

INFLUENCIA DEL TIPO DE HORMIGÓN Y DE ACERO, Y DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA ESTRUCTURA, EN LOS COSTES DE MATERIALES Y EN LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS PILARES EN ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO CON FORJADO UNIDIRECCIONAL^(*)

(INFLUENCE OF CONCRETE CLASS AND STEEL TYPE, AND THE STRUCTURE GEOMETRIC CHARACTERISTICS, ON THE MATERIAL COSTS AND THE SURFACE OCCUPIED FOR THE COLUMNS IN THE ONE WAY CONCRETE BUILDING STRUCTURES)

Jesús Gómez Hermoso, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, FCC Construcción, S. A.

Jaime Fernández Gómez, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Prof. Titular de Edificación y Prefabricación. E. T. S. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. U. P. M.

Fecha de recepción: 24-IX-99

ESPAÑA

410-3

RESUMEN

La experiencia en el proyecto y ejecución de estructuras de edificación permite afirmar que, en un porcentaje muy elevado de ocasiones, se encuentran constituidas por pórticos de hormigón armado y forjados unidireccionales. Este hecho ha sido la causa fundamental que ha motivado el desarrollo de este estudio sistemático sobre la influencia que en estas estructuras puede tener el tipo de hormigón y acero utilizados, persiguiendo como objetivo final facilitar unos criterios para la definición geométrica de la estructura y la elección de materiales.

Se ha procedido al cálculo de 80 edificios clasificados en función de la altura (bajo, medio y alto, con 5, 12 y 20 plantas tipo sobre rasante, respectivamente), el tipo de hormigón (H175, H200, H250, H300, H400 y H500), el tipo de acero (AEH400 y AEH500), la luz entre pilares (corta y larga, con 5,00 y 6,00 m, respectivamente) y el canto del forjado (24, 26 y 29 cm, siendo la viga plana).

Tras la obtención de los resultados (presentados en una serie de tablas y gráficos), se realiza un análisis de los costes del material (hormigón y acero) y de la superficie ocupada por los pilares.

SUMMARY

The project and construction experience of building structures permit to affirm that greatest part of this structures usually are concrete frames with one way slab. This is the reason to develop this systematic study about the influence that concrete and steel used have in this structures. The aim is to give some criteria to geometric structure definition and the materials choice.

We have calculated 80 structure buildings modified the height (small, intermediate and tall, with 5, 12 and 20 typical flats over ground, respectively), the concrete class (H175, H200, H250, H300, H400 y H500), the steel types (AEH400 and AEH500), the distance between columns (short and long, 5,00 and 6,00 m, respectively) and the slab depth (24, 26 and 29 cm).

When the calculation results were obtained (as shown on a set of tables and graphs), we made an analysis of materials cost (concrete and steel) and the surface occupied for the columns.

^(*) Este artículo está obtenido de los estudios realizados en el desarrollo de la Tesis doctoral del primero de los autores, de la que el segundo fue Director, habiendo sido leída en febrero de 1998. Por esta última circunstancia toda la investigación se llevó a cabo siguiendo la Instrucción ET-91, en vigor en dicha época. Las denominaciones de los materiales y las unidades empleadas en este artículo siguen, por tanto, la citada normativa, evitando así posibles confusiones sobre la que se consideró en el estudio. Esta Tesis doctoral ha obtenido el Premio ANCI a la mejor Tesis en su edición 1999.
(C) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

1. INTRODUCCIÓN

De un estudio estadístico realizado sobre una población que entendemos suficientemente representativa, se deduce que cerca del 60% de los edificios construidos en los años 90 tienen como uso principal o exclusivo la vivienda. Por otra parte, analizando las tipologías estructurales clasificadas según los materiales que las constituyen, la que responde a pórticos de hormigón armado con forjado unidireccional sirve de esqueleto al 70% de los edificios en general y al 95% de los de viviendas en particular.

El hormigón y el acero como materiales estructurales (este último en su composición de barras corrugadas), han sufrido una importante evolución a lo largo del tiempo en lo que a características mecánicas se refiere. Hasta fechas recientes hormigones de resistencia característica entre 17,5 MPa y 50 MPa se han considerado convencionales, mientras el acero de uso más frecuente tiene un límite elástico de 500 MPa (AEH500), siendo habitual también el tipo AEH400.

Sin embargo, a pesar de la variedad de materiales citados en el párrafo anterior, cuando se comienza el proyecto de una estructura se estudian, salvo excepciones de edificios singulares, muy pocas alternativas por lo que a aquéllos se refiere. Y tampoco se publican, a pesar del elevado número de edificios de viviendas con la tipología citada, estudios de la influencia del tipo de material elegido y de la geometría de la estructura en los costes de los citados materiales.

Por otra parte, el incremento de la resistencia característica del hormigón supone una reducción de la sección de los pilares. En el presente trabajo se analiza la misma de una forma sistemática en función de la altura del edificio, de la luz y canto del forjado y del tipo de hormigón empleado, ya que el tipo de acero, como se podrá concluir, tiene una influencia prácticamente nula en este parámetro.

Esta carencia en la bibliografía técnica disponible es la que ha impulsado el estudio realizado, presentándose a continuación su desarrollo, resultados y conclusiones. Debe tenerse en cuenta que el presente trabajo se desarrolló, fundamentalmente, en el año 1997, formando parte de las investigaciones de una Tesis doctoral. En dicho año se encontraba en vigor la Instrucción EH-91, no la actual EHE. Los criterios de selección de materiales y de cálculo responden, por tanto, a aquélla. A pesar de esta diferencia con las circunstancias actuales, prácticamente todas las conclusiones pueden seguir considerándose válidas, ya que tienen un valor comparativo y, por tanto, de tipo relativo, no absoluto.

2. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El planteamiento realizado para el desarrollo del presente estudio ha sido considerar cinco variables que estimamos

fundamentales en el análisis de una estructura de hormigón armado en edificación y, con los distintos valores dados a las mismas, llevar a cabo una clasificación de los edificios resultantes, el cálculo de ellos siguiendo un modelo establecido y la obtención de los resultados de una serie de parámetros (relativos a costes y superficie ocupada por los pilares) en función de los mencionados valores dados a las citadas variables. Éstas son las siguientes:

- Altura y número de plantas del edificio.
- Tipo de hormigón.
- Tipo de acero.
- Luz entre pilares.
- Canto del forjado.

Además de las variables ya citadas no han sido tenidas en cuenta las siguientes:

-Tipo de forjado unidireccional. Los tres tipos utilizados con mayor frecuencia (vigüeta prefabricada armada, vigüeta prefabricada pretensada y nervio hormigonado in situ) tienen una influencia similar en los parámetros que se pretende analizar.

-Deformación de vigas y forjados. Se ha estimado que tomando el criterio de canto mínimo establecido por la Instrucción EF-96 para no ser exigible el cálculo de las deformaciones cubre un valor de éstas que garantiza el buen comportamiento estructural del edificio.

-Durabilidad. Un hormigón de mayor resistencia característica lleva asociada una mayor y mejor durabilidad. Sin embargo, hemos considerado que cualquiera de los recogidos por la normativa vigente, respetando los valores de mínimo contenido de cemento y máxima relación agua/cemento, proporciona una calidad suficiente para unificar su comportamiento en lo que respecta al resto de los puntos considerados en el presente estudio.

Hechas estas consideraciones previas sobre el planteamiento realizado y las variables tenidas en cuenta, los objetivos fundamentales perseguidos son los siguientes:

-Aportar una información, obtenida tras un estudio sistemático y riguroso de unos modelos estructurales, que sirva a arquitectos, ingenieros y otros profesionales afectados por la promoción, proyecto y construcción de edificios, en la elección de materiales y en la definición de criterios geométricos.

-Permitir una rápida, y suficientemente aproximada, estimación del coste relativo de materiales necesarios (acero y hormigón en pilares y vigas) para el proyecto y ejecución de la obra.

-Conocer la variación relativa de la superficie ocupada por los pilares en función del tipo de hormigón empleado y de los parámetros geométricos de la estructura (altura del edificio y luz y canto del forjado).

3. PLAN DE INVESTIGACIÓN. EDIFICIOS TIPO

La investigación se ha planteado sobre edificios normales, no singulares, que permitan obtener unos resultados que se puedan extrapolar de una forma razonable.

La elección del tipo de edificios se ha realizado en función de la altura, número de plantas, tipo de hormigón y tipo de acero que la experiencia (estadística basada en 59 edificios de viviendas proyectados y construidos en los años 90) nos muestra como más habituales.

3.1. Clasificación de los edificios

La clasificación de los edificios se realiza según las cinco variables comentadas en puntos anteriores.

La primera de las variables, la altura total y el número de plantas, nos lleva a tres tipos de edificios: bajo, medio y alto. Cada uno de ellos tiene 2, 3 y 4 plantas sótano y 5, 12 y 20 plantas tipo, respectivamente. En la tabla 1 se recoge esta información.

Los tipos de hormigón que se han tomado para cada tipo de edificio, teniendo en cuenta la experiencia mencionada anteriormente, y aquellos otros que podrían usarse en el futuro considerando la tendencia de la normativa se encuentran en la tabla 2.

Los tipos de acero elegidos son el AEH400 y el AEH500, ambos soldables (S). Cada tipo de edificio, con cada tipo de hormigón, se ha calculado con ambos tipos de acero.

El cuarto criterio de clasificación es la distancia entre pilares, considerando los valores de 5,00 y 6,00 m.

Finalmente, el quinto criterio ha sido el canto del forjado. Se ha tomado, inicialmente, el canto mínimo siguiendo el criterio comentado en el apartado "2. Planteamiento y objetivos". Estos valores, para viguetas armadas, son 24 y 29 cm, respectivamente, para ambas luces. A su vez, los forjados de 5,00 m de luz se han considerado también con cantos de 26 y 29 cm, utilizados en ocasiones para reducir las deformaciones o para mejorar el aislamiento acústico.

3.2. Características geométricas

Con el objetivo de alcanzar la mayor generalidad posible se ha establecido una planta cuadrada de 30 m de lado. De esta forma se evitan las particularidades que pueden presentar formas circulares, en "H", "L" u otras empleadas en algunas ocasiones. Igualmente, al no superar los 40 m, siguiendo los criterios de la normativa vigente, no es preciso considerar las acciones derivadas de los efectos térmicos ni la creación de juntas de dilatación.

Los edificios de tipo bajo y medio se han calculado con pilares, mientras que en los altos se han situado también pantallas. Aunque los edificios medios, con 12 plantas tipo, es recomendable desde los puntos de vista técnico y económico proyectarlos con pantallas o núcleos de rigidización frente a acciones horizontales, en numerosas ocasiones las exigencias arquitectónicas lo impiden. Las dimensiones mínimas de los pilares son de 25x25 cm.

A su vez, la distribución de los pilares apantallados en los edificios altos, es arbitraria, pero guardando unos criterios de simetría. La sección mínima establecida para estos pilares es de 25x200 cm.

TABLA 1

	E. BAJO	E. MEDIO	E. ALTO
Planta cubierta	1	1	1
Plantas tipo	5	12	20
Planta baja	1	1	1
Plantas sótano	2	3	4

TABLA 2

	H175	H200	H250	H300	H400	H500
E. BAJO	x	x	x	x		-
E. MEDIO	x	x	x	x	x	-
E. ALTO			x	x	x	x

En los forjados no se han planteado irregularidades geométricas de ningún tipo. No hay huecos para paso de conductos de instalaciones, escaleras o ascensores, así

En la figura 1 se puede apreciar, a modo de ejemplo, la planta y las alturas entre ellas en un edificio medio, con luz corta (5,00 m) y canto del forjado de 26 cm.



Por lo que respecta a los usos se establecen, de forma genérica, el de garaje en plantas sótano, locales comerciales en planta baja y vivienda en plantas tipo.

3.3. Grupos de edificios

La combinación de este conjunto de valores para las variables establecidas, compuesto por tres alturas distintas, seis tipos de hormigón, dos tipos de acero, dos luces entre pilares y tres cantos diferentes de forjado, arroja un total de 80 edificios que quedan clasificados en nueve grupos.

Los edificios bajos se dividen, inicialmente, en dos luces, y la menor de éstas en tres cantos. Todos ellos se calculan con cuatro tipos de hormigón y dos de acero. Se generan 32 edificios distintos.

Los medios tienen la misma clasificación, con la única diferencia de considerar un tipo más de hormigón, lo que origina 40 edificios.

Los altos se calculan únicamente con luz larga, cuatro tipos de hormigón, dos de acero y canto único de 29 cm, creando 8 edificios.

Toda esta clasificación se encuentra recogida en la tabla 3, en la que se presenta la nomenclatura que se ha adoptado para la denominación de los grupos, y que será seguida en el resto del documento.

4. PROCESO DE CÁLCULO

4.1. Método de cálculo

El análisis de las solicitaciones se ha realizado mediante un cálculo espacial, por métodos matriciales de rigidez, formando parte del mismo todos los elementos que definen la estructura (pilares, vigas y forjados).

Se ha establecido la compatibilidad de deformaciones en todos los nudos, considerando seis grados de libertad, y se ha creado la hipótesis de indeformabilidad del plano de cada planta, para simular el comportamiento rígido del forjado, impidiendo los desplazamientos relativos entre los nudos del mismo.

Para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático y se supone un comportamiento lineal de los materiales y un cálculo de primer orden de cara a la obtención de desplazamientos y esfuerzos.

Todos los cálculos de estructura, así como la medición de acero y de hormigón se han realizado con el programa desarrollado por la empresa CYPE INGENIEROS, S.A.

4.2. Acciones consideradas

Las acciones gravitatorias introducidas y consideradas en el cálculo han respetado los valores y criterios establecidos en la "NBE AE-88. Acciones en la edificación",

TABLA 3

LUZ (m)	CANTO (cm)	EDIFICIO		
		BAJO (2/1/5/1)	MEDIO (3/1/12/1)	ALTO (4/1/20/1)
CORTA (5)	24	BC4	MC4	
	26	BC6	MC6	
	29	BC9	MC9	
LARGA (6)	29	BL9	ML9	AL9
MATERIALES	HORMIGÓN (H-)	175	175	
		200	200	
		250	250	250
		300	300	300
			400	400
				500
	ACERO (AEH-)	400	400	400
		500	500	500

encontrándose recogidas en la tabla 4. Entre las sobrecargas de uso se han recogido las de tabiquería, no habiendo realizado ninguna reducción de sobrecargas por acumulación de plantas sobre un elemento resistente. El peso propio de la estructura lo estima el programa de cálculo de forma automática.

La acción del viento ha sido estimada siguiendo la "NTE ECV. Cargas de viento", considerando que los edificios se encuentran en zona eólica X y en una situación topográfica normal.

Se ha tomado como hipótesis que los edificios se encuentran en una zona con una aceleración sísmica básica a_b inferior a 0,04g (figura 2.1 de la "NCSE-94. Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación"). Por tanto, los edificios calculados no se encuentran sometidos a la acción sísmica. Con este criterio las conclusiones son extrapolables a una mayor superficie geográfica.

La única "carga especial", según la denominación del programa de cálculo utilizado, es la lineal de fachada, estimada en 800 kp/ml en las plantas tipo y 500 kp/ml en la planta cubierta.

La combinación de acciones se realiza siguiendo el "Artículo 32°. Establecimiento de acciones de cálculo e

hipótesis de carga más desfavorable" de la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa y armado, EH-91".

4.3. Criterios de cálculo y dimensionamiento

Las plantas que tiene cada edificio se dividen en grupos. Este sistema, seguido habitualmente en el desarrollo de los proyectos, permite simplificar el mismo y facilita la ejecución de la obra. En la tabla 5 se aprecia la agrupación realizada en función del tipo de edificio de que se trate.

El cálculo de los esfuerzos se realiza considerando todas las plantas del edificio de forma independiente. Sin embargo, el dimensionamiento de los elementos se lleva a cabo tomando como datos los esfuerzos resultantes en la planta más desfavorable de cada grupo.

Aunque el cálculo desarrollado es lineal, se ha aplicado, con posterioridad a la obtención de los esfuerzos, una redistribución de los mismos de un 15% en las vigas y de un 25% en los forjados.

El dimensionamiento de los pilares se ha efectuado de tal forma que siempre se mantiene una cuantía de acero próxima a la máxima permitida por la Instrucción EH-91, modificando la sección de hormigón de los pilares. Este criterio permite optimizar la cuantía de hormigón en éstos

TABLA 4

Planta	Sobrecarga de uso (kp/m ²)	Cargas muertas (kp/m ²)
Cubierta	150	200
Tipo (vivienda)	300	150
Baja (comercial)	350	200
Sótano (garaje)	400	150

TABLA 5

Grupo	Edificio Bajo	Edificio Medio	Edificio Alto
1	Sótano 1	Sótano 2	Sótano 3
2	Baja	Sótano 1	Sótanos 1 y 2
3	Primera	Baja	Baja
4	2ª y 3ª	Primera	Primera
5	4ª y 5ª	2ª, 3ª y 4ª	2ª, 3ª, 4ª y 5ª
6	Cubierta	5ª, 6ª y 7ª	6ª, 7ª, 8ª y 9ª
7	---	8ª, 9ª y 10ª	10ª, 11ª, 12ª y 13ª
8	---	11ª y 12ª	14ª, 15ª, 16ª y 17ª
9	---	Cubierta	18ª, 19ª y 20ª
10	---	---	Cubierta

y reducir su sección al incrementar la resistencia característica.

Por lo que respecta a la deformación, se determina la flecha máxima activa en vigas utilizando el método de la doble integración de curvaturas. Analizando una serie de puntos se obtienen las inercias bruta, homogeneizada y fisurada, así como el giro por hipótesis, calculado a partir de la ley de variación de curvaturas. La limitación establecida para la flecha activa es la indicada en la Instrucción EF-96.

5. PRECIOS UNITARIOS Y CUANTÍAS INICIALES

Para la obtención de la valoración económica de cada una de las combinaciones de las variables planteadas, ha sido preciso determinar unos precios unitarios que, multiplicados por las cuantías de materiales, permitieran conocer las estimaciones económicas.

Los precios unitarios de los materiales considerados (habituales de mercado en septiembre de 1997), son los siguientes:

-Hormigones (a pie de obra):

- H175	6.920 ptas/m ³
- H200	7.240 "
- H250	7.890 "
- H300	8.530 "
- H400	10.300 "
- H500	12.100 "

-Acero en barras corrugadas (material, fabricación de ferralla y montaje):

- AEH400	94 ptas/kg
- AEH500	96 "

Las cuantías estimadas de hormigón en forjados, en función del canto, han sido las siguientes:

Forjado de 24 cm	74 l/m ²
Forjado de 26 cm	79 "
Forjado de 29 cm	87 "

Estos valores, sumados a las cuantías de hormigón y acero en vigas y pilares que arrojan los cálculos efectuados, y multiplicados por los precios unitarios anteriores, permiten obtener las valoraciones económicas por unidad de superficie.

6. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MODELO Y EDIFICIOS CONSTRUIDOS

Tras el cálculo y medición de los 80 edificios clasificados en 9 grupos se han obtenido, tanto para pilares como para

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

vigas, el total de acero y hormigón empleados, así como su cuantía por m². A su vez el acero de pilares se encuentra descompuesto en armadura principal y de estribos, y el de vigas en armadura "de negativos", "de positivos", de montaje, de piel y de estribos, lo que permite ampliar el análisis a aspectos secundarios para el objetivo de la investigación, pero de evidente interés en el proyecto y ejecución de estructuras de hormigón armado.

En el planteamiento del modelo, como ya se ha indicado anteriormente, se han ignorado elementos como patios interiores, huecos para escaleras y ascensores, huecos para paso de conductos de instalaciones y voladizos como terrazas, aleros o marquesinas. Este hecho provoca que los resultados absolutos obtenidos para algunos parámetros puedan no ser extrapolables completamente a los edificios reales. En cualquier caso, sí se pueden generalizar las relaciones establecidas en función del tipo de hormigón o acero, así como extender los resultados en lo que se refiere a valores relativos dentro del mismo grupo de edificios.

Para comprobar la bondad de las tendencias marcadas por los resultados del modelo, se ha realizado un estudio comparativo entre éste y un conjunto de edificios construidos. Se ha tomado un grupo de diez edificios BC9 (bajo, luz corta, canto 29 cm), uno de los más generalizados en el mundo de la construcción en estos últimos años, y se ha realizado una medición del hormigón y del acero en pilares y vigas.

De la comparación de la medición entre el modelo y los edificios construidos se obtienen las siguientes conclusiones:

-Acero en pilares: es del mismo orden en ambos casos.

-Hormigón en pilares: los edificios construidos tienen una cuantía un 60% superior al modelo.

-Acero en vigas: los edificios construidos tienen una cuantía aproximadamente el doble que la del modelo.

-Hormigón en vigas: al igual que el anterior parámetro la cuantía de los edificios construidos es del orden del doble que la del modelo.

La explicación a estas diferencias se encuentra, fundamentalmente, en los siguientes puntos:

-Los pilares, en los proyectos construidos no siempre se calculan con la cuantía máxima, ya que la misma puede llevar a dificultades para un buen hormigonado.

-La existencia de huecos, patios interiores y las cargas lineales y puntuales que ambos generan, a través de brochales, zunchos y otros elementos, eleva notablemente las cuantías de hormigón y acero en vigas.

Las valoraciones económicas que se mostrarán en próximos apartados se refieren al “coste del material (P+V)” (hormigón y acero en pilares y vigas), al “coste del material (P+V+F)” (el anterior más el del hormigón en forjados), y al “coste (material+sup. pilares)” (el segundo más una consideración de la repercusión económica por el incremento de la superficie útil). En los gráficos 1 y 2, 3 y 4, y 5 y 6 se muestran, respectivamente, los resultados obtenidos para los mencionados costes, recogiendo los segundos de cada pareja (indicados con R)

los que arrojan los primeros multiplicando las cuantías anteriores por 1, 1,6, 2 y 2 (relación, respectivamente, entre las cuantías parciales de acero en pilares, hormigón en pilares, acero en vigas y hormigón en vigas, en edificios reales y en el modelo).

Este estudio comparativo permite confirmar que, aunque pueden existir valores absolutos diferentes en el modelo y en los edificios construidos, los valores relativos y las comparaciones que se pueden establecer, así como las

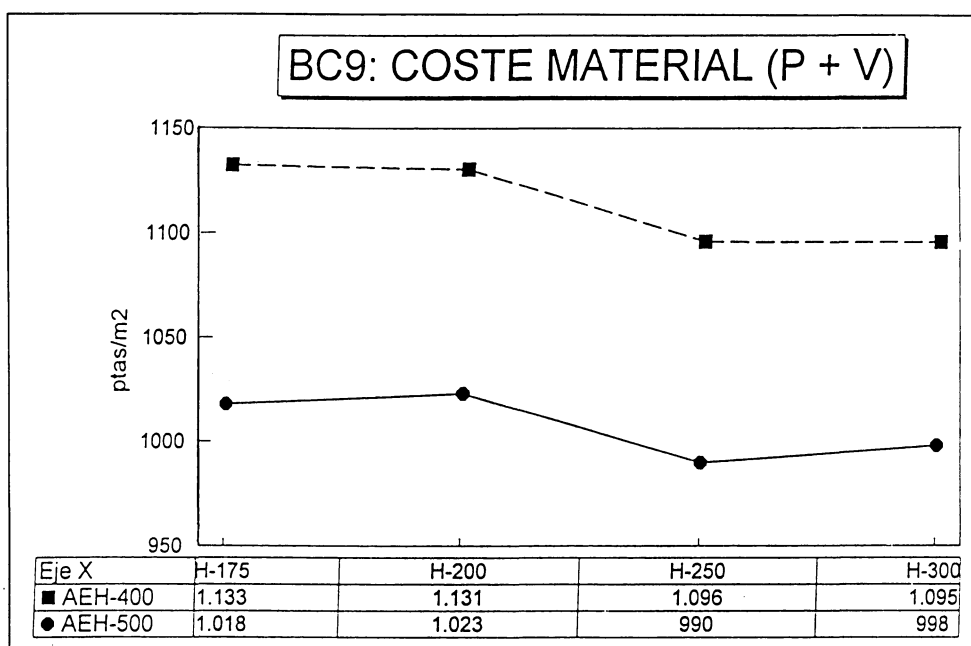


Gráfico 1

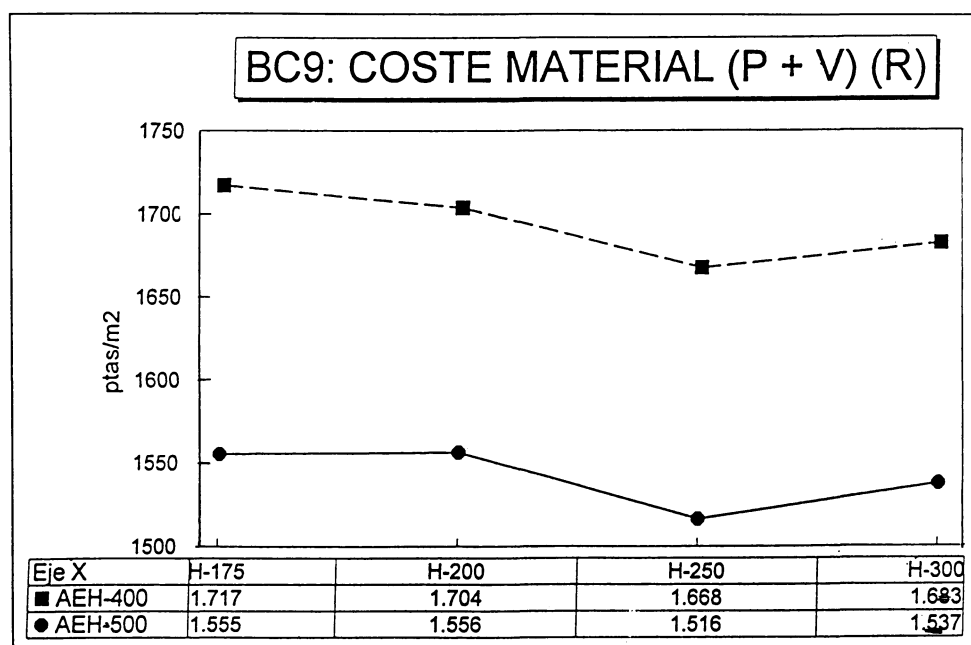


Gráfico 2

tendencias y las conclusiones que de las mismas se pueden obtener son válidas y generalizables para todos los casos.

Se ha realizado un segundo estudio que permite conocer, con criterios de cálculo homogéneos, la influencia que las irregularidades de un edificio con una planta habitual para construcción presenta en los resultados de las cuantías obtenidas.

Para ello, y a partir del mismo edificio tipo, se han creado un patio interior, dos huecos para ascensores, otros dos para escaleras, así como para patinillos de comunicación de instalaciones, se han movido los pilares produciéndose luces contiguas desiguales, tanto para vigas como para forjados, se ha cambiado la dirección de algunos de éstos y se contemplan tres voladizos en cada planta sobre rasante. En la figura 2 se refleja la planta de este modelo, denominado BV9 en la tabla 6, en la que BR9 corresponde

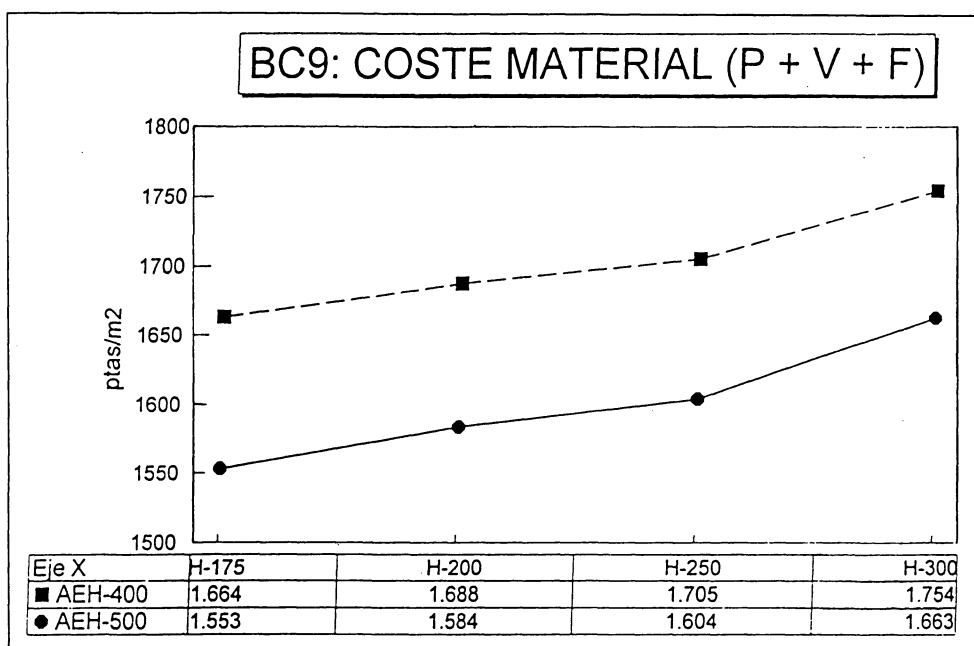


Gráfico 3

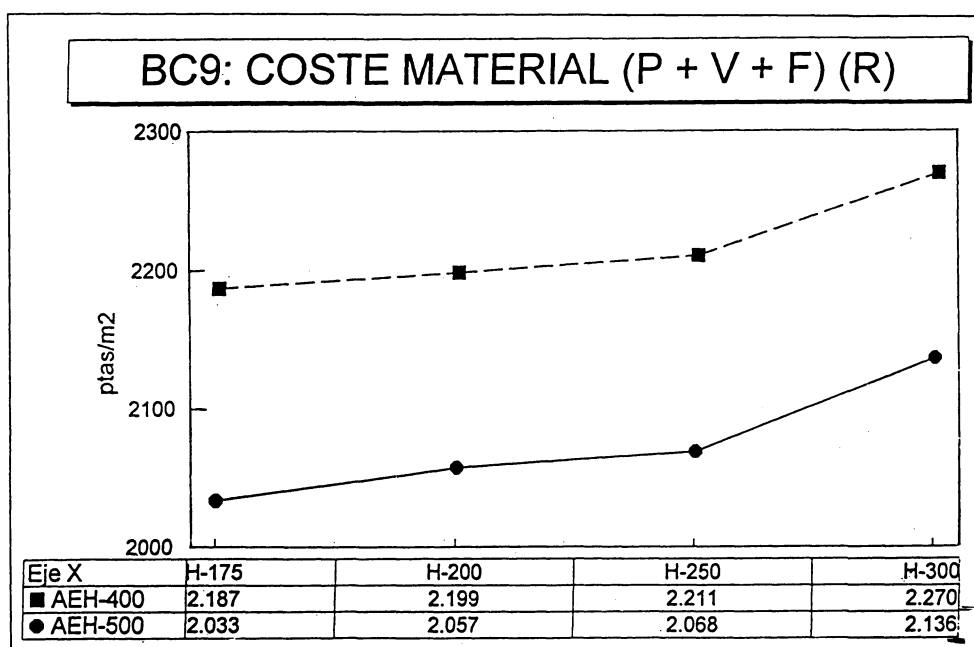


Gráfico 4

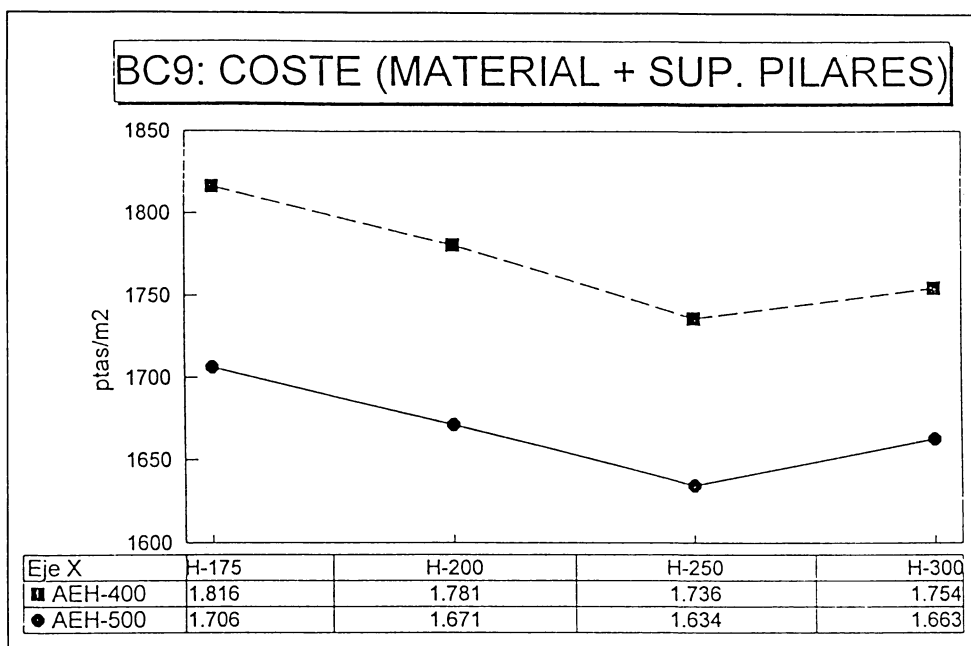


Gráfico 5

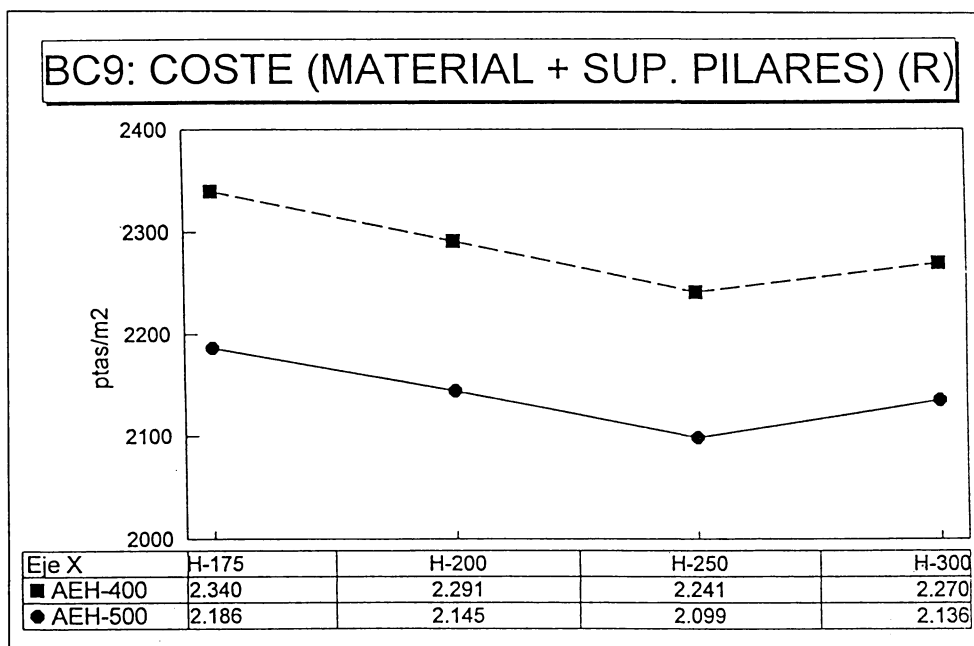


Gráfico 6

a los valores medios de los “edificios reales” y BC9 y BL9 a los resultados de los modelos de la investigación de edificio bajo, canto de forjado de 29 cm y luz corta (5,00 m) y larga (6,00 m), respectivamente. Todos ellos están calculados con hormigón tipo H200 y acero AEH500.

Tras la comparación de los resultados, pueden realizarse las siguientes observaciones:

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

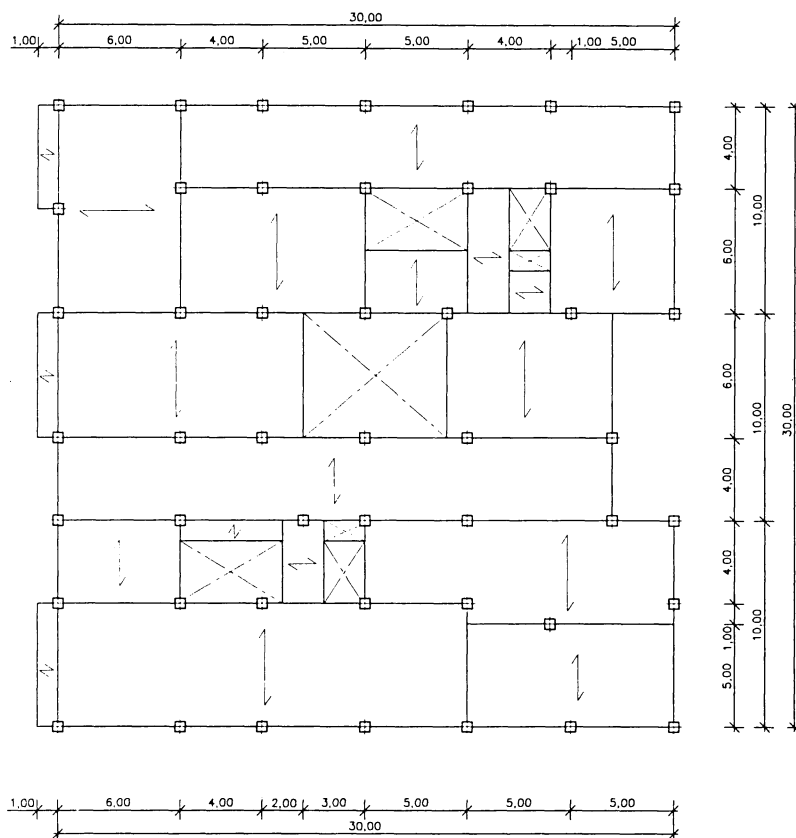
-Respecto al acero en pilares el BV9 arroja una cuantía superior al modelo, como era de esperar e, incluso, a los edificios construidos, lo que es normal teniendo en cuenta que se tiende a una cuantía máxima.

-La cuantía de hormigón en pilares en el BV9 también es superior a la del modelo, pero inferior a los reales, ya que al ajustar la cuantía de acero la necesidad de hormigón disminuye.

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

BV9 (H200/AEH500)

PLANTA TIPO



E: 1/250

Figura 2

TABLA 6

	BC9	BL9	BV9	BR9
PILARES:				
Kg acero / m ² estructura	3,54	3,70	4,25	4,01
Litros hormigón / m ² estructura	14,98	13,96	18,10	25,22
VIGAS:				
Kg acero / m ² estructura	3,91	5,49	6,97	8,33
Litros hormigón / m ² estructura	27,50	34,82	55,50	66,43
TOTAL:				
Kg acero / m ² estructura	7,45	9,18	11,23	12,34
Litros hormigón / m ² estructura	42,48	48,78	73,60	91,65

-En vigas se aprecian unas diferencias mayores respecto al modelo, influyendo decisivamente en este aspecto las "habituales irregularidades" que se presentan en los "edificios reales".

-Las cuantías totales de acero y hormigón en pilares y vigas, suma de los resultados anteriores, siguen la misma

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

tendencia de aproximación desde los resultados del modelo hasta los de los edificios construidos.

De los dos estudios comparativos descritos en este punto se pueden alcanzar las siguientes conclusiones:

-La diferencia de cuantías entre el modelo y los edificios

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

construidos se debe, básicamente, a las irregularidades que estos últimos presentan en la distribución de su planta.

-Teniendo en cuenta que el estudio desarrollado pretende realizar, fundamentalmente, un análisis de tipo comparativo y de variaciones relativas, y nunca absolutas, los resultados que se obtienen con el modelo planteado son perfectamente válidos.

7. ANÁLISIS DEL COSTE POR GRUPOS DE EDIFICIOS

Para cada uno de los nueve grupos de edificios se han obtenido los gráficos correspondientes a tres tipos de costes:

-Coste material ($P + V$): es el resultado de multiplicar las cuantías de hormigón y acero en pilares y vigas obtenidas de la medición de las estructuras calculadas por los precios unitarios facilitados en el apartado "5. Precios unitarios y cuantías iniciales".

-Coste material ($P + V + F$): se obtiene sumando al coste material precedente el producto de la cuantía de hormigón en forjado por el precio unitario del hormigón, ambos recogidos también en dicho apartado.

-Coste (material + sup. pilares): es el resultado de sumar al "coste material ($P + V + F$)" la repercusión económica de la superficie útil generada por la reducción de la ocupada por los pilares al aumentar la resistencia característica del hormigón o reducida al disminuir la misma. Para ello se ha adoptado un valor de 100.000 ptas/m² de superficie útil creada.

De los tres costes, quizá resulte más representativo el segundo. El primero no recoge la repercusión del hormigón del forjado, con igual cuantía con independencia del tipo de hormigón y acero y, por tanto, al ser más elevado el precio unitario de los materiales, más caro cuanto mejores sean las características de los mismos. El tercero tiene en cuenta el valor de una superficie útil que no siempre aprecia el mercado inmobiliario.

Los gráficos 1, 3 y 5 reproducen, respectivamente, cada uno de los costes mencionados para el grupo de edificios BC9 (bajo con 5 plantas tipo sobre rasante, luz corta de 5,00 m entre pilares y canto del forjado de 29 cm). En los mismos se recogen los resultados obtenidos con aceros tipo AEH500 (línea continua) y AEH400 (línea discontinua). Como puede apreciarse en este ejemplo, el coste con el primero es siempre inferior al obtenido con el segundo.

Tener en cuenta el hormigón dispuesto en el forjado se muestra como un aspecto fundamental al comparar los gráficos 1 y 3. En el primero se observa una tendencia

decreciente en el coste material al incrementar la resistencia característica del hormigón. Sin embargo, cuando se considera también la cuantía y el coste unitario del citado hormigón del forjado, la tendencia se invierte. Si se adiciona el efecto del incremento de superficie útil y su valoración (gráfico 5), de nuevo el sentido se hace decreciente hasta el hormigón tipo H-250, a partir del cual vuelve a elevarse el coste.

Al igual que para este grupo de edificios, se han obtenido los tres gráficos para cada uno de los otros ocho. En la publicación de la Tesis doctoral que ha realizado ACHE (Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural), se pueden apreciar los veinticuatro gráficos restantes que, por razones obvias de espacio, no se reproducen en este documento.

8. ANÁLISIS DEL COSTE DEL MATERIAL EN PILARES, VIGAS Y FORJADOS

Por las razones dadas en puntos anteriores, vamos a centrar el análisis, fundamentalmente, en los resultados obtenidos considerando el hormigón dispuesto en forjados.

En el gráfico 7 se muestra el "coste material ($P + V + F$)" para un acero tipo AEH500 (sólo se presentará éste, ya que la tendencia es la misma que con el tipo AEH400, pero con un coste final inferior, como ya se ha indicado en el apartado anterior).

Los resultados recogidos en los gráficos parten de las cuantías obtenidas en el cálculo de los modelos, que es distinta a la de los edificios realmente ejecutados, tal y como se ha mostrado en el punto "6. Análisis comparativo entre el modelo y edificios construidos". Por tanto, los valores absolutos reflejados deben tomarse con las reservas oportunas, encontrándose el mayor interés en las tendencias marcadas y en los valores relativos y la comparación entre los mismos.

Como se puede observar en el gráfico 7, la influencia del tipo de hormigón se hace notable para resistencias características superiores a los 300 kp/cm². En los edificios bajos con luz entre pilares de 5,00 m se aprecia un ligero, pero constante, incremento del coste a medida que aumenta la citada resistencia, siendo mayor para el caso de forjado con canto de 29 cm. En los edificios bajos con luz larga (6,00 m) el coste permanece prácticamente invariable para los distintos tipos de hormigón.

En los edificios medios, con 12 plantas tipo sobre rasante, la variación del coste con hormigones iguales o inferiores al tipo H300 es muy pequeña (reproduciéndose la misma tendencia para los edificios altos), obteniéndose el coste mínimo para un hormigón tipo H250. —

La influencia de la altura del edificio puede analizarse
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

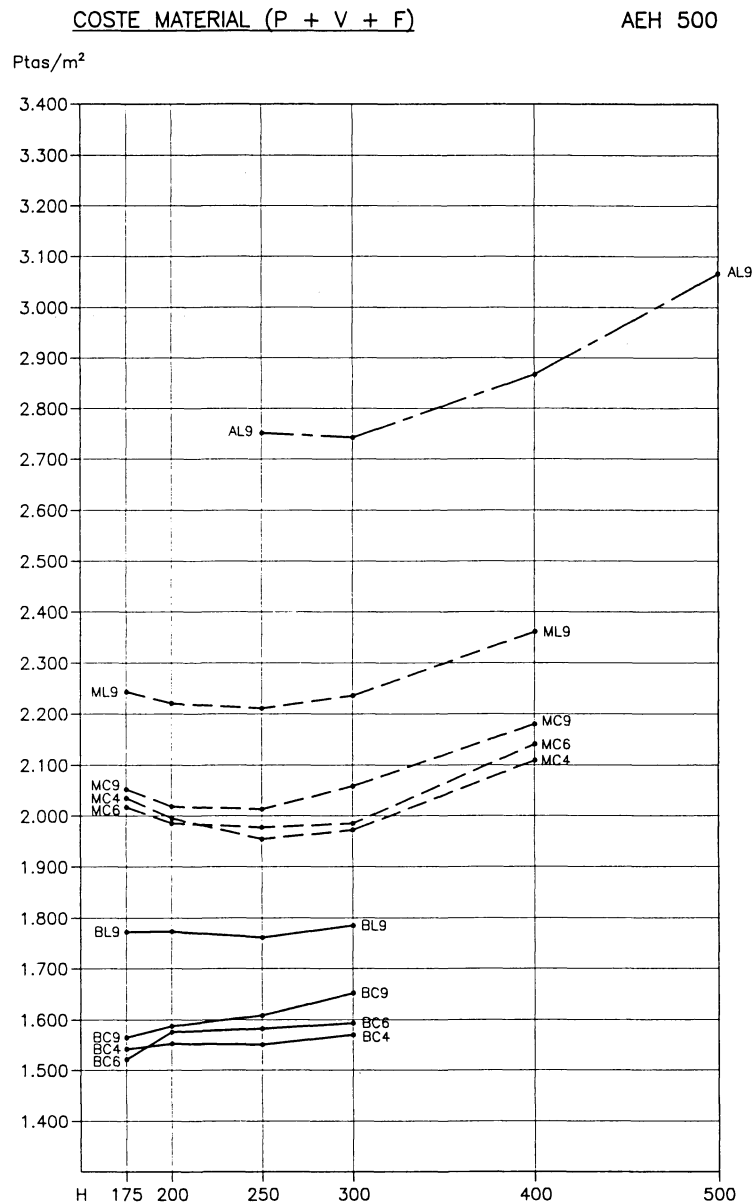


Gráfico 7

comparando los de luz larga entre pilares, canto del forjado 29 cm y hormigones tipo H250 y H300, existentes en los tres tipos. Como puede observarse, al pasar de un edificio bajo a uno medio el incremento del coste es del orden del 20%, mientras que de éste a uno alto es casi del 25%. En este último debe recordarse la existencia de pantallas contra viento.

La distancia entre pilares tiene una influencia que se puede observar tanto en edificios bajos como en los medios. En los primeros, pasar de luz corta (5,00 m) a luz larga (6,00 m) supone un incremento de coste de entre un 10 y un 15%, mientras en los segundos se encuentra entre un 10 y un 12%, una horquilla ligeramente menor, pero del mismo orden.

La influencia del canto del forjado en el coste del hormigón y del acero que constituyen la estructura se

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

aprecia comparando dentro de cada uno de los edificios bajos o medios y con luz corta, los resultados obtenidos para cantos de 24, 26 y 29 cm. En ambos tipos de edificios la variación del coste entre los tres cantos es siempre inferior al 4%, siendo superior el de mayor canto, hecho lógico teniendo en cuenta que para dicha luz corta, el incremento del canto no aporta ventajas apreciables en el dimensionamiento de las vigas y, sin embargo, sí aumenta la cuantía del hormigón en vigas y forjados.

9. ANÁLISIS DE OTROS PARÁMETROS DE COSTE

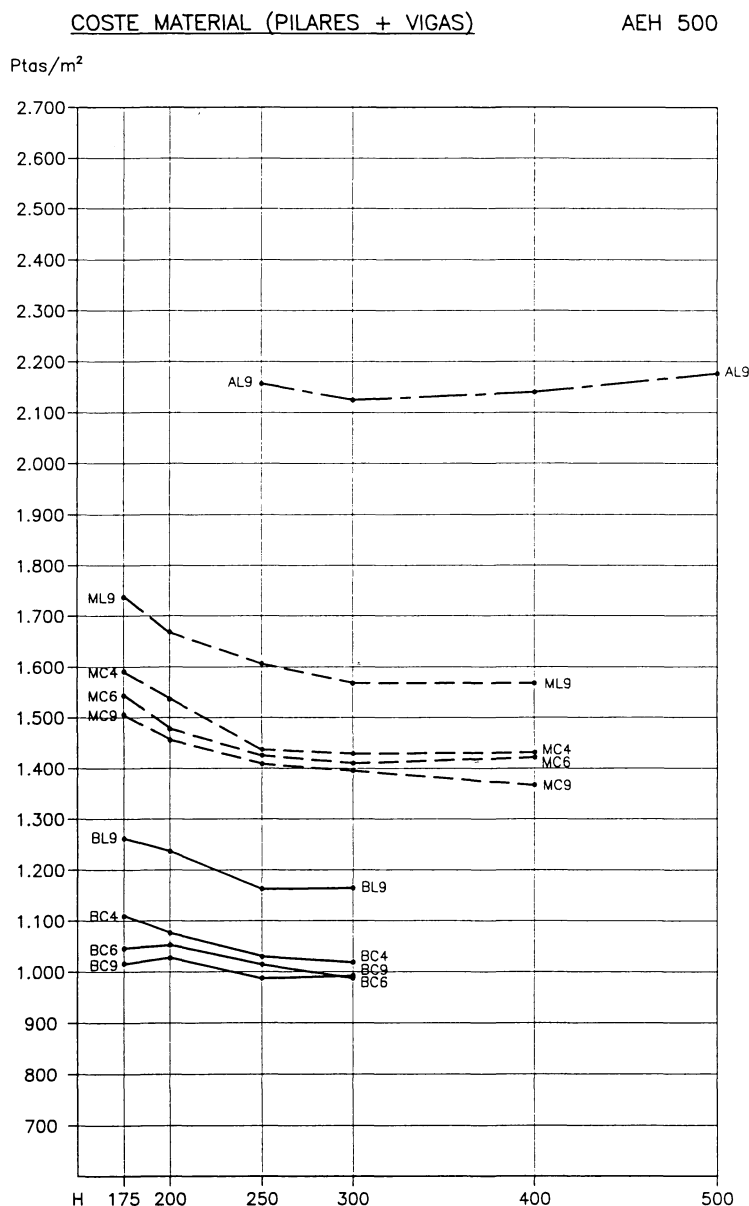
En el punto "7. Análisis del coste por grupos de edificios" se han definido tres tipos de coste. De éstos, en el punto anterior, nos hemos detenido en el segundo, el "coste material (P + V + F)", quedando pendientes de comentario el primero y el tercero.

En general, la influencia de la altura del edificio, de la distancia entre pilares y del canto del forjado es similar a las ya descritas en el mencionado punto anterior. Sin embargo, la influencia del tipo de hormigón sí modifica los resultados, variando la tendencia y los valores mínimos.

En el gráfico 8 se presentan los resultados del “coste material (pilares + vigas)”, en el que no se tiene en cuenta el hormigón dispuesto en el forjado. Aunque este parámetro no sea trascendente en la mayor parte de las estructuras que se ejecutan, con forjado in situ, sí puede tener su interés en el caso de forjado constituido por placas prefabricadas, tipología que permite y recomienda una valoración independiente de los pórticos.

La tendencia general es la de un ligero descenso del coste, tanto en los edificios bajos como en los medios, a medida que se incrementa la resistencia característica del hormigón. En los edificios altos, sin embargo, se obtiene un valor prácticamente constante.

En el gráfico 9 se muestra el “coste (material + sup. pilares)”, en el que se tiene en cuenta el valor de la superficie útil generada por la reducción de la sección de los pilares al mejorar las características mecánicas del hormigón que los constituye. En este caso la tendencia decreciente del coste se incrementa notablemente, sobre todo en los edificios medios, en los que se obtiene un valor mínimo claro con el empleo de un hormigón tipo H300, y entre H300 y H400 para el edificio alto.



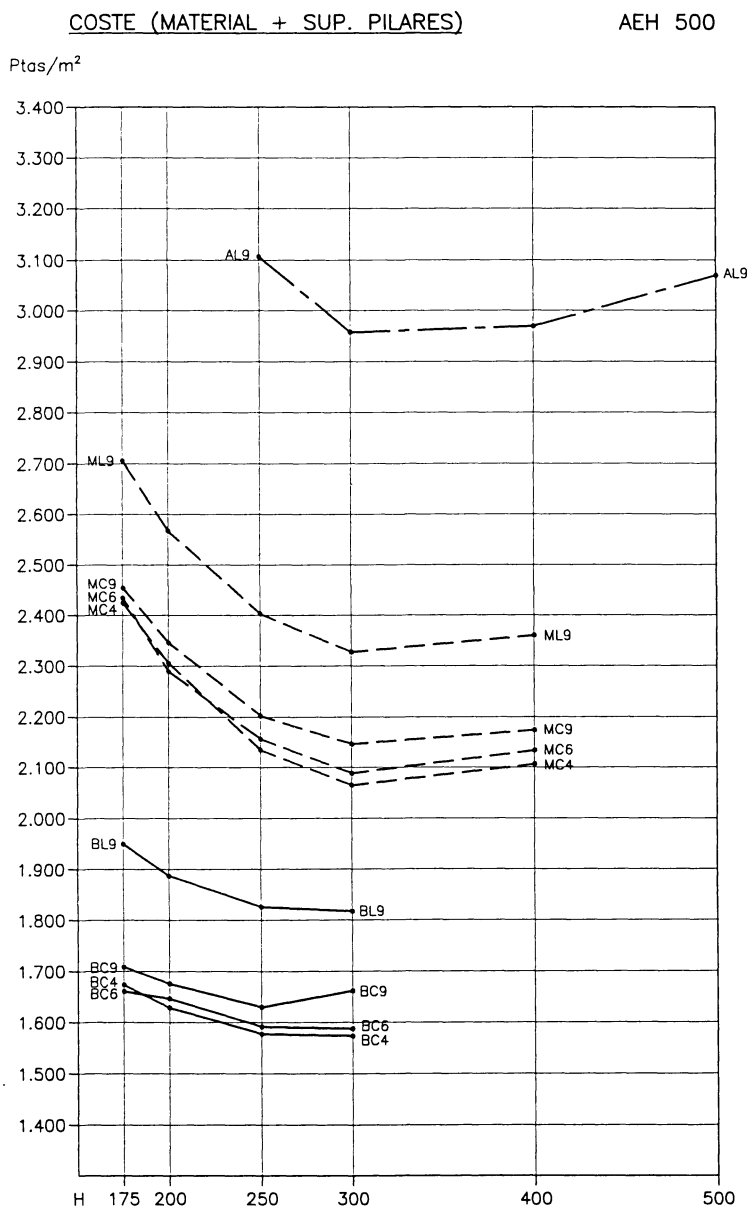
10. ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE OCUPADA POR LOS PILARES

Cuando se plantea una promoción inmobiliaria, ya sea de viviendas, de oficinas o de uso industrial, en muy escasas oportunidades se estudia la superficie que ocupan los pilares y, menos aún, se persigue de forma activa su posible reducción para generar mayor superficie útil en el edificio.

Sin embargo, sobre todo en los edificios que tienen como uso principal o exclusivo la vivienda, ésta sí resulta ser sujeto pasivo y víctima en ocasiones de un incremento imprevisto de la superficie ocupada por los pilares. Cuando se proyecta una vivienda son numerosos los casos

en que se predimensionan, desde el punto de vista arquitectónico, secciones de pilares de 30x30 cm en todas las plantas tipo sobre rasante y 40x40 cm bajo la misma, en las plantas sótano. Cuando se realiza con posterioridad el cálculo de los mencionados pilares, las secciones son sensiblemente superiores, sobre todo, en las plantas inferiores.

Otro hecho que se produce en ocasiones es el predimensionamiento de pilares de edificios medios y altos (siguiendo las definiciones del presente estudio) con los criterios conocidos en los edificios bajos, asignando a los de 10 ó 12 plantas tipo las mismas secciones de pilares que a los que tienen 4 ó 5 plantas sobre rasante.



Con los resultados que se facilitan en este trabajo se permite obtener la variación de la superficie ocupada por los pilares cuando se modifica la resistencia característica del hormigón en un mismo grupo de edificios, así como para un mismo tipo de hormigón qué variación existe en la superficie que ocupan los pilares al modificar la altura, la distancia entre los mismos o el canto del forjado.

Con los resultados obtenidos para cada uno de los nueve grupos de edificios se han obtenido unos gráficos de los que el 10 del presente documento puede ser un ejemplo representativo. En el mismo se refleja la superficie ocupada por los pilares en función del tipo de hormigón y de acero empleados en el grupo de edificios bajos, con luz corta (5,00 m) y con canto de forjado 29 cm (BC9). Como puede observarse, el tipo de acero prácticamente no tiene influencia en el parámetro estudiado. Sin embargo, el de hormigón es fundamental, indicándose en el citado gráfico 10 la mencionada superficie ocupada por los pilares con cada uno de ellos. Se puede apreciar el notable descenso producido con el incremento de las características mecánicas del hormigón. Los otros 8 gráficos, correspondientes a sendos grupos de edificios pueden consultarse en la bibliografía que figura al final del artículo o en la publicación de ACHE referida en el punto "7. Análisis del coste por grupos de edificios".

En la tabla 7 se recoge la superficie, expresada en metros cuadrados (m^2), ocupada por los pilares en el total del edificio en función del grupo al que pertenezca éste y del tipo de hormigón empleado. Entre cada dos columnas con

resultados para los correspondientes tipos de hormigón, se encuentra una tercera con el incremento (porcentual) de superficie producido entre ellas.

Puesto que el análisis pormenorizado de todas las combinaciones resultaría excesivamente extenso, vamos a revisar dos de ellas a modo de ejemplo. Tomando la columna correspondiente a hormigón del tipo H250 se puede observar que la diferencia entre los tres grupos de edificios bajos con luz corta (BC) es prácticamente nula, reduciéndose en un 7% al pasar a un edificio de la misma altura, pero con luz larga (6,00 m) entre pilares.

Entre los edificios medios tampoco existe una diferencia sensible entre los tres grupos con luz corta (5,00 m), produciéndose una disminución del 5% al pasar a otro de luz larga y con el mismo canto (29 cm). El grupo de edificios altos no admite una comparación de este tipo, ya que se ha calculado para una única luz y canto de forjado.

Siguiendo el segundo criterio, tomamos de la misma tabla 7 la fila correspondiente al grupo MC6 (edificios de 12 plantas tipo sobre rasante y 3 plantas sótano, luz de 5,00 m entre pilares y canto del forjado de 26 cm). En función del tipo de hormigón empleado se obtienen unas superficies ocupadas por los pilares muy distintas. Así, con hormigón tipo H400 la superficie sería de 81,3 m^2 , pasando a 94,9 m^2 (con un incremento del 17%) si se emplea el tipo H300. Si se utiliza hormigón H250 se incrementa la superficie en un 14% respecto al anterior.

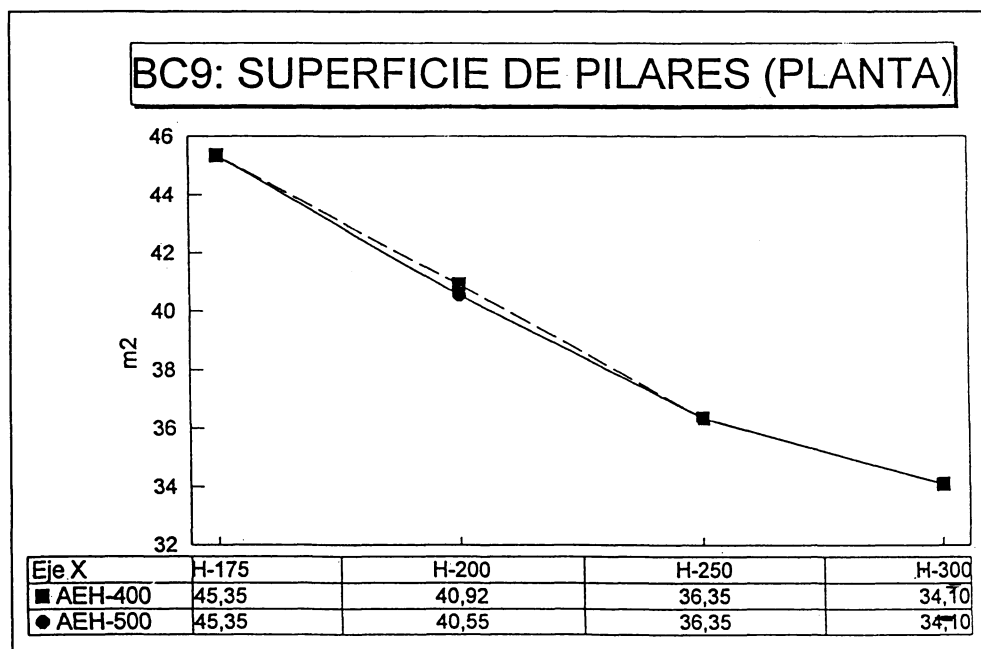


TABLA 7
SUPERFICIE OCUPADA POR PILARES (PLANTA) (m²)

	H175	Δ	H200	Δ	H250	Δ	H300	Δ	H400	Δ	H500
AL9					321,0	11	289,3	13	256,1	8	237,8
ML9	142,2	11	128,2	23	104,0	16	90,0	22	73,8		
MC9	143,4	11	129,7	18	109,7	16	94,9	16	82,1		
MC6	142,6	13	126,3	16	108,6	14	94,9	17	81,3		
MC4	140,0	10	127,1	18	107,8	14	94,6	17	81,0		
BL9	42,8	13	38,0	12	33,9	15	29,6				
BC9	45,4	12	40,6	12	36,4	7	34,1				
BC6	45,7	13	40,6	12	36,4	5	34,6				
BC4	45,0	12	40,2	9	36,9	7	34,4				

TABLA 8
SUPERFICIE RELATIVA OCUPADA POR PILARES
 (cm²/m² de estructura)

	H175	H200	H250	H300	H400	H500
AL			138,5	124,8	110,5	102,6
ML	95,9	86,4	70,1	60,7	49,8	
MC	95,7	86,1	73,3	63,9	54,9	
BL	57,7	51,2	45,7	39,9		
BC	61,2	54,6	49,4	46,3		

En el estudio de este grupo de edificios MC6 quizá sea lo más significativo, por la tendencia al uso del hormigón tipo H175 con la Instrucción EH-91 y la exigencia del uso de hormigón H250 (H25 con el Sistema Internacional) con la nueva Instrucción EHE, la comparación entre las superficies obtenidas con ambos. Éstas son de 142,6 y 108,6 m², respectivamente, para los hormigones tipo H175 y H250, lo que supone una reducción de 34 m² en valores absolutos y de un 31% en valores relativos.

Sin embargo, los resultados de la mencionada tabla 7 no permiten un estudio comparativo completo. Facilita la (c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
 Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

superficie total ocupada en cada grupo de edificios, pero impide la comparación entre los de distintas alturas, que resultan ser sensiblemente diferentes. Para evitar este problema se ha obtenido la tabla 8, en la que se muestra la superficie relativa ocupada por pilares en centímetros cuadrados (cm²) de éstos por cada metro cuadrado (m²) de estructura. De esta forma, además de los estudios planteados sobre la anterior tabla, se puede establecer una comparación entre un grupo de edificios calculado con un tipo de hormigón y otro grupo diferente con otro hormigón distinto, lo que puede tener una aplicación evidente e inmediata.

A modo de ejemplo, si nuestro campo de proyecto habitual se centra en edificios de 5 plantas tipo sobre rasante y luz aproximada de 5,00 m (BC) con un hormigón tipo H175, la superficie relativa será de 61,2 cm²/m². Si hemos de proyectar un edificio de 12 plantas tipo sobre rasante y luz de 6,00 m entre pilares (ML), para obtener una superficie relativa ocupada por los pilares similar a la anterior hemos de emplear hormigón tipo H300 (60,7 cm²/m²). De otro modo, si mantenemos el mismo tipo de hormigón H175, sabremos que la superficie ocupada esperable es de 95,9 cm²/m², un 57% superior, lo que significa un condicionante importante en la distribución arquitectónica del edificio.

Con la nueva Instrucción EHE se produce una limitación en la aplicación de estas tablas. Sin embargo, pueden seguir considerándose válidas como referencia de predimensionamiento para el empleo de hormigones del tipo H25 (denominación EHE) y superiores, así como para el proyecto con otras normas que permitan el uso de hormigones de características mecánicas inferiores.

11. CONCLUSIONES

Tras el análisis desarrollado en los puntos anteriores sobre los diferentes tipos de coste (centrándonos en éste en el "coste material (P + V + F)") y la superficie ocupada por los pilares, tanto absoluta como relativa, deben subrayarse las siguientes conclusiones:

-Las habituales singularidades geométricas de la estructura (huecos, zunchos, voladizos, apeos, vanos contiguos desiguales, etc.) elevan de forma muy significativa las cuantías de los materiales, especialmente de acero y hormigón en vigas, pudiendo llegar (en el modelo estudiado) a valores que duplican los que se presentan sin las mismas. Esta circunstancia hace que se incrementen en la misma medida los costes del material empleado.

-La variación del coste para los distintos grupos de edificios en función del tipo de hormigón, y para cada altura, luz y canto de forjado, es prácticamente despreciable para los de una resistencia característica no superior a

300 kp/cm², al canzando los valores mínimos para los edificios bajo, medio y alto, con hormigones del tipo H175, H250 y H300, respectivamente.

-El empleo de acero tipo AEH500 supone una reducción del coste entre un 6 y un 10% respecto al obtenido con el AEH400.

-El incremento de altura del edificio supone un aumento del coste por unidad de superficie de un 20 y un 25%, respectivamente, al pasar de bajo a medio, y de éste a alto.

-Pasar de una distancia genérica entre pilares corta (5,00 m) a una larga (6,00 m) supone un incremento en el coste, en función del tipo de edificio, de entre un 10 y un 15%.

-La variación del canto para un grupo de edificios de una misma altura y luz corta (5,00 m) supone variaciones del coste inferiores al 4%, siendo más elevado el de mayor espesor de forjado.

-La estimación económica de la superficie útil generada por la reducción de superficie ocupada por los pilares al incrementar la resistencia característica del hormigón, modifica la tendencia de coste mínimo para cada grupo de edificios, desviándola hacia un tipo de hormigón más elevado.

-La superficie relativa ocupada por pilares se incrementa en un 50% al pasar de edificios bajos a medios, y en un 100% al pasar de éstos a los edificios altos (proyectados con pantallas frente a acciones horizontales).

-El tipo de acero empleado y el canto del forjado adoptado tienen una influencia despreciable en la variación de la superficie ocupada por los pilares.

-El incremento de la distancia entre pilares de un 20%, desde una luz corta (5,00 m) a una luz larga (6,00 m), supone una reducción de la superficie ocupada por los pilares de un 7 y de un 5% para edificios bajos y medios, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) CALAVERA RUIZ, J.: 1984; "Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado para edificios".
- (2) GÓMEZ HERMOSO, J.: 1998; "Análisis técnico-económico de la influencia que presenta el empleo de diferentes materiales y tipologías estructurales en el proyecto de estructuras de edificios", Tesis doctoral (Director J. Fernández Gómez), Universidad Politécnica de Madrid.
- (3) GÓMEZ HERMOSO, J. y FERNÁNDEZ GÓMEZ, J.: 1999; "Influencia del tipo de hormigón y acero en las cuantías de materiales obtenidas en el proyecto de estructuras de edificios de hormigón armado con forjado unidireccional". Hormigón y Acero, Nº 213.
- (4) MINISTERIO DE FOMENTO: 1988; "Norma básica de la edificación NBE-AE/88 Acciones en la edificación".
- (5) MINISTERIO DE FOMENTO: 1996; "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, EF-96".
- (6) MOPTMA: 1991; "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado, EH-91".
- (7) MOPTMA: 1994; "Propuesta para mejorar la calidad del hormigón".