplean sólo en muros de acompañamiento.

### 3.6.4. Estribos de viga flotante sobre terraplén

Se han descrito anteriormente con la descripción de la solución casi enteramente prefabricada de los pasos sobre ferrocarril para la supresión de pasos a nivel. Es una solución utilizada muy escasamente.

## 3.7. Pilas

### 3.7.1. Fustes independientes con o sin capitel de apoyo

Se utilizan generalmente en pasos superiores o puentes de altura reducida, en general no mayor de 10 m. Si sobre el fuste se coloca un apoyo único y la sección del fuste es suficiente, no es necesario disponer un capitel de ensanchamiento en la parte superior, en caso contrario se dispone este capitel. En caso de necesitar dos apoyos, bien en sentido longitudinal del puente, bien en sentido transversal, el capitel se puede abrir en forma de palmera. Estos fustes pueden ser de secciones muy variadas, circular, cuadrada, poligonal, etc. de acuerdo con la estética requerida (figs. 45 a 47). La unión a la zapata puede ser por introducción del fuste en un cáliz o hueco dejado en ella y posterior relleno de la holgura con

## Prefabricados de hormigón

Figura 45.- Pilas de columnas independientes con capitel simple.



Figura 47.- Pilas de columnas independientes con capitel simple.



mortero sin retracción, o, más usualmente, mediante anclaje de barras de armadura que sobresalen de la cara inferior del fuste y se introducen en vainas dejadas en la zapata, que posteriormente se rellenan con mortero de alta adherencia y resistencia. También se han realizado soluciones de cabeceros prefabricados montados en la parte superior de pilas de fuste único de sección rectangular hueca (Figura 48).

Figura 46.- Pilas de columnas independientes con capitel simple.



Figura 48.- Cabecero prefabricado sobre pilas "in situ".



## Prefabricados de hormigón

### 3.7.2. Pilas pórtico formadas por fustes verticales y cabecero superior de unión

Anteriormente se han descrito diferentes soluciones realizadas con pilotes Raymond (Figura 49). También se pueden realizar soluciones similares con fustes de sección maciza variando los sistemas de unión entre fuste y cabecero. Se han llegado a realizar pilas de 65 m de altura con dos fustes divididos cada uno en tres piezas de 21 m de altura y con dos juntas y dos travesaños intermedios (Figura 50). Otros tipos

Figura 49.- Pilas pórtico con pilotes Raymond.

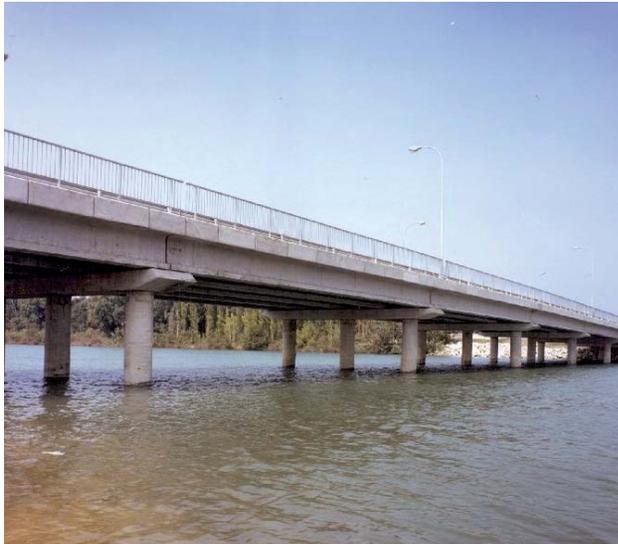


Figura 50.- Puente prefabricado con pilas de 65 m de altura.



de pilas pórtico de altura reducida y por ello de peso limitado pueden prefabricarse completas de una sola pieza, evitando juntas "in situ" entre columnas y cabeceros (Figura 51).

Figura 51.- Pilas pórtico de altura reducida prefabricadas en una sola pieza.



### 3.7.3. Pilas construidas por dovelas horizontales

Es una posible solución de la que el autor no conoce su utilización en España aunque sí en los E.E.U.U.

## 3.8. Cimentaciones

### 3.8.1. Pilotes bajo encepados "in situ"

En este caso se pueden utilizar cualesquiera de los pilotes prefabricados existentes en el mercado de acuerdo con la capacidad resistente necesaria y las condiciones del terreno que permitan la hincada de los mismos.

### 3.8.2. Pilotes formando fustes de pilas pórtico

Se han descrito anteriormente con la descripción de la utilización de soluciones de fustes de pilotes Raymond en varias autopistas.

### 3.8.3. Zapatas

Se han descrito anteriormente con la descripción de la solución casi enteramente prefabricada de los pasos sobre ferrocarril para la supresión de pasos a nivel. Es una solución utilizada muy escasamente.

# Prefabricados de hormigón

# SOBRE LA IDONEIDAD DE LA MAMPOSTERÍA DE HORMIGÓN EN LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO CONTEMPORÁNEO

JOSEP M<sup>º</sup> ADELL

*PROF. DR. ARQUITECTO*

*CATEDRÁTICO EN EL DEPARTAMENTO DE  
CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA,  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA MADRID*

Durante siglos, los materiales básicos de albañilería estuvieron constituidos por “la piedra natural”, con sus variantes de mampostería, sillería, etc., junto con “el ladrillo artificial” con la ventaja de tratarse de una pieza de barro cocido prefabricada, con una modulación precisa para permitir una mayor facilidad de construcción, con la consiguiente economía de la edificación.

De estos materiales, el ladrillo cerámico tuvo su máximo auge a finales del siglo XIX cuando la industrialización desarrolló plenamente sus posibilidades de prefabricación y cocción.

Hasta llegado el siglo XX con la aparición del hormigón armado, no se abrió paso un nuevo material de albañilería, el denominado “bloque de hormigón” capaz de ampliar los campos de aplicación de los materiales de albañilería con un formato de mayo-

res dimensiones, junto con sus múltiples posibilidades constructivas y arquitectónicas, basadas en la combinación con el hormigón armado con que se rellenaba su interior, logrando suplir con ventaja a las estructuras de fábrica cerámica tradicional, y ligándose más directamente con el tradicional lenguaje de la mampostería de piedra natural, con mucho menor coste.

Figura 1.- Bloque gris estándar de hormigón.



## Prefabricados de hormigón

En sus inicios, los bloques de hormigón se fabricaban en industrias de pequeño tamaño y mínimo control de calidad, ofreciéndose un producto muy económico aunque poco elaborado, de baja resistencia y de monótono colorido (gris oscuro).

Actualmente, por el contrario, los fabricantes de bloques de hormigón españoles, agrupados en la Asociación Nacional de Fabricantes de Bloque y Mampostería de Hormigón, NORMABLOC, velan por la renovada calidad de este producto que ya tiene más de cien años de experiencia y cuya industria nacional se encuentra entre las más punteras internacionalmente dentro de este sector.

Los bloques de mampostería actuales distan mucho de los que se fabricaban hace años, al emplearse hoy en día maquinaria de alta calidad que permite, en función del árido empleado y su compactación, junto con la incorporación de aditivos colorantes y distintos tratamientos de acabado, ofrecer después de un riguroso curado en cámaras de temperatura y humedad controladas, un producto de la máxima calidad funcional, resistente y estética.

Figura 2.- Proceso de fabricación de mampostería de hormigón.



Es un hecho que la mampostería de hormigón actual es uno de los productos más demandados dentro del sector de la albañilería cuando se quiere optimizar su capacidad resistente, precisamente por poder incorporar el armado en su interior, lo que tiene un importante campo de aplicación en

cerramientos o envoltentes de vallados o edificios industriales, grandes superficies, etc., por la economía de la mano de obra que ofrece su gran formato, además de su versatilidad estética para combinar con el entorno.

Figura 3a.- Empleo de mampostería de hormigón en muros de contención.

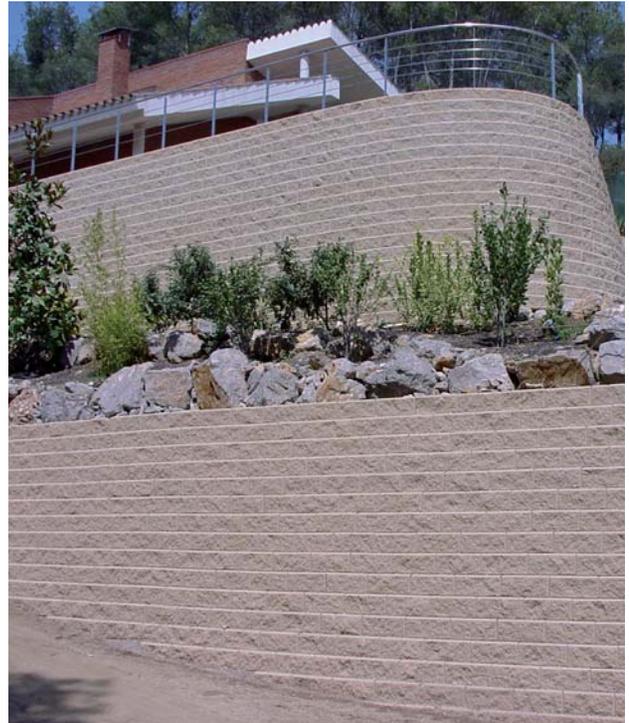


Figura 3b.- Empleo de mampostería de hormigón en muros de cerramiento.



## Prefabricados de hormigón

Figura 3c.- Empleo de mampostería de hormigón en edificación pública.



Figura 3d.- Empleo de mampostería de hormigón en edificación residencial.



La nueva normativa del CTE recientemente aprobada en España, se basa en gran parte en la normativa europea, en lo que a las estructuras de fábrica se refiere (EC-6), contemplando en toda su amplitud, las posibilidades técnicas y constructivas de los materiales prefabricados derivados del cemento, adquiriendo éstos en la actualidad, una presencia equiparable a la que antiguamente tenían los materiales cerámicos.

Ni que decir tiene que son múltiples los Arquitectos de renombre que han materializado con la mampostería de bloque de hormigón, sus mejores hitos arquitectónicos desde hace años, entre los que no se puede dejar de nombrar a F. Lloyd Wright en EEUU, Mario Botta en Europa y más recientemente Frank Ghery en todo el mundo.

Desde el punto de vista urbanístico, en los inicios del bloque de hormigón quizás se pudo abusar de la baja calidad y monótono colorido, al quedar en múltiples ocasiones sin revestir, cuando no estaba fabricado con el acabado visto adecuado para ello.

Esta circunstancia que pudo darse hace años, no puede repetirse en la actualidad con una sociedad más exigente y una industria mucho más desarrollada, al emplearse hoy día bloques de mampostería de factura y acabado mucho más avanzado, siendo en múltiples ocasiones precisamente escogido este material por su perfecta adaptación medioambiental. No en vano se trata de un producto que aglomera piedra natural previamente molida, haciéndolo con la apropiada granulometría para obtener el resultado resistente y estético óptimo, de acuerdo con las exigencias del proyectista y el fabricante.

Por todo ello, no hay ninguna duda que el actual bloque de hormigón, tanto si se trata de piezas de mampostería como de sillería de hormigón, y gracias a la industria actualmente existente en nuestro país, ofrece las máximas posibilidades de adecuarse a la perfección, a cualquier entorno arquitectónico y urbanístico, incluso ante las máximas exigencias de carácter medioambiental, dada la calidad de los productos existentes en el mercado.

Todo ello goza además, del respaldo de la normativa europea y española, con su correspondiente marcado CE, añadiéndose además la cobertura de NORMABLOC como la Asociación Nacional de Fabricantes de Bloques y Mampostería de Hormigón, que vela por la calidad de este producto, que ya puede considerarse como un material clásico, después de haberse empleado durante más de cien años, y siendo por sus propiedades físicas, el que más puede entonar con las características de cualquier entorno.

La mampostería de hormigón, es un material perfectamente idóneo para su empleo en la arquitectura y el urbanismo contemporáneo.

## Prefabricados de hormigón

Figura 4.- Empleo de mampostería de hormigón en edificación residencial.

