

# Los requisitos del Código Técnico de la Edificación. Eficiencia energética e incremento de la sostenibilidad. Aplicación a los edificios de hormigón.

**José Antonio Tenorio Ríos.** *Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.*

*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC.*

**Luis Vega Catalán.** *Arquitecto.*

*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC.*

**José Turmo Coderque.** *Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.*

*Universidad de Castilla-La Mancha.*

**Manuel Burón Maestro.** *Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.*

*Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).*

**Arturo Alarcón Barrio.** *Ingeniero Industrial.*

*Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).*

**Fernando Martín-Consuegra Ávila.** *Arquitecto.*

*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC.*

**Alfonso Burón García.** *Arquitecto.*

*Pecsa Gestión Inmobiliaria, S.A.*

**Renata D'Andrea.** *Ingeniero Civil.*

*Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).*

*El texto compara una estructura tradicional de pórticos de hormigón armado para un edificio de tipo convencional, con otra, para el mismo edificio, en la que los elementos de cerramiento, tanto en fachadas como en la división entre las viviendas son pantallas de hormigón estructural que, además de ser elementos verticales resistentes en la estructura, tienen el espesor adecuado para cumplir las exigencias de aislamiento acústico del Código Técnico de la Edificación y para proporcionar al edificio una elevada inercia térmica que, de un modo pasivo, mejora la eficiencia energética ahorrando, a los usuarios de las viviendas, consumo de energía tanto para la calefacción como para el aire acondicionado.*

## 1. Aspectos generales

El Código Técnico de la Edificación incluye requisitos para incrementar la calidad y la sostenibilidad de los edificios, a la vez que alienta la innovación en la construcción de los mismos. En este trabajo se consideran aquellos que, de manera relevante, están re-

lacionados con las condiciones acústicas, el ahorro energético y la seguridad frente al fuego, ya que inciden en el incremento de la sostenibilidad e impulsan la innovación, tanto en los materiales como en el modo de emplearlos, para construir edificios más confortables, más seguros, más económicos para el usuario que gastará menos energía durante la vida útil del edificio, más competitivos y más sostenibles para el conjunto de la sociedad.

La innovación de los materiales que tradicionalmente empleamos en la construcción de edificios está produciéndose intensa y satisfactoriamente. Los avances producidos en materiales cerámicos, plásticos, metálicos, piedra, madera y conglomerados en base cemento, ofrecen diferentes soluciones que dan diversas respuestas satisfactorias a los requisitos citados.

Analizar las posibilidades de cumplir dichos requisitos con un determinado material que se incorpora, mediante una determinada manera de construir, a un edificio concreto es un ejercicio muy interesante del que se obtienen conclusiones muy útiles para optimizar las soluciones proyectadas y construidas correctamente. También permite abordar el análisis del ciclo de vida del edificio con datos precisos que permitan reflexionar sobre los parámetros que tienen mayor incidencia en el incremento de sostenibilidad que el binomio "material-tipología constructiva" es capaz de ofrecer.

Esta reflexión permite avanzar en el conocimiento preciso de aquellos aspectos que tienen relación directa con la sostenibilidad y de aquellos que, probablemente por contemplar parcialmente el proceso de evaluación de la sostenibilidad, configuran ciertas recomendaciones que pretenden orientar el incremento de la sostenibilidad con "recetas" tan apresuradas como erróneas.

Es errónea la relación "construcción ligera igual a construcción más sostenible". También es errónea la relación "construcción que emplea materiales o productos obtenidos con procesos exentos de emisiones de CO<sub>2</sub> igual a construcción más sostenible". Salvo que ambas sean establecidas después de realizar el análisis del ciclo de vida correspondiente.

Estos errores están motivados porque se pretende evitar, con definiciones "a priori", el análisis del ciclo de vida completo, que es la única herramienta capaz de establecer una valoración fiable de la sostenibilidad. También están motivados por el empeño en olvidar que la determinación de la sostenibilidad incluye consideraciones medioambientales y energéticas, sociales y económicas, donde los aspectos relacionados con la seguridad, la durabilidad, la resistencia frente al fuego, el aislamiento acústico, la capacidad de resistir actos vandálicos o acciones accidentales provocadas por la propia naturaleza (sismos, etc.), los gastos de conservación y mantenimiento y los gastos en que incurre el usuario para habitar en el edificio confortablemente, comprometen los recursos que el usuario destina, a lo largo de toda la vida útil del edificio, al hacer uso del mismo, y por tanto tienen importancia en la determinación de la sostenibilidad de una solución concreta de entre las diversas alternativas posibles de construir el edificio y para constatar que la solución elegida para construirlo es más sostenible que las demás soluciones posibles.

Los requisitos de eficiencia energética incluidos en el Código Técnico de la Edificación y las herramientas que proporciona dicho Código para establecer si una determinada solución los cumple, permiten valorar cuantitativamente el consumo energético que afecta al usuario a lo largo de la vida de uso, vida útil, del edificio.

Dicha cuantificación permite observar que el consumo energético necesario para la producción de materiales y el proceso de construcción propiamente dicho es, generalmente, muy inferior al que realiza el usuario, tanto más cuanto menor sea la eficiencia energética del propio edificio.

Una vez valorado el consumo energético, también es posible realizar un balance energético y, en consecuencia, de emisiones de CO<sub>2</sub>, empleando la equivalencia dada por el conjunto de fuentes de energía que cubren el consumo nacional y determinan la equivalencia entre "kwh" y "emisión de CO<sub>2</sub>", a lo largo de todo el periodo en que, necesariamente, se debe analizar la sostenibilidad de la construcción, es decir desde la obtención de la materia prima hasta el reciclaje de los residuos de la demolición del edificio, o bien de su transporte a vertedero y posterior acondicionamiento de éste, después de que dicho edificio, ya obsoleto, haya concluido su vida útil iniciada con la puesta de la construcción al servicio del usuario.

Este periodo engloba todas las fases del hecho constructivo, desde el principio hasta el final, y en él resulta decisivo el periodo correspondiente a la vida útil o de servicio (al servicio del usuario) que, ahora, con las herramientas disponibles, puede ser evaluado y por lo tanto es posible realizar un balance energético, o en emisiones de CO<sub>2</sub>, en términos de sostenibilidad.

Por todo ello, consideramos que es de gran interés realizar el trabajo que, a modo de ejemplo hemos efectuado en una construcción que emplea el hormigón en las diversas soluciones posibles, originadas por la combinación de materiales idóneos y tecnologías de construcción adecuadas que el proyectista considere oportunas para satisfacer las expectativas de la propiedad o del promotor del edificio.

Como la sostenibilidad es un concepto relativo (una solución es más o menos sostenible que otra para construir el mismo edificio) hemos estudiado la solución que emplea hormigón y la hemos comparado con la solución que, a nuestro juicio, se puede considerar la "solución tradicional" en la medida que representa a aquella que con más frecuencia se construye en España, o se ha construido en España, hasta que la implantación del Código Técnico de la Edificación y de la Directiva de Ahorro Energético requieran mejores prestaciones del edificio construido y, en consecuencia, de las soluciones adoptadas para su construcción.

Este proceso de mejorar las prestaciones del edificio incumbe a todas las soluciones posibles y todas podrán calibrar su capacidad de mejorar comparándose con aquella a la que denominamos solución tradicional.

Dicha capacidad de mejorar, claramente orientada a favor del usuario y de la sociedad, permitirá construir edificios más competitivos, de mayor calidad y más sostenibles.

El impacto, en el momento actual, de mejorar las prestaciones del edificio construido con la "solución tradicional" está, en mayor o menor medida, abierto a todas las soluciones posibles y mide la capacidad del conjunto de la construcción española de avanzar, hoy, en el camino de ofrecer a la sociedad, en conjunto e individualmente, usuario a usuario, edificios más sostenibles que los hasta ahora construidos y, en términos generales, una construcción también más sostenible y con capacidad de innovación para abordar un periodo en que el incremento de sostenibilidad sea un objetivo continuo que conforme, de modo permanente, los procesos de toma de decisiones en el ámbito de la construcción.

## 2. Bases de partida

El hormigón es el material por excelencia utilizado en la ejecución de estructuras en España, la tradición en su uso es indiscutible visto como material estructural. Sin embargo, por su comportamiento ante el fuego, durabilidad, baja permeabilidad al agua y por otras características como son su masa y su calor específico, puede proporcionar interesantes prestaciones en relación con la inercia térmica y el confort acústico que son fácilmente aprovechables en edificación.

En Europa el 42% del consumo de energía y el 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero son debidas a los edificios. La revisión de la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios estima ahorrar entre 160 y 210 MtCO<sub>2</sub>/año, esto supone el 4-5% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020. Por otra parte, el grupo de trabajo de la Sustainable Buildings and Construction Initiative del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) estima que el consumo de energía en los edificios puede reducirse de un 30 a un 50% sin incrementar significativamente los costes de inversión.

Según diversos autores, en una vida de servicio de 60 años el 87-90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a un edificio lo son en

su fase de uso, mientras que el 8-10% lo son debido a los materiales, y el 2-3% es emitido durante la fase de construcción.

El ahorro de consumo de energía en edificios y por tanto de sus emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, depende de millones de decisiones individuales que pueden responder a una señal de concienciación individual o de construir edificios intrínsecamente ahorradores de energía que aprovechen todas las potencialidades de los materiales y sistemas constructivos para que el ahorro se produzca desde el primer día, como expresión de una concienciación colectiva o social, asumida por todos los usuarios.

En este trabajo se trata de presentar una reflexión sobre una nueva manera de hacer uso de materiales, por todos conocidos, más allá del meramente estructural. Se trata de mostrar el modo en el que estas nuevas exigencias pueden conllevar oportunidades en el diseño de las estructuras para aprovechar todo su potencial, particularmente en lo que se refiere a la posibilidad de obtener ahorros de energía.

Para ello se parte de un ejemplo y de la comparación de dos edificios, uno convencional y otro innovador en su concepto. El primero se basa en una estructura tradicional de pórticos de hormigón armado y fachada de ladrillo con aislamiento por el interior. El segundo será el mismo edificio en cuanto a forma y tamaño pero en él la envolvente del edificio y las particiones interiores son pantallas de hormigón. Las pantallas además de la función estructural proporcionan el aislamiento acústico y dotarán al edificio de una mayor inercia térmica con lo que se demostrará que se obtienen, en función de la zona climática, ahorros relevantes de energía en climatización y por tanto de sus emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

### 3. Nuevos requisitos

El Código Técnico de la Edificación se define en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación como el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones, de tal forma que permita el cumplimiento de los requisitos básicos fijados en la misma Ley.

Los requisitos básicos, agrupados en la LOE en tres apartados, son los siguientes:

Relativos a la funcionalidad:

- Utilización.
- Accesibilidad.
- Acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información.

Relativos a la seguridad:

- Seguridad estructural.
- Seguridad en caso de incendio.
- Seguridad de utilización.

Relativos a la habitabilidad:

- Higiene, salud y protección del medio ambiente.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.
- Otros aspectos funcionales.

La nueva reglamentación se basa en el concepto de las prestaciones, una prestación determinada hace que, fijado un nivel reglamentario, los elementos y sistemas del edificio den una respuesta, en cuanto a aptitud al uso, suficiente para alcanzar dicho nivel. El Código Técnico de la Edificación aumenta los niveles de calidad que deben proporcionar los edificios y que deben ser satisfechos mediante el diseño que aproveche al máximo las prestaciones de los sistemas constructivos.

Es necesario señalar que el CTE tiene presente al hormigón por los requisitos citados, complementarios a los estructurales, que serían: la seguridad ante incendio, la salubridad, la protección frente al ruido y también el ahorro de energía. Además, el documento básico (DB) del CTE referente a las estructuras de hormigón es la Instrucción EHE, actualmente la Instrucción EHE-08.

En especial el incremento de las exigencias de la nueva reglamentación acústica y térmica va a tener una mayor incidencia en el uso de los materiales y en la forma de construir los edificios; adoptándose nuevas soluciones. En este sentido, el cambio normativo puede incidir, de forma importante, en la utilización de soluciones másicas como son el hormigón u otros materiales.

En cuanto a los requisitos relacionados con la térmica edificatoria, éstos nacen de la preocupación medioambiental asociada a la energía empleada en los edificios y tiene como finalidad limitar las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética. En este sentido, la Unión Europea aprobó la Directiva 93/76/CEE y posteriormente la 2002/91/CE en la que obliga a los Estados Miembro a fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y para grandes edificios existentes que se reformen. El fomento de la eficiencia energética constituye una parte importante del conjunto de políticas y medidas necesarias para el cumplimiento de los compromisos del Protocolo de Kyoto.

Los requisitos de la Directiva de Eficiencia Energética se han traspuesto a través de reglamentos: Código Técnico de la Edificación, la Certificación Energética de los Edificios y el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE). El nuevo Documento Básico DB-HE de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE) tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello, cuando así se determina, fuentes de energía renovable.

La nueva normativa de aislamiento térmico de la edificación, a diferencia de la norma básica derogada, contempla la inercia térmica de los elementos constructivos del edificio.

En efecto, el CTE a través del DB HE1 establece una doble metodología, una opción simplificada y otra general, cuyo cumplimiento satisface la exigencia básica de limitación de demanda energética. La opción simplificada se basa en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de sus cerramientos. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límite permitidos. En esta opción no se tiene en cuenta la inercia térmica de los materiales y elementos constructivos. Sin embargo la opción general evalúa la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define el propio método. Esto se realiza a través de un programa informático, Limitación de la Demanda Energética (LIDER), en el cual se está trabajando para la incorporación de sistemas de aprovechamiento solar pasivo. El modelo utilizado en la opción general sí tiene en cuenta la inercia térmica.

Del mismo modo que en térmica, se deben considerar las exigencias en cuanto a protección frente al ruido. Las exigencias vienen derivadas no sólo de la Ley de Ordenación de la Edificación, sino de la Ley del Ruido; ambas tienen como objeto evitar que el ruido ponga en peligro la salud de las personas y que, además, no les impida realizar satisfactoriamente sus actividades.

La norma vigente es el Código Técnico de la Edificación (CTE) que sustituye a la Norma Básica NBE-CA-88 regulando las condiciones acústicas en el interior de la edificación. El Documento básico DB HR-Protección frente al ruido, dentro del CTE, fija las exigencias de aislamiento que tienen como objetivo limitar la transmisión de ruido aéreo y de impactos entre recintos colindantes, tanto verticalmente como horizontalmente. Estas exigencias son verificables in situ y suponen un aumento importante de los niveles de aislamiento requeridos. En este sentido, igual que puede aprovecharse el hormigón como elemento másico desde el punto de vista de la energía, como material con gran inercia térmica, se debe pensar en esta propiedad desde el punto de vista de la protección frente al ruido como aislamiento acústico, sobre todo a ruido aéreo interior producido por usuarios del edificio, y el que proviene del exterior al edificio.

La prestación de aislamiento acústico está directamente relacionada con la masa del elemento que la proporciona. La densidad del hormigón y los espesores con los que habitualmente se coloca en obra, ofrecen un buen aislamiento acústico.

En edificios en los que existan unidades de uso diferenciados (por ejemplo: edificios de viviendas, oficinas, etc.), el nivel de aislamiento acústico a ruido aéreo entre el recinto protegido (una vivienda) y cualquier otro, excluidos los recintos de instalaciones o de actividad, exige, según el DB HR, que el índice "R<sub>A</sub>" global de reducción acústica (ponderado A) de los elementos que proporcionan aislamiento frente al ruido aéreo sea de 51 (dBA) o mayor. Este valor cubre tanto el aislamiento acústico a ruido aéreo generado en el interior del propio edificio ( $D_{n,T,A} = 50$  dBA, según apartado 2.1.1 del DB HR) como al ruido aéreo procedente del exterior, incluyendo el uso en el que el ruido exterior dominante sea el de aeronaves ( $D_{2m,nT,dir} = 47 + 4 = 51$  dBA, según tabla 2.1 del DB HR).

En el mismo tipo de edificios, se exige que los elementos que conforman las separaciones horizontales entre recintos correspondientes a diferentes unidades de uso (suelos y techos) proporcionen un aislamiento acústico, frente al ruido de impactos, determinado por un nivel global de presión de impactos igual a 65 (dB) o menor.

## 4. Edificio objeto del estudio

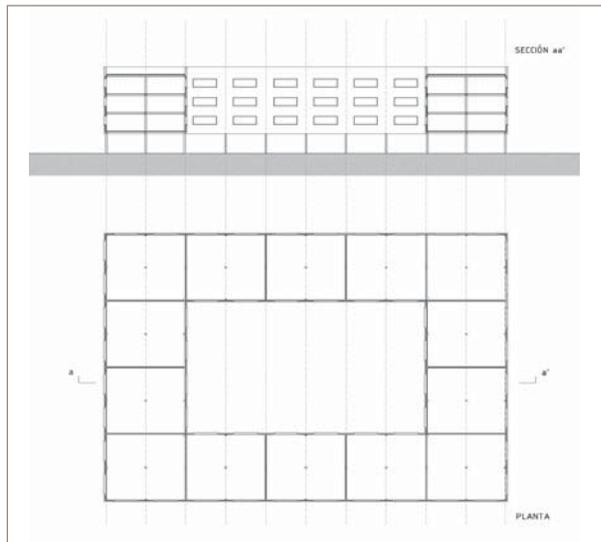
El edificio objeto es un bloque de viviendas en manzana cerrada. Los datos en cuanto a energía que se muestran se han obtenido de un trabajo de investigación del análisis de la inercia térmica para varias tipologías de edificios realizado por la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja para IECA. En concreto se estudiaron tres modelos y tipos de edificios de viviendas, unifamiliar y plurifamiliar; adosada y en altura. Los módulos de estudio eran de 100 m<sup>2</sup>, por vivienda, tanto unifamiliar como adosada y en altura.

Los resultados obtenidos fueron mejores en cuanto a ahorro de energía para las viviendas unifamiliares y adosadas. El edificio considerado, en el caso de edificación en altura, tampoco es óptimo en cuanto al diseño desde el punto de vista energético (el edificio se da sombra a sí mismo). Se trataba de obtener un orden de magnitud del posible ahorro en un conjunto discreto y reducido de escenarios de cálculo, aunque suficiente para la obtención de conclusiones.

Los modelos se diseñan sin ningún tipo de mejora bioclimática. Se trata de plantear soluciones neutras, que se asemejen a los edificios existentes en el momento actual. El edificio es neutro en su orientación. Como se ha mencionado no se ha optimizado el diseño, no se han tenido en cuenta soluciones bioclimáticas ni protecciones solares para el verano. No se ha previsto disponer de sistemas de protección tales como parasoles o persianas. Se trata de comparar las prestaciones de tipo pasivo que las diferentes soluciones ofrecen en sí mismas, por la mera consideración de su estructura y su contorno o piel (fachadas y partición medianera entre viviendas).

La tipología elegida es de manzana cerrada. Comprende aquellos sectores de la ciudad coincidentes en su mayor parte con los ensanches y extensiones del casco histórico producidos en el primer tercio del siglo XX y que, sin modificar su estructura original, se encuentran en pleno proceso de densificación urbana por aumento de las alturas y los volúmenes edificables. La edificación se dispone alineada a vial, entre medianerías, configurando manzanas cerradas, de tipos muy diferentes según el parcelario de origen y las condiciones de ocupación internas. A partir de la década de los noventa este tipo edificatorio se ha vuelto a construir de forma recurrente para viviendas. Esta vez se está abordando la construcción de las manzanas en su totalidad como grandes inversiones de promociones inmobiliarias. Se trata de edificaciones exentas configuradas en torno a un espacio verde central, a menudo con dotaciones deportivas y de ocio en su interior. Este es el tipo de edificio objeto del estudio.

■ **Figura 1. Planta del edificio.**



Desde el punto de vista de la energía se caracteriza por tener cuatro fachadas exteriores, con acceso al viario público y cuatro fachadas al patio de manzana. Cada vivienda tiene una fachada a la calle y otra al interior, excepto las de las esquinas que no acceden al patio pero tiene dos fachadas al exterior. El porcentaje de huecos es también del 30% en todas sus fachadas.

Para considerar los efectos de la inercia térmica las prestaciones de los cerramientos se eligen de forma que se cumpla, más o menos estrictamente, el CTE DB HE. Se trata de que la composición sea lo más real posible y sus sistemas constructivos se adapten a las tecnologías más utilizadas en la actualidad.

Para la comparación de este edificio con uno convencional se han tomado dos modelos para cada tipo de edificio, el Módulo 1, de soluciones constructivas convencionales (aislamiento térmico por el interior de las cámaras del edificio) y el Módulo 2 con una solución constructiva que aprovecha la inercia térmica de los cerramientos de hormigón (situando el aislante térmico en la parte exterior de la envolvente térmica del edificio). Ambos modelos tendrán los mismos valores de transmitancia térmica (U) en cada uno de los cerramientos que conforman su envolvente térmica. El estudio compara los resultados de eficacia energética de cada tipo de edificio en combinación con cada solución de envolvente térmica.

El Módulo 2 reduce las pérdidas energéticas. Colocando el aislamiento al exterior del cerramiento se da mejor respuesta al problema de los puentes térmicos además del ahorro producido por la inercia térmica.

Con el objetivo de determinar el ahorro energético producido exclusivamente por el aprovechamiento de la masa térmica del edificio, se ha optado por incluir un tercer modelo de envolvente térmica que correspondería a la solución convencional (Módulo 1) mejorada para resolver sus puentes térmicos con

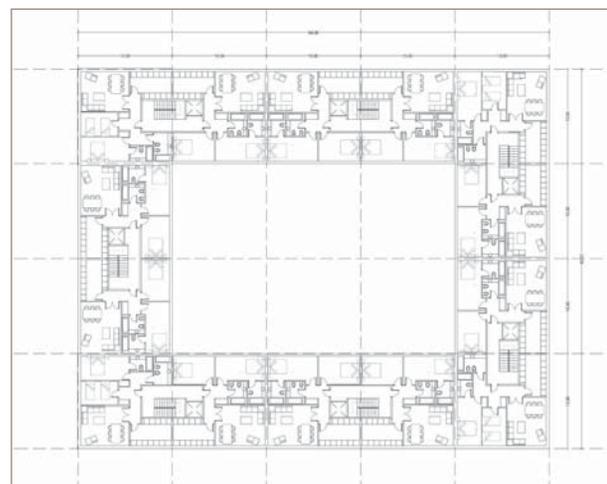
los mismos valores que nos da la solución constructiva correspondiente al Módulo 2. Esta solución (Módulo 1\_2) se considera únicamente como modelo teórico por la inviabilidad de resolver determinados puentes térmicos mediante cerramientos con el aislante situado al interior.

No se trata de realizar un estudio estadístico, ni de proponer disposiciones optimizadas. Las soluciones se comprueban a efectos térmicos desde el punto de vista de su demanda energética, mediante la herramienta LIDER (programa homologado por el Código Técnico de la Edificación).

Para la consideración de las prestaciones de protección frente al ruido se ha dispuesto, en el Módulo 2, un conjunto de pantallas de hormigón que a la vez de servir de elementos estructurales están dispuestas de forma que constituyen los elementos de separación entre las distintas viviendas del edificio y la propia fachada del edificio. Igualmente que en el caso de energía no se trata de hacer un estudio de optimización de la distribución en planta del edificio y de la distribución de pantallas, sino un ejemplo de diseño haciendo uso de pantallas estructurales como, además, elementos de protección frente al ruido, dada su capacidad de aislamiento acústico.

La distribución en planta del edificio se considera racional sobre la base de las premisas anteriores. La distribución se muestra en la Figura 2.

■ **Figura 2. Distribución en planta.**



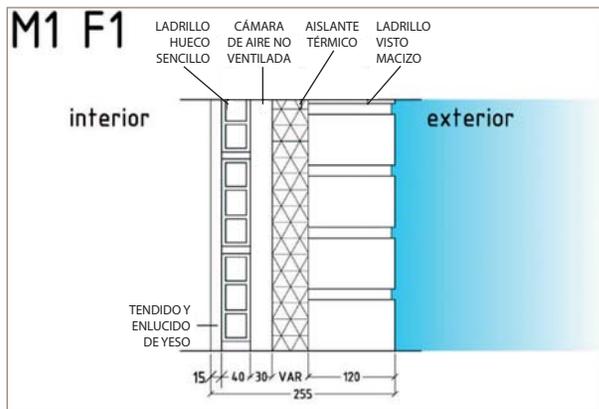
## 5. Soluciones constructivas consideradas

Los cerramientos se toman de forma que, con las soluciones elegidas, se cumpla el CTE en las zonas climáticas consideradas.

### Módulo 1. Solución constructiva convencional

Como componentes de la envolvente térmica del edificio se han elegido ejemplos representativos por su amplia utilización. Estos son la fachada de ladrillo visto, la cubierta plana transitable y el forjado sanitario.

■ **Figura 3. Solución constructiva.**



### 5.1.1 Fachada M1. Aislamiento por el interior

La composición es la siguiente:

1. Medio pie de ladrillo a cara vista 11,50 cm.
2. Aislante térmico: conductividad  $\lambda=0,050$  W/mK variable según zona climática.
3. Cámara de aire vertical no ventilada 2,00 cm.
4. Trasdoso de ladrillo hueco sencillo 4,00 cm.
5. Enlucido de yeso 1,50 cm. El orden de los elementos se presenta de arriba abajo y de exterior a interior.

El aislante térmico considerado es el mínimo para cada zona climática de forma que se cumpla el CTE.

Los tipos de huecos se han elegido de manera que cumplan con las exigencias del DB-HE1 particularizado para cada zona climática. Se han empleado los mismos tipos de hueco para las dos soluciones constructivas M1 y M2. La única diferencia entre los tipos de marco y vidrio empleado viene dada por las exigencias de la zona climática analizada.

Para el presente estudio se utilizarán tan sólo huecos verticales convencionales en fachada (ventanas), evitando los lucernarios en cubierta y cualquier tipo de acristalamiento especial, con el objeto de agilizar el modelizado y los cálculos.

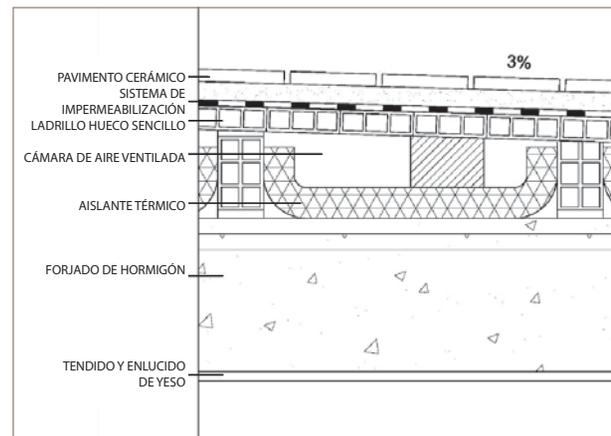
### 5.1.2 Cubierta M1. Cubierta ventilada fría

La solución convencional para la cubierta se ha caracterizado mediante la cubierta catalana, transitable, fría y ventilada, con el aislamiento térmico situado sobre el forjado en el interior de la cámara.

La composición es la siguiente:

1. Plaqueta o baldosa cerámica 3,00 cm.
2. Arena 2,00 cm.
3. Tablero de rasilla 4,00 cm.
4. Cámara de aire ventilada 10,00 cm.
5. Aislante térmico. Conductividad ( $\lambda=0,042$  W/mK) variable.
6. Forjado unidireccional, entrevigado cerámico 25,00 cm.
7. Enlucido de yeso 1,50 cm.

■ **Figura 4. Solución constructiva.**



### 5.1.3 Suelo en contacto con el exterior M1

El edificio se ha considerado separado del terreno para crear una cámara sanitaria que evite humedades. A efectos de cálculo se ha considerado el forjado sanitario como un cerramiento exterior y se ha aislado como tal, con las condiciones para los cerramientos exteriores siguiendo las indicaciones del DB-HE1.

La composición es la siguiente:

1. Acabado en aplacado cerámico 2,00 cm.
2. Mortero de cemento y arena 3,00 cm.
3. Arena 3,00 cm.
4. Aislante térmico ( $\lambda=0,031$  W/mK) variable.
5. Forjado unidireccional con entrevigado cerámico 25,00 cm.

### 5.1.4 Particiones interiores. M1

Las particiones interiores para la solución convencional elegidas son, por su alta difusión en España, el tabicón de ladrillo hueco doble (partición vertical) y el forjado unidireccional de bovedillas cerámicas (partición horizontal).

### 5.1.5 Forjados. Particiones Horizontales M1

La composición es la siguiente:

1. Aplacado cerámico 2,00 cm.
2. Mortero de cemento y arena 3,00 cm.
3. Forjado unidireccional, entrevigado cerámico 25,00 cm.
4. Enlucido de yeso 1,50 cm.

### 5.1.6 Particiones verticales M1

La composición es la siguiente:

1. Enlucido de yeso 1,50 cm.
2. Tabicón de ladrillo hueco doble 8,00 cm.
3. Enlucido de yeso 1,50 cm.

## Módulo 2. Soluciones constructivas para cerramientos de alta inercia térmica

Igualmente los cerramientos se toman de forma que con las soluciones se cumpla el CTE en las zonas climáticas consideradas. La transmitancia térmica total se igualará a la obtenida en los cerramientos convencionales, calculando el aislamiento que para ello precisa cada solución constructiva.

### 5.2.1 Fachada M2. Muro de hormigón con el aislamiento por el exterior

La fachada tendrá el aislamiento por el exterior para dejar en el interior la masa de hormigón del muro. Se tendrá en cuenta esta solución constructiva a la hora de calcular los puentes térmicos, entendiendo que se aíslan los cantos de forjados y pilares por el exterior. El aislante térmico considerado es el mínimo para cada zona climática de forma que se cumpla el CTE.

La composición es la siguiente:

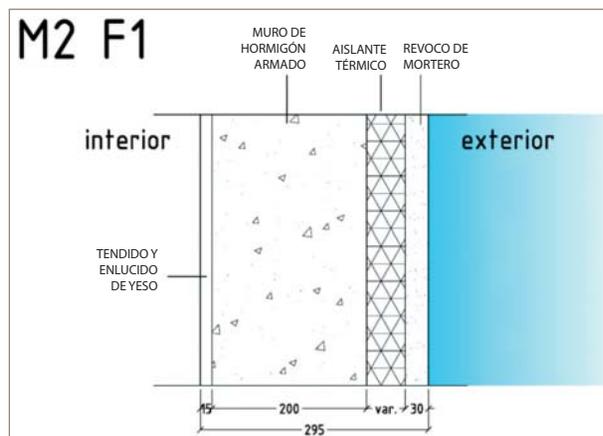
1. Enfoscado de cemento o cal 3,00 cm.
2. Aislante térmico: conductividad ( $\lambda=0,050$  W/mK) Variable s/zona climática.
3. Hormigón 20,00 cm.
4. Enlucido de yeso 1,50 cm, este elemento protector del aislamiento térmico se ha dispuesto de manera que no tenga efecto alguno en los cálculos realizados. En la realidad se puede disponer cualquier acabado arquitectónico.

### 5.2.2 Cubierta M2. Cubierta plana caliente

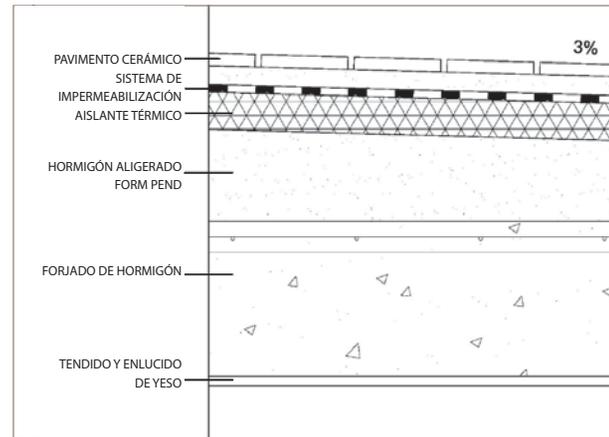
La composición es la siguiente:

1. Baldosa de hormigón 2,00 cm.
2. Mortero de cemento y arena 3,00 cm.
3. Lámina antipunzonamiento.
4. Lámina impermeabilizante.
5. Aislante térmico. Conductividad ( $\lambda=0,042$  W/mk) variable.
6. Forjado de hormigón macizo sin entrevigado 25,00cm.
7. Enlucido de yeso 1,50 cm. El aislante según zona climática.

■ Figura 5. Solución constructiva.



■ Figura 6. Solución constructiva.



### 5.2.3 Suelo en contacto con el exterior M2. Alta inercia térmica

A efectos de cálculo se ha considerado el forjado sanitario como un cerramiento en contacto con el exterior. En este caso se ha supuesto el aislamiento térmico por debajo del forjado, para incluir la inercia en el interior. Se han considerado los forjados como losas macizas.

La composición es la siguiente:

1. Acabado en aplacado cerámico 2,00 cm.
2. Mortero de cemento y arena 3,00 cm.
3. Arena 3,00 cm.
4. Forjado de hormigón macizo sin entrevigado 25,00 cm.
5. Aislante térmico ( $\lambda=0,042$  W/mK). Variable s/zona climática.

### 5.2.4 Particiones interiores. M2. Forjados. Particiones Horizontales M2

La composición es la siguiente:

1. Aplacado cerámico 2,00 cm.
2. Arena 3,00 cm.
3. Forjado de hormigón macizo, sin entrevigado, 25,00 cm.
4. Enlucido de yeso 1,50 cm.

Particiones verticales M2

La composición es la siguiente:

1. Enlucido de yeso 1,50 cm.
2. Panel de hormigón macizo 12,00 cm.
3. Enlucido de yeso 1,50 cm.

## 6. Estudio de las prestaciones

El potencial de aplicación de este estudio hace referencia a la idea de que una de las formas de conseguir un ahorro de energía en los edificios, sin disminuir los niveles de confort térmico exigidos por los individuos que los ocupan, es considerar la

energía solar pasiva en los edificios. La denominada arquitectura bioclimática, pretende lograr edificios con un consumo menor de energía convencional manteniendo las condiciones requeridas.

Para ello, deben considerarse unas estrategias de diseño que aprovechen de forma óptima las condiciones ambientales del entorno, como por ejemplo la acumulación térmica a través de cerramientos opacos. La captación solar se realiza a través de un elemento que actúa como acumulador de calor. Desde este elemento, el calor es cedido al espacio interior en forma de radiación y convección, por lo que se genera, debido a la inercia térmica del elemento, un retardo de la transmisión y un amortiguamiento en la oscilación de temperaturas. Los cerramientos son un elemento importante dentro de la arquitectura bioclimática debido a su actuación como colector. Sus funciones en este sentido son:

- Captación de radiación solar.
- Acumulación y desfase de la energía térmica.
- Transferencia del calor al interior de las viviendas.

Uniendo ambas capacidades, piénsese además que la capacidad de acumulación de calor de los elementos edificatorios es mayor en las particiones interiores (tanto verticales como horizontales) que en los cerramientos, es posible que se pueda optimizar la configuración de los elementos de hormigón para cumplir todas las funciones.

La captación solar se realiza a través de los huecos y de los propios cerramientos opacos que actuarán como acumulador de calor. Desde los elementos de hormigón el calor es cedido al espacio interior en forma de radiación y convección, por lo que se genera, debido a la inercia térmica de estos, un retardo de la transmisión y un amortiguamiento en la oscilación de temperaturas.

■ **Tabla 1. Resultados obtenidos.**

Zona climática	MÓDULO 1 (convencional)		MÓDULO 2 (alta inercia)		Reducción calefacción %	Reducción refrigeración %
	Calef. kWh/m <sup>2</sup>	Refrig. kWh/m <sup>2</sup>	Calef. kWh/m <sup>2</sup>	Refrig. kWh/m <sup>2</sup>		
a3_Las Palmas	0,00	10,88	0,00	9,05	-	16,76
b4_Alicante	16,43	16,55	12,82	14,06	21,97	15,02
c4_Cáceres	39,97	19,94	34,96	16,42	12,52	17,62
d3_Madrid	54,39	10,80	46,47	9,08	14,56	15,92
e1_Burgos	94,22	0,00	84,99	0,00	10,85	-

■ **Tabla 2. Resultados obtenidos.**

Zona climática	Módulo 1_2 (convencional sin PT)		Módulo 2 (alta inercia)		Reducción calefacción %	Reducción refrigeración %
	Calef. kWh/m <sup>2</sup>	Refrig. kWh/m <sup>2</sup>	Calef. kWh/m <sup>2</sup>	Refrig. kWh/m <sup>2</sup>		
a3_Las Palmas	0,00	10,72	0,00	9,05	-	15,55
b4_Alicante	13,58	16,06	12,81	14,06	5,66	12,49
c4_Cáceres	35,28	19,24	34,96	16,42	0,91	14,66
d3_Madrid	48,87	10,47	46,47	9,08	4,91	13,35
e1_Burgos	87,04	0,00	84,99	0,00	2,42	-

Un ciclo inverso al descrito se produce cuando la temperatura de los elementos que acumulan calor es inferior a la del ambiente, lo que ocurre, durante el verano, por la noche cuando se ventila el edificio. Disminuyendo, así, la demanda de energía de refrigeración.

Con una buena inercia térmica la temperatura interior del local se acerca a la temperatura media diaria, la cual muchas veces está dentro de la banda de confort térmico.

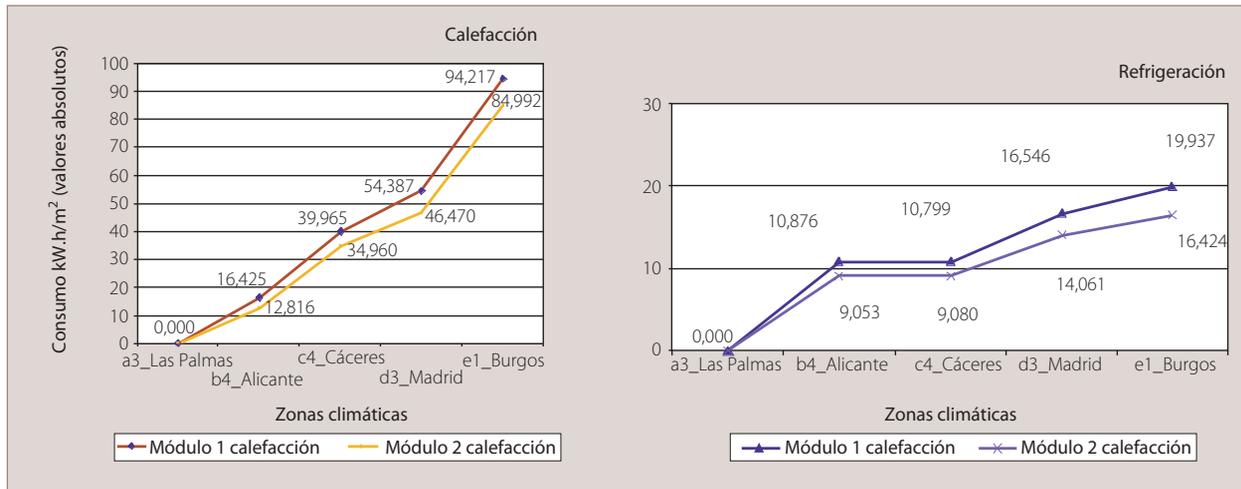
Los resultados del análisis energético se recogen en el apartado siguiente.

En cuanto a la composición de particiones verticales y horizontales es, en principio y para el detalle de cálculo considerado, suficiente para el cumplimiento del DB HR en cuanto a ruido aéreo, llegando a proporcionar valores de RA superiores a 52 dBA (correspondiente a una masa de 300 kg/m<sup>2</sup>) y 65 dBA respectivamente. Para cumplir las exigencias en cuanto a ruido de impacto también pueden considerarse válidas, disponiendo sobre el forjado un suelo flotante de mortero de cemento sobre fibra mineral ignífuga, antes de disponer el pavimento de acabado que corresponda. Con ello se consigue un nivel global de presión de impactos igual o menor a 65 dB, salvo que un análisis más profundo permita evitar dicho suelo flotante. La colaboración del mismo en el cálculo térmico no ha sido considerada.

## 7. Análisis de resultados

A continuación se reflejan los datos obtenidos de los cálculos de demanda anual de calefacción y refrigeración, en kWh/m<sup>2</sup> valores absolutos y en porcentaje de ahorro, en relación con la solución tradicional.

■ **Figura 7. Resultados obtenidos (kWh/m<sup>2</sup>).**



Estos resultados corresponden a la solución de construcción convencional (Módulo 1) contrastada con la solución de alta inercia térmica (Módulo 2) teniendo en cuenta las distintas soluciones de puente térmico que se dan en cada una de ellas. De cada zona climática se deduce un porcentaje de ahorro en calefacción y otro en refrigeración.

Los resultados se exponen también en gráficas para poder comparar la eficacia de la inercia térmica por zonas climáticas y su influencia en las demandas de calefacción y refrigeración. Se comprueba también su influencia en los distintos tipos de edificio, si bien, aquí, todos los resultados expuestos se refieren al edificio bloque de viviendas en altura.

Para considerar la repercusión de los puentes térmicos se repite el cálculo suponiendo una solución teórica o ideal, coincidente con la solución tradicional pero sin contabilizarlos. Los resultados se recogen en la Tabla 2 y expresan la influencia, exclusivamente, de la diferencia de la inercia térmica de las soluciones comparadas.

La solución de hormigón (Módulo 2) evita los puentes térmicos porque, en ella, la continuidad del hormigón en la estructura-fachada exterior permite dar continuidad al aislamiento térmico. Es decir, el modo de construir con hormigón facilita la supresión de los puentes térmicos. La comparación entre los resultados obtenidos, indicados en la Tabla 1, y los correspondientes a la aportación del incremento de la inercia térmica, indicados en la Tabla 2, evidencia la importancia de utilizar un modo de construir, tal como el correspondiente a la solución de hormigón (Módulo 2), que evite los puentes térmicos.

## 8. Conclusiones del cálculo térmico

Antes de establecer conclusiones sobre los resultados se debe indicar que los fenómenos asociados a problemas de calefacción y refrigeración de locales y elementos constructivos de partición interior (forjados, tabiques...) están relacionados con la variación de los flujos de calor desde el interior del recinto hacia las superficies perimetrales del mismo. De esta forma, en

un paramento multicapa, la capacidad acumuladora de calor de la capa más próxima al ambiente interno es, además de la potencia de instalación, la que determinará la duración del tiempo de calentamiento que ha de transcurrir hasta que el aire interno alcance el nivel térmico deseado. Este calor acumulado en los cerramientos es radiado al interior en el momento en que la temperatura del interior desciende (en la noche). Para poder sacar provecho a este fenómeno es necesario que la fuente que suministra calor sea la radiación solar y que el aislamiento esté situado por el exterior de la envolvente térmica del edificio, aprovechando al máximo la masa térmica del cerramiento para esta acumulación de calor.

Para la demanda de calefacción, del análisis de los datos se desprende que el ahorro en calefacción en porcentaje es mayor en las zonas cálidas que en las frías, pero observando los valores absolutos el ahorro neto es mayor en las zonas frías. La interpretación sería que la inercia térmica nos está ayudando, en las zonas más cálidas, a reducir la demanda de calefacción de forma importante y creciente con la severidad climática de verano de la zona analizada, acercándose en la zona A4 (donde la demanda de calefacción es muy baja) al 30 % de la energía necesaria para calefacción. A nivel económico el ahorro total en valores absolutos va a ser mayor en las zonas frías, donde la demanda de calefacción crece. Sin embargo este ahorro repercute menos en el porcentaje total por representar una parte menor del consumo.

Para la demanda de refrigeración, el ahorro debido a la masa térmica, tanto en porcentaje como en términos absolutos es superior en refrigeración que en calefacción. El porcentaje de ahorro en refrigeración es mayor cuanto menor es la severidad climática de verano, exceptuando las zonas 1, que no suelen tener demanda de aire acondicionado. La inercia térmica nos está dando un mayor ahorro absoluto cuanto mayor es la severidad climática de verano.

Ahorro total: demanda de calefacción y refrigeración. Sumando los valores absolutos de las demandas de refrigeración y calefacción obtenemos un indicador de la demanda total del edificio a lo largo del año para cada una de las dos soluciones constructivas a comparar. A partir de estos datos se obtiene el ahorro que

está suponiendo la utilización de la inercia térmica a lo largo del año en valores absolutos y en porcentajes de ahorro. De esta forma podemos definir qué zonas climáticas pueden ser, según la simulación del programa LIDER, más adecuadas para utilizar la inercia térmica como estrategia de reducción de la demanda energética en los edificios.

Ahorro en términos absolutos: las zonas con mayor reducción de la demanda serían la e1 (la zona de máxima severidad climática de invierno), seguidas de la d2 y la c2 (zonas templadas de la península, cuya severidad climática de invierno no se acerca a los límites y cuya severidad climática de verano es baja). Porcentajes de ahorro: son las zonas cálidas las que ven disminuida en mayor porcentaje su demanda energética debido a que su consumo es principalmente de refrigeración.

En el edificio propuesto, los cerramientos convencionales (Módulo 1), que cumplen estrictamente con las exigencias del CTE no son suficientes para cumplir con la limitación de la demanda. La razón de este fenómeno puede estar en la obstrucción solar que esta forma urbana provoca sobre sí misma. Se ha continuado con los cálculos a pesar de este inconveniente, comprobándose que la solución de alta inercia térmica (Módulo 2), para los mismos valores de transmitancia térmica en todos los cerramientos, sí resulta válida y estaría dentro de los límites permitidos por el DB HE 1. La utilización de la solución de alta inercia térmica está ayudando a cumplir con las exigencias básicas. Para un mejor aprovechamiento en las condiciones de calefacción es conveniente que los edificios no impidan la captación solar de los colindantes, lo que, en general, es difícil de conseguir. En la realidad, soluciones con elevada inercia térmica (tanto por el material empleado como por el modo de construir evitando puentes térmicos) como la solución de hormigón (Módulo 2) son más robustas para propiciar ahorros energéticos, adaptándose mejor a las condiciones urbanísticas.

El resumen del cálculo realizado es que, considerando todas las situaciones climáticas que, según el Código Técnico de la Edificación, se dan en España, el ahorro medio de energía de calefacción y refrigeración que la solución de hormigón estudiada (Módulo 2) produce sobre el consumo correspondiente a la solución tradicional (Módulo 1) es de un 16%.

## 9. Estructura y cerramientos de hormigón con carácter estructural

Por otra parte, el trabajo realizado incluye el cálculo estructural del edificio. En el caso del "Módulo 1. Solución constructiva convencional" la estructura se materializa mediante pórticos (pilares y vigas planas) convencionales de hormigón armado y forjado de vigueta y bovedilla. En el caso del "Módulo 2. Soluciones constructivas para cerramientos de alta inercia térmica" la estructura está formada por pantallas de hormigón armado en las particiones interiores entre viviendas y en las fachadas, así como por la losa, de canto constante, de hormigón estructural que constituye el forjado y un pilar situado para partir la luz entre pantallas. Las pantallas de fachada contienen todos y cada

uno de los huecos dispuestos en la solución convencional, en la misma posición y con igual dimensión. La solución de pantallas ofrece una capacidad de compartimentación en caso de incendio que no ofrece la solución convencional de pórticos, ofreciendo mayor seguridad frente al fuego.

Siguiendo las pautas expuestas, se configura un modo de aprovechar globalmente todas las prestaciones del hormigón, estructurales, de durabilidad, de compartimentación y resistencia al fuego y funcionales (aislamiento acústico), que puede dar lugar a edificios que, de modo pasivo, ofrezcan ahorros importantes al usuario, tanto desde el punto de vista de la conservación y mantenimiento, como del consumo energético, constituyendo un modo de construir más sostenible que el convencional habitualmente empleado, ya que el ahorro del usuario a lo largo de toda la larga vida útil del edificio es determinante en el aumento del índice de sostenibilidad de la construcción.

El cálculo de la estructura, formada por las pantallas que configuran las fachadas y las paredes medianeras entre viviendas diferentes, complementadas por los pilares, que se reducen mucho en número (en comparación con la estructura tradicional de pórticos) da como resultado elementos de hormigón estructural armados con cuantías moderadas.

El número de vigas también es inferior al correspondiente a la solución tradicional mediante pórticos ya que las pantallas ofrecen un apoyo directo a las losas que forman los forjados.

En la cimentación se reduce el número de zapatas individuales y cobra importancia las zapatas corridas en el perímetro y en las líneas de medianerías entre viviendas.

El dimensionamiento de la estructura se ha realizado siguiendo las directrices de la EHE y del CTE. De las acciones consideradas hay que destacar que se consideró un valor de la sobrecarga de 2 kN/m<sup>2</sup> sobre el forjado y de 1 kN/m<sup>2</sup> en cubierta. El emplazamiento de la edificación no queda definido. El mismo podría influir en su dimensionamiento en cuanto que las acciones de viento y sísmicas quedan condicionadas por éste. Se ha supuesto que el edificio no está sometido a acción sísmica de consideración, lo que cubre la generalidad del territorio español, y que las acciones del viento, suma de empuje y succión, son de 1 kN/m<sup>2</sup>, que es un valor razonable prácticamente para cualquier tipo de entorno urbano.

El tipo de hormigón utilizado "in situ" como material de construcción será un HA-25. El recubrimiento nominal elegido será de 3 cm, correspondiente a un ambiente tipo I. El hormigón tendrá una consistencia blanda y un tamaño máximo de árido de 20 mm. Con todo esto la tipificación del hormigón será HA-25/B/20/I. El hormigón empleado en los elementos prefabricados es HP-45/P/12/IIa. En cimentaciones, el hormigón será HA-25/B/20/IIa. El tipo de acero utilizado en las armaduras pasivas es el B-500-S. El tipo de acero activo empleado en las viguetas es Y 1860 C.

Para disminuir los indeseables efectos que las deformaciones impuestas de retracción y temperatura imponen a la estructura,

se optó por dividir la estructura en dos módulos, disminuyendo la longitud de deformación a 40 metros. La junta de dilatación dispuesta implica el desdoblamiento de pilares en el Módulo 1 y el desdoblamiento de muros en el Módulo 2.

El dimensionamiento del forjado del Módulo 1 se ha realizado a partir de análisis elásticos y lineales en los que éste se ha modelizado como una viga continua. Las hipótesis de carga empleadas en cada caso son las que producen el máximo valor del momento positivo en centro de vano y el máximo valor absoluto del momento negativo en los apoyos. En el estudio de la alternancia de cargas se ha considerado que las cargas variables actúan, o no actúan, en la longitud total de cada vano. En función de los esfuerzos de sollicitación y empleando la autorización de uso de una casa comercial, se estableció la potencia de las viguetas, el intereje, la armadura de negativos y la cuantía de la armadura de

reparto. Para controlar los momentos negativos en los forjados inducidos por la torsión de las vigas principales en los apoyos extremos de aquellos, se dispuso armadura de negativos en las zonas correspondientes para cubrir 1/4 del valor del momento positivo máximo en el paño. El análisis de esfuerzos en los pórticos principales y secundarios se ha realizado empleando el programa comercial SAP2000 v11. A partir de estos esfuerzos, empleando el Prontuario Informático del Hormigón Estructural V3 (IECA) se ha procedido al armado y verificación en ELS (fisuración, flecha total, activa, desplome) y ELU (solicitaciones normales, cortante), siguiendo las indicaciones de la EHE y del CTE (DB-SE).

Para obtener los esfuerzos de sollicitación en el Módulo 2, y dado que las hipótesis de aplicación del método de los pórticos virtuales no se cumplen en la estructura analizada, se ha optado por el empleo de un modelo con elementos tipo

■ **Tabla 3. Mediciones y presupuestos.**

MEDICIONES MÓDULO 1 (TRADICIONAL)					
CIMENTACIÓN					
		Medición	Unidad	Precio unitario	Precio (€)
m <sup>3</sup>	Hormigón cimentaciones aisladas HA-25 /B20/Ila	175,50	E04CA010	117,64 (€/m <sup>3</sup> )	20.645,82
kg	Acero B500S	7.747,00		1,26 (€/kg)	9.761,22
				TOTAL	30.407,04
ESTRUCTURA					
Forjado unidireccional					
		Medición	Unidad	Precio unitario	Precio (€)
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en forjado HA-25/B/20/I	291,60	E05HFA040	58,81(€/m <sup>2</sup> )	2.22708,77
kg	Acero B500S en forjado	7.165,00			
ml	Vigueta pretensada tipo T-18-1	2.314,50			
ml	Vigueta pretensada tipo T-18-2	1.606,10			
ml	Vigueta pretensada tipo T-18-3	1.498,40			
ml	Vigueta pretensada tipo T-18-4	599,30			
ml	Boques aligerantes de hormigón	6.018,30			
Vigas					
m <sup>3</sup>	Hormigón en vigas	389,80	E05HVA030	415,50 (€/m <sup>3</sup> )	161.961,90
kg	Acero B500S en vigas	64.959,00		1,26 (€/kg)	81.848,34
				TOTAL	243.810,24
Pilares					
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en forjado HA-25/B/20/I	88,70	E05HSA010	214,58 (€/m <sup>3</sup> )	19.033,25
kg	Acero B500S en pilares	10.388,00		1,26 (€/kg)	13.088,88
				TOTAL	32.122,13

Cerramiento vertical de la fachada y partición vertical entre viviendas					
		Medición	Unidad	Precio unitario	Precio (€)
m <sup>2</sup>	Cerramiento exterior con 30% de huecos	2.352,00	E07LTS009	60,30 (€/m <sup>2</sup> )	141.825,60
m <sup>2</sup>	Separación entre viviendas	1.218,70	E07TL190	26,79 (€/m <sup>2</sup> )	32.648,97
				TOTAL	174.474,57
				Total Módulo 1	703.522,74

Listado unidades de obra Módulo 1 (Solución tradicional)	
UNIDAD OBRA	DESCRIPCIÓN
E04CA010	Hormigón armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , consistencia plástica, Tmáx 20 mm, para ambiente normal, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m <sup>3</sup> ), vertido por medios manuales, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE y CTE-SE-C.
E05HFA040	Forjado 20+5 cm. Formado por doble vigueta autorresistente de hormigón pretensado, separadas 70 cm, entre ejes, bovedilla cerámica de 70x25x20 cm. Y capa de compresión de 5 cm, de hormigón HA-25/P/20/I, de central, i/armadura (1,80 kg/m <sup>2</sup> ), terminado. (Carga total de 600 kg/m <sup>2</sup> ). Según normas NTE, EHE, EFHE y CTE-SE-AE.
E05HVA030	Hormigón Armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , Tmáx 20 mm, consistencia plástica, elaborado en central, en jácenas de cuelgue, i/p.p. de armadura (150 kg/m <sup>3</sup> ) y encofrado de madera, vertido con pluma-grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-EME y EHE.
E05HSA010	Hormigón Armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , Tmáx 20mm, consistencia plástica elaborado en central, en pilares de 30x30 cm, i/p.p. de armadura (80 kg/m <sup>3</sup> ) y encofrado metálico, vertido con pluma-grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-EHS y EHE.
E07LTS009	Cerramiento formado por fábrica de ladrillo cara vista Toledo liso ICD (Industrias Cerámicas Díaz, S.A) de 24x11, 4x4, 8 cm de 1/2 pie de espesor, enfoscado interiormente, con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río tipo M-5, preparado en central y suministrado a pie de obra, cámara de aire de 5cm y tabique de rasillón hueco sencillo 50x20x4 cm, recibido con mortero de cemento de CEM II/B-P 32,5 N y arena de río tipo M-5, i/replanteo, nivelación, aplomado, p.p de enejarjes, mermas y roturas, humedecido de las piezas, rejuntado, limpieza y medio auxiliares. Según UNE-EN-998-1:2004, RC-03, NTE-FFL, PTL y CTE-SE-F. Medido deduciendo huecos superiores a 1 m <sup>2</sup> .
E07TL190	Tabique de ladrillo hueco doble tochana de 29x14x10 cm recibido con mortero bastardo de cemento blanco BL II/A-L 42,5 R, cal y arena de río tipo M-5 confeccionado con hormigonera, en distribuciones y cámaras, i/replanteo, aplomado y recibido de cercos, roturas, humedecido de la pieza y limpieza. Parte proporcional de andamiajes y medio auxiliares. Según UNE-EN-998-1:2004, RC-03, NTE-PTL, RL-88 y CTE-SE-F, medido a cinta corrida.

Las unidades de obra y su descripción han sido obtenidos de la publicación "precios de la construcción CENTRO 2008" editado por el Gabinete Técnico de Publicaciones del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara.

## MEDICIONES MÓDULO 2 (CONTORNO DE HORMIGÓN)

CIMENTACIÓN					
		Medición	Unidad	Precio unitario	Precio (€)
m <sup>3</sup>	Hormigón cimentaciones aisladas HA-25 /B20/IIa	4,24	E04CA010	117,64 (€/m <sup>3</sup> )	498,79
kg	Acero B500S en cimentaciones aisladas	295,00		1,26 (€/kg)	371,70
m <sup>3</sup>	Hormigón cimentaciones corridas HA-25 /B20/IIa	83,00		117,64 (€/m <sup>3</sup> )	9.764,12
kg	Acero B500S en cimentaciones corridas	6.000,00		1,26 (€/kg)	7.560,00
				TOTAL	18.194,61

ESTRUCTURA					
Forjado losa					
		Medición	Unidad	Precio unitario	Precio (€)
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en forjado HA-25/B/20/I	946,73	E05HLA125	190,00 (€/m <sup>3</sup> )	179.878,70
kg	Acero B500S en forjado	102.135,00		1,26 (€/kg)	128.690,10
				TOTAL	308.568,80

Pilares		Medición	Unidad	P. Unitario	Precio (€)
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en pilares HA-25/B/20/I	14,00	E05HSA010	214,58 (€/m <sup>3</sup> )	3.004,12
kg	Acero B500S en pilares	906,00		1,26 (€/kg)	1.141,56
				TOTAL	4.145,68

Cerramiento vertical de la fachada y partición vertical entre viviendas					
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en divisorias de vivienda HA-25/B/20/I	486,70	E04MA020	253,69 (€/m <sup>3</sup> )	123.470,92
kg	Acero B500S en divisorias de vivienda	67.107,00		1,26 (€/kg)	84.554,82
m <sup>3</sup>	Hormigón in situ en fachadas HA-25/B/20/IIa	431,20		253,69 (€/m <sup>3</sup> )	109.391,13
kg	Acero B500S en fachadas	60.213,00		1,26 (€/kg)	75.868,38
				TOTAL	393.285,25

Total Módulo 2 sin terminación arquitectónica	TOTAL(€)	724.194,34
Diferencia Módulo 2 (contorno de hormigón)/Módulo 1 (tradicional) %		2,94

Módulo 2 Con terminación exterior ladrillo cara vista					
		Medición	Unidad	P. Unitario	Precio (€)
m <sup>2</sup>	Cerramiento exterior con 30% de huecos	2.352,00	E07LSA050	24,28 (€/m <sup>2</sup> )	57.116,20

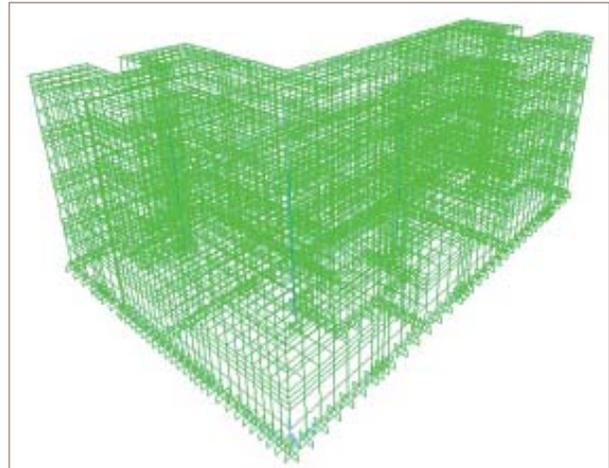
Total Módulo 2 con terminación exterior ladrillo cara vista	TOTAL(€)	781.310,55
Diferencia Módulo 2 (contorno de hormigón)/Módulo1 (tradicional) %		11,06

Listado unidades de obra Modelo 2 (Solución contorno de Hormigón)	
UNIDAD OBRA	DESCRIPCIÓN
E04CA010	Hormigón armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , consistencia plástica, T máx 20 mm, para ambiente normal, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso armadura (40 kg/m <sup>3</sup> ), vertido por medios manuales, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE y CTE-SE-C.
E05HLA125	Hormigón Armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , T max 20 mm, consistencia plástica, elaborado en central, en losas planas de espesor 25 cm, i/p.p. de armadura (85 kg/m <sup>3</sup> ) y encofrado metálico, vertido con pluma-grúa, vibrado y colocado. Según norma NTE-EME, EHL y EHE.
E05HSA010	Hormigón Armado HA-25 N/mm <sup>2</sup> , T máx 20 mm, consistencia plástica elaborado en central, en pilares de 30x30 cm, i/p.p. de armadura (80 kg/m <sup>3</sup> ) y encofrado metálico, vertido con pluma-grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-EHS y EHE.
E04MA020	Hormigón Armado HA-25N/mm <sup>2</sup> , consistencia plástica, T máx 20 mm. Para ambiente normal, elaborado en central, en muro de 25 cm de espesor, incluso armadura (60 kg/m <sup>3</sup> ), encofrado con tablero aglomerado a dos caras, vertido por medios manuales, vibrado y colado. Según normas NTE-CCM,EHE y CTE-SE-C.
E07LSA050	Fábrica de ladrillo cara vista Toledo liso ICD (Industrias Cerámicas Díaz, S.A) de 24x11, 4x6, 8 cm de 1/2 pie de espesor, recibido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río, tipo M-5, preparado en central y suministrado a pie de obra, i/replanteo, nivelación y aplomado, p.p. de enjarjes, mermas y roturas, humedecido de las piezas, rejuntado, limpieza y medio auxiliares. Según UNE-EN-998-1:2004, RC-03, NTE-FFL y CTE-SE-F. Medida deduciendo huecos superiores a 1 m <sup>2</sup> .

Las unidades de obra y su descripción han sido obtenidos de la publicación "precios de la construcción CENTRO 2008" editado por el Gabinete Técnico de Publicaciones del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara.

lámina (muros) y tipo viga (pilares). Para simplificar el modelo de cálculo, no se ha considerado la totalidad de la estructura (Figura 8). En el modelo sólo se han incluido dos sub- módulos de 100 m<sup>2</sup> cada uno y sus contiguos. El comportamiento estructural de todos los sub-módulos se deduce a partir de estos dos. Por tanto, los esfuerzos de sollicitación y las deformaciones han sido obtenidos mediante el programa comercial SAP2000 v11, empleando un modelo que utiliza 7.972 elementos tipo lámina (shell) para los forjados y los muros de cerramiento y de partición, y 16 elementos tipo viga (frame) para los pilares del edificio. Se ha considerado que los esfuerzos generados por el viento sobre el edificio, dada la gran rigidez de los sistemas de apantallamiento, son suficientemente pequeños comparados con los generados por las acciones gravitatorias como para no tenerlos en cuenta a efectos de cálculo de los estados límite.

■ **Figura 8. Modelo de cálculo.**



■ **Tabla 4. Evaluación del consumo energético.**

Hipótesis		Tarifa de Último Recurso sin discriminación horaria				
		Potencia contratada 5,5 kW				

Término potencia	No influye en la comparación	20,633129	€/kW año			
Término energía		0,117759	€/kWh			
Consumo anual	Módulo 1 Solucion Tradicional	65'19	kWh/m <sup>2</sup> año	5.439	kWh/año	
Consumo anual	Módulo 2 Solución Hormigón	55,55	kWh/m <sup>2</sup> año	4.647	kWh/año	
Diferencia				792	kWh/año	14,56%

Calculo de la factura (anual)			
Datos de consumo en energía de calefacción+refrigeración en Madrid, que coincide aproximadamente con la situación media en España en la que la diferencia es del 16%			
Módulo 1 Solución Tradicional	Término potencia	113,48	
	Término energía	767,623817	
	Impuesto especial electricidad	45,05	
	Conceptos antes IVA	926,15	
	Total con IVA	1.074,34	€/año
	Total solución convencional (vida útil 50 años)	53.716,95	€

Módulo 2 Solución Hormigón	Término potencia	113,48	
	Término energía	654,151245	
	Impuesto especial electricidad	39,25	
	Conceptos antes IVA	806,88	
	Total con IVA	935,98	€/año
	Total solución hormigón (vida útil 50 años)	46.799,05	€

Cálculo de ahorro en términos económicos y tiempo de recuperación del incremento de coste entre la solución de hormigón y tradicional		
	Caso con IVA	Caso sin IVA
Ahorro anual	138,36 €	119,27 €
Ahorro total vida util	6.918,00 €	5.963,50 €

Diferencia costes solución tradicional hormigón	77787,81 €	77787,81 €
Idem por vivienda	1852,090714 €	1852,09071 €
Tiempo de recuperación	13'39 años	15'53 años
Tiempo de recuperación medio en España correspondiente al 16 % de diferencia en el consumo energético	12'36 Años	14'34 años

Se ha procedido al armado y verificación en ELS (fisuración, flecha total, activa, desplome) y ELU (solicitaciones normales, cortante, punzonamiento), siguiendo las indicaciones de la EHE y del CTE (DB-SE). Para el cálculo de la armadura de refuerzo en huecos se ha realizado un análisis de bielas y tirantes, considerando que los dinteles de los huecos de las ventanas se asimilan a vigas de gran canto.

Para el dimensionamiento de las cimentaciones se ha definido una tensión admisible del terreno de 0,3 MPa. Se ha optado por cimentaciones rígidas.

El sistema de pantallas estructurales proporciona un esqueleto resistente poco deformable y muy bien configurado para resistir esfuerzos horizontales y la acción sísmica. El ajuste de las longitudes confinadas y de las armaduras, en cuantías y disposición, a las condiciones que ofrecen ductilidad muy alta es sencillo de realizar cuando la intensidad de la acción sísmica así lo requiera.

La estructura de hormigón, estructura propiamente dicha que, además, forma el contorno del edificio y de las propias viviendas (fachada y medianeras entre viviendas) tiene capacidad para ofrecer la resistencia al fuego requerida a través de los tres criterios (R-capacidad portante, E-estanqueidad al paso de llamas y gases calientes e I – aislamiento térmico en caso de fuego).

El modelo estudiado cumple con REI 120 minutos, lo que cubre el campo de la edificación convencional incluyendo los sótanos, proporcionando una compartimentación eficaz frente al fuego, vivienda a vivienda, ya que el nudo forjado-pantallas impide la extensión del incendio entre plantas y el contorno de la propia vivienda lo impide entre viviendas de la misma planta.

El conjunto estructural estudiado y dimensionado aplicando la Instrucción EHE-08 cumple con los requisitos de durabilidad correspondientes a una vida útil nominal de 50 años y, aplicando la estrategia de durabilidad incluida en la citada Instrucción, permite ofrecer una vida útil nominal de 100 años estando sometidos a la clase general de exposición I, correspondiente a interiores de edificios no sometidos a condensación, sin más que ajustar ligeramente los recubrimientos de las armaduras de la cimentación.

Las prestaciones de tenacidad y dureza del hormigón ofrecen seguridad frente a actos vandálicos.

Asumiendo la estrategia de mantenimiento incluida en la Instrucción EHE-08, los costes de mantenimiento y conservación del modelo estudiado resultan irrelevantes, a lo largo de toda la vida útil del mismo.

Aplicando, tanto en la fase de proyecto como en la de construcción, los criterios para determinar el “índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad” incluidos en la Instrucción EHE-08, se dispone de una herramienta objetiva para desarrollar el modelo estudiado con la garantía de incrementar la sostenibilidad en relación con otras soluciones que no apliquen dichos criterios u otros equivalentes soportados en índices homogéneos a los calculados aplicando la citada Instrucción. El modelo estudiado no presenta ninguna condición que impida obtener el máximo índice de contribución a la sostenibilidad de la estructura.

En el conjunto estructural de la solución con cerramientos de hormigón (Módulo 2), el elemento de fachada se reduce a una mera protección del aislamiento térmico que forma parte de la misma, admitiendo cualquier tratamiento arquitectónico hacia el exterior.

Los espesores de las pantallas considerados han sido de 20 cm en las fachadas y de 12 cm en las pantallas interiores que separan las viviendas. Estos espesores pueden optimizarse empleando hormigón autocompactante y ajustando las prestaciones de aislamiento acústico e inercia térmica.

Por todo ello, la tipología estudiada como Módulo 2, puede ser una alternativa válida para construir edificios más sostenibles.

## 10. Consideraciones económicas

A partir del dimensionado realizado para definir el edificio tradicional (Módulo 1) y el edificio con contorno-pantallas de hormigón (Módulo 2) se han realizado las mediciones de aquellas unidades que, en ambas soluciones, conforman los elementos constructivos que realizan la misma función: estructura, fachadas y particiones medianeras entre viviendas.

La Tabla 3 “Mediciones y Presupuestos” incluye dichas mediciones y el presupuesto de ejecución material correspondiente. En él no se ha considerado, en el Módulo 2 (contorno de hormigón), la reducción del coste de las instalaciones correspondientes a la menor demanda energética para la que deben ser dimensionadas.

De la comparación de los presupuesto se deduce que la solución con contorno formado por pantallas de hormigón (Módulo 2) es un 2,94% más cara que la solución tradicional (Módulo 1) y que a este porcentaje hay que sumarle el que resulte de valorar el coste

de acabado arquitectónico de la fachada. En el caso de que este acabado sea una fábrica de ladrillo que iguale la expresión formal del acabado correspondiente a la solución tradicional, el porcentaje anteriormente indicado se eleva al 11,06 %, que corresponde a una diferencia en el presupuesto del edificio de 77.787,81 €, lo que representa un incremento de 1852,09 € por cada vivienda de las contenidas en el edificio estudiado (14 viviendas por planta y 42 viviendas en total).

En la Tabla 4, "Evaluación del consumo energético", se evalúa el coste del consumo energético correspondiente a las dos soluciones estudiadas, la solución tradicional (Módulo 1) y la solución con pantallas de hormigón (Módulo 2). En ambos casos se ha elegido la situación climática correspondiente a Madrid, porque ella representa, con mucha aproximación, la situación media en España en cuanto a la diferente entre los consumos antedichos. La solución de pantallas de hormigón (Módulo 2) consume, en media y considerando todas las situaciones climáticas existentes en España (que son los que se han estudiado) un 16% menos de energía de climatización (calefacción + refrigeración) que la que corresponde al consumo de la solución tradicional (Módulo 1).

La evaluación del consumo energético se ha realizado en base a las tarifas según Resolución de 29 de Diciembre de 2009 de la Dirección General de Política Energética y Minas para tarifas de último recurso aplicables al primer semestre de 2010. El cálculo se ha realizado por vivienda de 100 m<sup>2</sup> y año.

El resultado de la Tabla 4 indica que el coste de energía de calefacción más refrigeración es menor en la solución de pantallas de hormigón (Módulo 2), un 16% en media en España y un 14,6 % en el caso concreto de la situación climática correspondiente a Madrid (que es el caso estudiado).

En consecuencia, en el caso estudiado el incremento del coste de construcción, establecido en la Tabla 3, se compensa, para el usuario con el ahorro de consumo energético en 15,5 años y en el caso de la media en España en 14,3 años.

El mismo análisis energético nos permite considerar que durante la vida útil del edificio el ahorro de energía de la solución con pantallas de hormigón (Módulo 2) hará que ésta sea más sostenible que la solución tradicional (Módulo 1). No obstante esta es una visión parcial que debe completarse con el análisis del ciclo de vida completo, es decir con la fase de producción de materiales y construcción (antes del inicio de la vida útil, en la que el usuario habita el edificio) y la fase de demolición y reciclaje o transporte y constitución de vertedero (después de dicha vida útil).

Dado que la influencia, en el índice de sostenibilidad de un edificio, de la vida útil a disposición del usuario es muy superior al resto de los periodos que componen el análisis de ciclo de vida completo, cabe suponer que la solución con pantallas de hormigón (Módulo 2) resultan más sostenibles que la solución tradicional (Módulo 1), lo que se deberá confirmar mediante la evaluación del análisis de ciclo de vida completo.

## 11. Sostenibilidad de la solución con contorno de hormigón (Módulo 2)

Con los datos del estudio realizado en términos de consumo energético, se puede realizar, a modo de ejercicio elemental, un primer balance energético de la contribución del hormigón a la sostenibilidad del edificio.

A pesar de constituir, solamente, una parte del análisis del ciclo de vida completo, necesario para determinar el índice de sostenibilidad del edificio construido con la solución estudiada, permite avanzar en el ejercicio de realizar balances energéticos de gran interés en la parte medioambiental que concierne a la sostenibilidad.

Si nos fijamos en el hormigón de las pantallas que forman el cerramiento de fachada y las particiones entre viviendas y que, junto con la tecnología de construcción propia del hormigón estructural, diferencia la solución (Módulo 2) de la denominada solución tradicional (Módulo 1), podemos hacer el siguiente análisis relativo a dicho hormigón.

Cantidad de hormigón en cerramiento vertical de la fachada y partición vertical entre viviendas (ver Tabla 3).	917,90 m <sup>3</sup>
Idem por vivienda.	21,85 m <sup>3</sup>
Ahorro anual de energía de climatización en comparación con la solución tradicional por cada vivienda (ver Tabla 4).	964,00 kw/h

Considerando que la Declaración Medioambiental de Producto (EPD) correspondiente a un hormigón típico de edificación estima un valor para el hormigón colocado de 215 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón, podemos seguir obteniendo resultados.

Antes conviene aclarar que en la EPD del hormigón se incluyen todas las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a las materias primas (cemento, áridos y aditivos) así como los transporte correspondientes. Obviamente a ellos se suman los propios de la fabricación del hormigón, el transporte y la colocación en la obra.

También necesitamos conocer el equivalente en emisiones de CO<sub>2</sub> del kwh. Según el "mix" energético nacional, actualmente se puede estimar en 0,3 kg de CO<sub>2</sub>/kwh.

Por tanto:

Emisiones de CO <sub>2</sub> correspondientes al hormigón considerado en cada vivienda.	4.698 kg de CO <sub>2</sub>
Emisiones de CO <sub>2</sub> correspondiente al ahorro energético en la climatización de cada vivienda.	289,2 kg de CO <sub>2</sub>
Años en los que el ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> correspondientes al ahorro de energía de climatización por parte del usuario, compensa las emisiones de CO <sub>2</sub> correspondientes al hormigón considerado.	16,24 años

Ahorro neto de emisiones de CO <sub>2</sub> correspondientes al balance (emisiones producidas por el hormigón considerado emisiones evitadas por el ahorro energético de climatización) durante toda la vida útil, o de servicio, de 50 años por cada vivienda.	9.762 kg de CO <sub>2</sub>
Idem si se incrementa la vida útil, o de servicio, hasta 100 años.	24.222 kg de CO <sub>2</sub>
Ahorro neto de emisiones por m <sup>3</sup> de hormigón en el caso de vida útil =50 años.	446,77 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Idem en el caso de vida útil=100 años.	1.108,56 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

La consideración de estos valores concluye que un empleo adecuado del hormigón en la edificación, tal como el estudiado, ofrece a la sociedad un balance de emisiones de CO<sub>2</sub> claramente favorable que incrementa la sostenibilidad de los edificios en relación con la solución tradicional.

## 12. Consideraciones arquitectónicas y aplicación del modelo (Módulo 2) estudiado

La sociedad es quien exige que la vivienda sea cada vez más acorde con los tiempos que vivimos y por ello la capacidad de ésta para regular consumos y funcionar de un modo “sostenible” es una realidad que no podemos eludir.

La demanda de vivienda es heterogénea y dado lo cambiante de los modelos sociales de vida, el promotor debe adaptarse y tratar de adaptar su producto a dicha sociedad, que demandará calidad y versatilidad cada vez con más exigencia.

El cliente tiene mucho que decir y ahora sabe que el mantenimiento de su vivienda depende, fundamentalmente, de que la calidad constructiva de la misma le garantice dos cosas: una adecuada eficiencia energética y una calidad ambiental máxima que será la que repercuta más directamente en el confort del que va a ser su hogar.

Así las cosas, la promoción de viviendas tiene que compatibilizar una demanda más selectiva con una construcción de mayor calidad que debería sistematizar al máximo.

Parece obvio, que así como los equipos técnicos no han tenido más remedio que especializarse y componerse cada vez más de muchos profesionales que contemplen el proyecto desde puntos de vista multidisciplinarios para optimizarlo; lo concebido en dichos proyectos, el diseño del que partirá la promoción y por tanto la construcción debería hacer lo mismo y apostar por una arquitectura sistemática, con soluciones concretas que resuelvan, sin incrementos de coste ni complicaciones no racionales, las exigencias de las normas y reglamentos así como de los compradores.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) ha impuesto una serie de exigencias en la edificación cuyo objetivo incide directamente en los aspectos que hemos reseñado como parte de las exigencias de la demanda.

Debemos, por tanto, asumir desde el inicio de los proyectos todos esos compromisos que nos posicionen en la mejor situación para crear nuestra imagen de marca, que se identifique con un producto concreto y coherente con nuestros clientes.

En este sentido, es fundamental el análisis de la promoción inmobiliaria de viviendas como un todo, que contemple cómo va a ser la vida útil de la edificación y, por tanto, aquello que va a aportar a nuestros clientes en cuanto a calidad de vida a través de una eficiencia energética y un confort óptimos. Todo ello manteniendo un coste de construcción controlado y limitado, que nos permita continuar siendo competitivos.

Aplicar estos criterios al proyecto de viviendas y especialmente en el desarrollo de viviendas de protección oficial es fundamental para responder adecuadamente a dichas exigencias.

### 12.1 Estructura y cerramiento. Optimización y oportunidad.

La primera reflexión suscitada tras todo lo expuesto es obvia. Hay que sistematizar la promoción para responder a las exigencias de los clientes desde la más alta calidad sin dejar de controlar el coste.

Así, debemos estudiar nuestros proyectos de modo que el cumplimiento del CTE y la eficiencia energética que la sociedad demanda encabezen los parámetros desde los cuales afrontar la promoción.

Por lógica, nuestros proyectos deberán optimizar al máximo su sistema constructivo, encontrando soluciones que ya desde el principio tengan en cuenta la oportunidad que impone un reglamento que refleja la exigencia social y, por tanto, la de nuestros clientes.

Para ello, proyectamos edificios en los que la estructura no sólo resuelve lo tectónico de los mismos, sino que además permite aportar el mayor confort posible. Así, una vez analizado el sistema estructural optamos por el empleo del hormigón no sólo como elemento estructural, sino como parte fundamental de cerramiento y divisiones, obteniendo además soluciones de diseño en las que la estructura permitiera, en muchos casos, la ausencia casi total de “mochetas” aportando mayor claridad, continuidad y diafanidad al espacio interior.

Dicho cerramiento estructural constituye, en fachada, la hoja interior de la misma, funcionando a la perfección como elemento de optimización de la eficiencia energética y permitiendo que el acabado final exterior emplee cualquier sistema y material que el proyecto requiera atendiendo a otros parámetros del mismo (estética, entorno, normativa, etc.).

Por tanto, el empleo del hormigón como soporte fundamental del cerramiento de fachada permite, además, que, en función de la orientación de la misma, apoyemos el confort climático con elementos de características muy diversas obteniendo, así, la mayor eficiencia energética desde la resolución de la estructura.

En todo tipo de edificios, no sólo de vivienda, podemos estudiar, con el propietario o el promotor, la posibilidad de desarrollar una fachada cambiante sobre la base de ese hormigón, que permita acabados de distinto tipo, con diversos efectos de luz, incorporación de paneles solares, etc, que no sólo personalizaran la edificación, sino que, además, proporcionarán, en el futuro, un coste muy ajustado de mantenimiento y conservación.

Se pueden desarrollar proyectos de VPO con estas características; obteniendo, tras un análisis pormenorizado, un coste más que razonable, competitivo con cualquier sistema tradicional y, sobre todo, aportando un rendimiento óptimo en el cumplimiento del CTE y en el proceso constructivo de la obra.

Así, el sistema constructivo no sólo es el óptimo, sino que además permite la versatilidad máxima. Construimos un esqueleto y un caparazón que nos resuelven lo más crítico de la promoción y lo compartimentamos interiormente con sistemas constructivos versátiles, que permitan dar respuesta a esa demanda, tan ecléctica, que la sociedad actual aporta; para revestirlo exteriormente de soluciones de todo tipo, tecnológicas, tradicionales y hasta de restauración; asegurando el mejor rendimiento de la edificación.

## 12.2 Memoria Arquitectónica. Proyecto tipo como aplicación del modelo (Módulo 2) estudiado

A partir de las reflexiones anteriormente expuestas, se desarrolla un proyecto tipo aplicado a una manzana en la que se desarrolla un proyecto de viviendas de protección oficial, que tiene como herramienta de partida el diseño un sistema constructivo basado en el empleo del hormigón armado como estructura y cerramiento, resolviendo con ello aspectos estructurales y de aislamiento térmico y acústico, tal como se propone en el Módulo 2 estudiado.

Se parte por tanto de una concepción de proyecto en la que el hormigón está presente en planta y sección, como parte fundamental de la edificación tanto en el esqueleto de la misma como en su cascarón, con lo que su función estructural se amplía para convertirse en el elemento fundamental del cerramiento y las divisiones entre viviendas que, como después veremos, lejos de limitar el diseño, se convierte en una extraordinaria herramienta a partir de la cual aplicar cualquier técnica de acabado fácilmente, contando ya con un comportamiento estructural y de aislamiento resueltos con la máxima calidad.

Así, el diseño establece con claridad una estructura de hormigón, que se repite en el desarrollo en planta concibiendo cada unidad de vivienda como una caja estanca, en la que su cerramiento perimetral tanto de fachada como medianero se comporta con esa dualidad entre esqueleto y caparazón que permite el desarrollo interior de un diseño sistemático y versátil de cada vivienda.

Como se puede apreciar, las luces que dicho caparazón limita pueden llegar a permitirnos (dada la gran continuidad de éste)

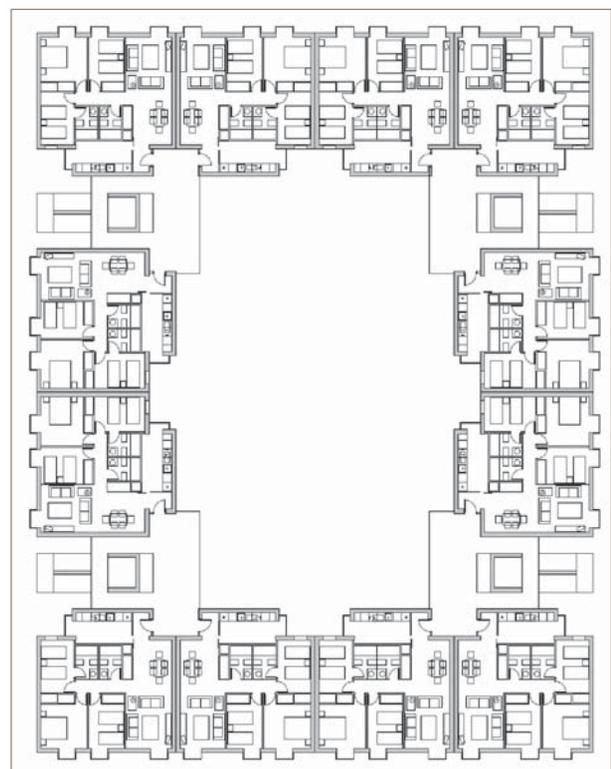
proyectar incluso en ausencia de estructura interior, o bien, el repartir esta de manera integrada con las divisiones interiores de la vivienda o formando parte de ella, dando con eso una gran versatilidad al proyecto y al desarrollo programático de las unidades de vivienda.

Este planteamiento no sólo permite la máxima industrialización del proyecto de edificación en el que cada vivienda podría llegar a prefabricarse para después montarse como un mecano una sobre otra, sino que, además, permite que las distribuciones interiores varíen o incluso que sea el futuro propietario quien adapte las características de las mismas a sus necesidades concretas (evidentemente con un diseño adecuado y muy bien definido de las instalaciones de la vivienda, algo completamente factible hoy en día).

En el proyecto tipo, hemos querido enfatizar la ya mencionada industrialización del sistema constructivo y lejos de entrar en detalle en cada vivienda, hemos diseñado una vivienda tipo que se repite para marcar con claridad cual es el ritmo y el tipo de espacio que defina la estructura-cerramiento de hormigón.

Como se puede apreciar, la continuidad de esa estructura cerramiento no es necesariamente una limitación, ya que las características del propio material permiten interrumpir la misma allí donde es necesario, desplazándola para "asomarse" al exterior, interrumpiéndola en machones al contacto con el terreno e, incluso, que evolucione en sección hasta convertirse en pilares en un posible desarrollo de un aparcamiento bajo el edificio.

■ **Figura 9. Proyecto tipo. Planta.**



■ **Figura 10. Perspectiva de la Opción 1.**



Se trata pues de que el caparazón estructural no sólo es el soporte de edificio, sino que además resuelve los cerramientos, donde éste elemento de mayor densidad y espesor debe ir siempre al interior, y las divisiones, de modo similar al de una losa de forjado, resuelven adecuadamente las exigencias de aislamiento acústico y térmico, permitiendo proyectar edificios de la máxima calidad y, por supuesto, optimizando el coste del cumplimiento de la normativa vigente.

Dicho caparazón permite cualquier solución de acabado exterior ya que, como hemos comentado anteriormente, compone la hoja interior del cerramiento de fachada sobre la que, posteriormente, se proyecta el aislamiento y se acaba, en su cara exterior, con cualquier material y solución constructiva que resulte más acorde con el diseño global del edificio, su entono, la orientación de cada una de las fachadas, la expresividad que se le quiera dar a las mismas, etc.).

Así, y a modo de ejemplo elemental, hemos desarrollado distintas opciones sobre el modelo desarrollado que entendemos permiten optimizar al máximo el sistema y dejan clara la versatilidad del mismo desde el punto de vista del proyecto arquitectónico.

#### Opción 1

Se proyecta una solución de fachada con revestimiento de la hoja estructural y de cerramiento mediante paneles ligeros de hormigón (que incluso pueden llevar directamente integrado el aislamiento para facilitar el procedimiento constructivo en obra).

En este caso, el testero que cierra los volúmenes en la esquina se utiliza aprovechando su orientación para la colocación de pane-

les solares de captación de energía, que permitirán de nuevo la optimización de la eficiencia energética integrada en el diseño de la arquitectura.

Los huecos de fachada tienen un tratamiento totalmente autónomo que permite definirlos como cajones de vidrio que aprovechan las discontinuidades puntuales proyectadas en el caparazón para asomarse a través de él y darle continuidad al espacio interior hacia el exterior.

#### Opción 2

Se proyecta una solución de fachada con revestimiento de la hoja estructural y de cerramiento mediante fábrica de ladrillo visto, cuyo aparejo se puede ejecutar con total libertad en cuanto a la junta de mortero ya que es la hoja de trasdós (el caparazón) la que lleva proyectado el aislamiento.

En este caso el testero de la edificación se utiliza como "jardín vertical" que se coloca con sus diferentes capas sobre el cerramiento estructural de hormigón y se riega con agua reciclada desde la cubierta. La parte inferior se reviste con un panel decorativo que se emplea además como cerramiento de las zonas comunes.

Los huecos se recortan en la piel y la carcasa exterior, permitiendo su espesor global distintos planos en los que resolver cada uno de los elementos que los componen, la protección, el oscurecimiento y el vidrio, proporcionando un lenguaje arquitectónico en el que la profundidad hace que cada componente de la fachada no sólo responda a su funcionalidad, sino se exprese como parte de un elaborado diseño.

■ *Figura 11. Perspectiva de la Opción 2.*



### Opción 3

Se proyecta una solución de fachada con revestimiento de la hoja estructural y de cerramiento mediante panel de chapa de aluminio, de distintos colores.

El testero se resuelve colocando una estructura auxiliar de anclaje cerrada con paneles de policarbonato e integrando en ésta un

sistema de iluminación a base de leds que permite dar al edificio un carácter específico con la variación del color e intensidad de la misma. La parte inferior del mismo se deja en hormigón visto, cuya superficie refleja la iluminación integrada en el cerramiento.

Los huecos se forman a partir de cajones de madera que se adosan al caparazón estructural y de cerramiento allí donde encuentran hendiduras para completarlo y convivir con él permitiendo la

■ *Figura 12. Perspectiva de la Opción 3.*



■ **Figura 13. Perspectiva de la Opción 4.**



filtración de la luz y su intensidad en función de la fachada en la que se sitúen y las necesidades específica de cada usuario.

#### **Opción 4**

Se proyecta una solución de fachada con revestimiento de la hoja estructural y de cerramiento mediante mortero monocapa continuo que no se modifica en el testero, en el que se aplica de modo continuo diseñando únicamente las juntas del mismo.

Los huecos se conciben como un leve corte en la continuidad de la fachada para que, a diferencia de la solución anterior, alineen la carpintería casi a haces del exterior, lo que resta además rotundidad a los muros de fachada que expresan una ligereza y una sencillez muy distinta a la de los modelos anteriores.

### **13. Conclusiones**

La aplicación de los requisitos del Código Técnico de la Edificación y, especialmente, el cálculo de la eficiencia energética de los edificios que se construyen con un determinado material y una tecnología de construcción específica, permite calibrar la capacidad que tiene dicho conjunto “material-modo de construir con él” de ofrecer sus mejores prestaciones, tanto estructurales como relacionadas con la habitabilidad confortable y el ahorro energético del que se beneficia el usuario y el conjunto de la sociedad, considerando como base de comparación la solución que representa la edificación tradicional.

También se puede vislumbrar el aumento de la sostenibilidad, sobre la correspondiente a dicha construcción tradicional, que puede ofrecer a la sociedad dicho conjunto “material-modo de

construir con él”, siempre a confirmar mediante el análisis del ciclo de vida completo.

Del ejercicio realizado con la solución de pantallas de hormigón en el contorno del edificio y de cada una de las viviendas en él contenidas (Módulo 2) puede concluirse, en relación con el hormigón y el modo habitual de construir con él, las siguientes propiedades a favor del incremento de la sostenibilidad del edificio construido:

- Elevada vida útil al servicio del usuario.
- Seguridad frente al fuego:
  - El hormigón es incombustible.
  - Compartimenta la acción del fuego, evitando la extensión del mismo desde una vivienda al conjunto del edificio.
  - Protege a las personas, usuarios y equipos de emergencia y extinción, así como a los bienes materiales, directamente afectados y colindantes, privados y públicos.
  - No desprende gases tóxicos ni productos que contaminen el medio ambiente.
- Ofrece seguridad resistente frente a acciones accidentales naturales y acciones vandálicas.
- Ofrece un buen aislamiento acústico, suficiente para cumplir los requisitos que aseguran la habitabilidad confortable del usuario.
- Ofrece, por la inercia térmica y la ausencia de puentes térmicos que son características de las construcciones de hormigón, una demanda de energía inferior a la de la construcción tradicional y, por tanto, una eficiencia energética mayor y un ahorro de energía de climatización favorable para el usuario y la sociedad en su conjunto.
- Todas las prestaciones antedichas del hormigón son pasivas, es decir permanentes y consustanciales a la construcción con

hormigón estructural, sin necesidad de realizar ni mantenimiento, ni conservación específicos y, por tanto, sin incurrir en costes significativos.

- El carácter pasivo de las prestaciones hace que las mismas se obtengan de modo muy económico ya que la solución inicialmente resistente las ofrece sin costes adicionales.
- El hormigón estructural es reciclable al 100%, al final de la vida útil o de servicio del edificio.
- El ahorro de energía de climatización del edificio de hormigón estudiado supone, para el usuario, un ahorro anual de 964 kwh, para cada vivienda de 100 m<sup>2</sup>, en comparación con el consumo por el mismo concepto en un edificio tradicional, lo que compensa el mayor coste de construcción, en relación con el mismo concepto en dicho edificio tradicional, en 14,3 años (valor medio en España).
- Dicho ahorro, en términos de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, compensa las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes a la producción del hormigón, (materias primas y transportes asociados, puesta en obra y los transporte del hormigón asociados) en 16,2 años. En la vida útil, o de servicio, de 50 años del edificio, este hormigón genera un ahorro neto, es decir: además del dedicado a compensar sus propias emisiones de CO<sub>2</sub>, de 446,77 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón, cifra que alcanza el valor de 1108,58 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón, si la vida útil, o de servicio, es de 100 años.

Por todo ello, el hormigón se configura como un material que, unido al modo habitual de construir con él, ofrece, de manera global, un conjunto de prestaciones que contribuyen a incrementar, de modo significativo, la eficiencia energética de los edificios con él construidos y la sostenibilidad.

## Bibliografía

- ISO 14040: "Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework".
- ISO 14044: "Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines".
- ISO/DIS 15686-5: "Building and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing".
- ISO/TC 59/SC 17/WG 3N: "Building construction. Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products".
- ACI SP-145 "Durability of Concrete" (1994).
- Aguado, A.: Aplicación de índices de sostenibilidad medioambiental al proyecto de estructuras de hormigón. Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Burón, M.: Cementos para hormigones más sostenibles. Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Burón, M.: La sostenibilidad de las construcciones de hormigón. Cemento-Hormigón nº 897, enero 2007.
- Burón, M.; Jofré, C.: Evaluación global de la sostenibilidad de una carretera y vías de mejora. Carreteras nº 160 Julio-Agosto 2008.
- Carrascón, S.; Aguado, A.; Josa, A.: Evaluación medioambiental de productos de hormigón mediante el análisis del ciclo de vida. Cemento-Hormigón nº 898, febrero 2007.
- Carrau, J.M.: Sostenibilidad y hormigón preparado". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Código Técnico de la Edificación. Madrid, Ministerio de la Vivienda, 2006.
- Instrucción del Hormigón Estructural. EHE-08. Madrid, Ministerio de Fomento, Secretaría General Técnica 2008.
- Pacios A.; "Optimization of in situ construction system to benefit from SCC technology" Proceedings of Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete/ Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Chicago vol. 2, Ed. S.P. Shah, Hanley Wood Publication, pp. 1031-1036, ISBN: 0-924659-64-5 (2005).
- Plataforma Europea del Hormigón: Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica. Cemento-Hormigón nº 911, febrero 2008.
- Plataforma Tecnológica Española del Hormigón: Eficiencia energética utilizando hormigón. Cemento-Hormigón nº 911, febrero 2008.
- Plataforma Tecnológica Española del Hormigón: Seguridad frente al fuego utilizando hormigón. Cemento-Hormigón nº 916, julio 2008.
- Plataforma Europea del Hormigón: Seguridad y protección completa frente al fuego con hormigón. Cemento-Hormigón nº 916, julio 2008.
- Turmo, J.: Optimización estructural de edificios de alta inercia térmica y acústica realizados en hormigón. Universidad de Castilla-La Mancha. Marzo 2009.
- Vega, L.; Tenorio, J.A.; Martín Consuegra, F.; Gaviria, M.J.: Investigación sobre el comportamiento del hormigón como material de alta inercia térmica. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Septiembre 2007.