

Una característica no aprovechada en los elementos prefabricados de hormigón: la masa térmica

Alejandro López Vidal. *Ingeniero Industrial. Director Técnico ANDECE (Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón).*

José Antonio Tenorio Ríos. *Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe Unidad de Calidad en la Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción 'Eduardo Torroja'—CSIC.*

Albert Einstein afirmaba que "si buscas resultados diferentes, no siempre hagas lo mismo". La masa o inercia térmica (términos que se suelen mezclar) ha sido una de las propiedades diferenciadoras que ha tratado de destacar la industria del hormigón frente a otros materiales de construcción, pero sin pasar de ser una mera cualidad. Sin embargo, es fundamental que cualquier característica deba ser cuantificada para poder valorar su idoneidad y aplicabilidad. En este sentido, el rumbo que están tomando las políticas reglamentarias, especialmente en materia de edificación, obligan a que el sector comience por fin a poner cifras a este parámetro, apreciado pero no del todo conocido.

Antecedentes y situación reglamentaria

Según datos de la Comisión Europea, el uso de la energía en edificios residenciales y comerciales representa aproximadamente el 40% del total de consumo final de energía y emisiones de CO₂ en Europa, lo que refleja la elevada incidencia que tiene a nivel económico en países con un porcentaje elevado de su PIB basado en la construcción; social, como generador de empleos o negocio necesario para cubrir una necesidad básica como la vivienda o la creación de infraestructuras; y medioambiental, por el uso importante de recursos naturales, energía o las posibles afecciones al medio.

La construcción es responsable del consumo de ciertos recursos necesarios para la sostenibilidad del planeta y de la sociedad que lo habita, y sobre la que se estima que cuenta con un amplio margen de mejora:

- Emisiones de gases de efectos invernadero ↓ 30–40%.
- Consumos de agua ↓ 12–20%.
- Consumo de energía primaria ↓ 35–40%.
- Consumo de materias primas ↓ 30–40%.
- Ocupación de suelo ↓ 20%.

Una de las mayores preocupaciones actuales radica en la carencia y en la carestía de la energía, que fuerza a buscar nuevas soluciones que den respuesta a este problema. Tradicionalmente se ha considerado que la "mejor energía es aquella que no se consume". Llevado al campo de la edificación, se empieza a considerar a la eficiencia

energética como una fuente de energía como tal.

En este contexto, surge en 2002 la Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios (EPBD) [1] actualizada posteriormente en 2010 y que se enmarca dentro del llamado objetivo 20/20/20, que fija los objetivos de reducir un 20% el consumo de energía primaria de la Unión Europea, reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero y elevar la contribución de las energías renovables al 20% del consumo total. Esta Directiva establece que los edificios públicos construidos a partir de 2019 y los edificios de índole privado a partir de 2021, sean de consumo de energía casi nulo, convirtiéndolos en prácticamente autosuficientes para cubrir su demanda de energía interna. La Directiva no establece una serie de medidas, sino el objetivo final; es decir, deja al proyectista que aplique las acciones convenientes para reducir al mínimo la demanda de energía necesaria y que ésta quede fundamentalmente cubierta por fuentes de energía renovables.

Recientemente desde la Unión Europea se ve la necesidad de incrementar todavía más estos valores. Las nuevas propuestas hablan de reforzar las exigencias en cuanto a la reducción del consumo de energía primaria, reduciendo un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero y elevar la contribución de las energías renovables al 27%.

Una regulación similar es The 2030 Challenge de aplicación en Estados Unidos y que establece una progresiva reducción del consumo de energía primaria procedente de fuentes de carbono (carbón, gas natural, etc.) hasta anularse en 2030. Entre las reglamentaciones de los distintos países europeos que mantienen un esquema similar a raíz de la transposición de la EPBD, el Código Técnico de la Edificación español (CTE) en su Documento Básico Ahorro de energía DB-HE-1 Limitación de la demanda energética [2], presenta a la inercia térmica como una característica a tener en cuenta:

"Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y

NOTA Ambos autores ocupan la Secretaría Técnica y Presidencia, respectivamente, del Subcomité de AENOR AEN/CTN 198/SC1 Sostenibilidad en la construcción. Parte 1: edificación.

del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e *inercia*, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.”

Sin embargo, las estrategias de diseño de eficiencia energética de los edificios han estado históricamente enfocadas a que los cerramientos garantizaran una resistencia o transmitancia térmica suficiente, como fue primero en España con la NBE-CT 79 y posteriormente con el DB-HE-1 del CTE en sus versiones de 2006 y 2013, característica fácilmente identificable y cuantificable pues está basada en la transmisión del calor por conducción. Por contra, la inercia térmica implica un cálculo dinámico complejo (flujo de calor por convección y radiación) del que no hay métodos de estimación suficientemente extendidos y aceptados más allá de la norma EN ISO 13790 [3], lo que deriva en que sea una propiedad que muy pocas veces acaba siendo considerada en la fase de proyecto.

En otros países europeos, sólo existen referencias editoriales a la masa o inercia térmica en las reglamentaciones de Bélgica (Flandes), Grecia, Hungría, Irlanda, Luxemburgo y Portugal, pero sin profundizar tampoco en el concepto ni incluir medidas para su estimación tal y como sucede también en nuestra legislación nacional.

Concepto de masa e inercia térmica

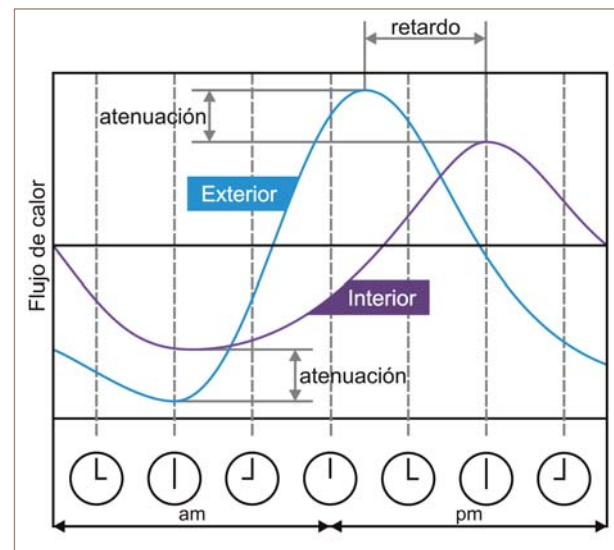
Se define masa térmica como la capacidad de los materiales de acumular y liberar calor progresivamente, es decir, la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. En cuanto a la inercia térmica, se refiere a la propiedad que adquiere el edificio para amortiguar la influencia de la temperatura exterior sobre las condiciones térmicas interiores.

El mecanismo de funcionamiento es muy simple: el elemento (la fachada, el suelo, el techo, una pared interior) actúa como acumulador o liberador de energía térmica, según el momento de la jornada lo que definirá el sentido del flujo de calor (exterior↔interior) [4].

Aunque no guarda una relación estrictamente directa, si se puede afirmar que depende de la densidad del material (ρ), de su calor específico (c) y es inversa a su conductividad térmica (λ). De esta forma, los edificios de gran inercia térmica tienen variaciones de temperatura más estables, causando dos efectos resultantes si comparamos la evolución de la temperatura interior del edificio con respecto a la que se produce en el ambiente exterior:

- 1) Atenuación: suaviza las temperaturas, reduciendo la importancia de los picos de calor/frío.
- 2) Retardo: retrasa el efecto de esa subida o bajada de temperaturas, consiguiendo unos valores más estables y mantenidos en el tiempo.

■ **Figura 1. La influencia de la masa térmica sobre el confort [5]. Para que se active, es necesario que exista un gradiente térmico entre el día y la noche.**



1) En verano (o climas cálidos, exceptuando aquellos con gradiente térmico irrelevante, ejemplo climas tropicales)

Durante las horas centrales del día se produce normalmente la mayor carga térmica interna, procedente principalmente de la radiación solar que incide sobre las fachadas, la mayor presencia de personas y actividad en el interior del edificio, la iluminación artificial e incluso del funcionamiento de máquinas que liberan calor. Las ventanas se mantienen cerradas y las persianas bajadas para minimizar las ganancias térmicas. En el caso de un edificio expuesto a una temperatura exterior alta y sometido a la acción directa de la radiación solar, la temperatura exterior del cerramiento se elevará produciéndose una transferencia de calor hacia el interior del edificio. La evolución de la temperatura de la cara exterior presentará un valor máximo en un instante de la jornada, en función de la situación y orientación del cerramiento. Esta onda de temperatura exterior se verá amortiguada, en cuanto a amplitud, al atravesar el cerramiento, originándose un desfase entre los instantes en los que se produce un pico de temperatura. El efecto de desfase y amortiguamiento permite que el edificio permanezca más tiempo en la zona de confort sin necesidad de gasto energético adicional lo que permite ahorros de manera gratuita ya que son inherentes al material. Durante la noche, las ventanas se abren para ventilar el interior y refrescar los elementos de hormigón, que a su vez liberan el calor acumulado, de forma que se compensa la caída de temperatura y produciéndose el efecto inverso de transferencia de energía térmica.

Puede llegarse al caso extremo de que todas las necesidades de refrigeración, podrían obtenerse de la masa térmica. Y así continuaría de manera cíclica cada día.

Estas estrategias se pueden reforzar con sistemas de ventilación para aprovechar al máximo el enfriamiento nocturno (“night free cooling”).

2) En invierno (o climas fríos)

En el caso opuesto, la carga térmica interna alcanzada es mucho menor, aunque se puede activar la masa térmica a partir de las fuentes de generación de calor. El mecanismo de funcionamiento es esencialmente el mismo.

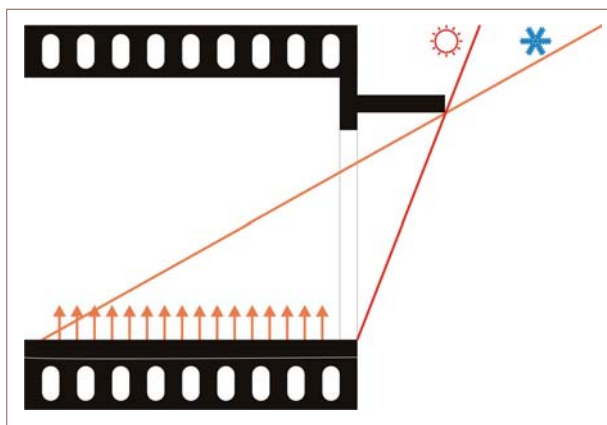
Durante el día, se habilitan las ventanas para que se capte el máximo de radiación solar, especialmente si la fachada está orientada al sur.

Durante la noche, el calor absorbido durante el día se libera para compensar la caída de temperatura. Las cortinas o persianas se cierran para minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior.

No obstante, es necesario que exista radiación solar. Por ejemplo, en un clima con muchos días de lluvia al cabo del año, no funcionaría bien.

Igualmente estas técnicas se pueden reforzar con elementos captadores especialmente diseñados: muros solares, galerías acristaladas, invernaderos adosados, o teniendo en cuenta la ventilación, muros trombe o parietodinámicos.

■ Figura 2. Ángulos de radiación solar en verano e invierno.



El hormigón como material de alta masa térmica...

La masa térmica es un efecto natural, pasivo e inherente que cobra especial importancia en materiales pesados como el hormigón, y que tradicionalmente ha estado vinculada a las casas y edificios cerrados con piedra natural, como son las antiguas catedrales. La gran densidad del hormigón, en torno a 2.400 kg/m³, que incluso motiva que algunos elementos de hormigón no armados sean calificados como piedra artificial, proporciona una mayor masa térmica [6].

Existen diversas referencias en cuanto a cuál es la contribución que se puede obtener a partir de un uso preciso de la masa térmica en construcciones basadas en hormigón, lo cual depende de la influencia de otras variables como el tipo de edificio (alturas, configuración espacial), la orientación, la localización (zona

climática), el grado de ocupación, etc. De todos ellos, se puede deducir que la mayor contribución al ahorro energético en los edificios de alta inercia térmica se suele producir en los meses más cálidos pudiendo alcanzar unos ahorros estimados en refrigeración de hasta un 20% y un 5% en calefacción [7].

Por tanto, es fundamental que la disposición de elementos constructivos de hormigón se vea acompañada de otras medidas de diseño que aseguren un efecto multiplicador, como pueden ser sistemas de ventilación forzada con caudal variable, dispositivos de sombreado, distribución de las ventanas, galerías acristaladas en las zonas de máxima insolación, estructuras activadas térmicamente, etc., y que en definitiva, son ya algunas técnicas implantadas dentro de la denominada arquitectura bioclimática.

	Ahorro en refrigeración	Ahorro en calefacción
European Concrete Platform [7]	≤50%	≤15%
Proyecto edificio ECHOR [8]	≤44%	≤23%

■ Figura 3. Edificio ECHOR, construcción totalmente prefabricada en hormigón presentada en el certamen internacional Solar Decathlon celebrado en Madrid en 2012.



Como dato ejemplificador, la energía consumida por un edificio anterior a 1980 (en torno al 60% del parque existente en España y muchos de esos que 'sorprendentemente' suspenden la calificación energética) supera los 100 kWh/m²/año, mientras que si éste estuviera cerrado mediante soluciones de hormigón se podría reducir de entrada 8-10 kWh/m²/año[8]. Estos valores prueban la necesidad lógica de obtener el máximo provecho al potencial que guardan las soluciones masivas de hormigón, ya que la combinación de medidas activas y pasivas aplicadas actualmente para cumplir con los requisitos reglamentarios, serán insuficientes para alcanzar los objetivos marcados en la EPBD de lograr edificios de consumo de energía casi nulo, y cuya hoja de ruta está fijada para ir aumentando progresivamente las exigencias en materia de eficiencia energética en las legislaciones nacionales, algo que sucederá en breve con la nueva actualización del DB HE-1 [2].

...Y los prefabricados de hormigón como solución constructiva de alta inercia térmica

A las ventajas que proporciona el hormigón como material de construcción (buen comportamiento al fuego, aislamiento acústico al ruido aéreo, económico, etc.), los elementos prefabricados de hormigón añaden una serie de prestaciones adicionales al presentarse como la versión industrializada de éste: mayor durabilidad; eficiencia estructural al aplicar una mayor precisión dimensional, alcanzar resistencias mecánicas más altas o un uso más intensivo de la técnica del pretensado; otras consideraciones funcionales (rapidez de ejecución, seguridad en obra, etc.). De todas estas propiedades, puede afirmarse que la inercia térmica pasará a ser un parámetro más de control y un factor adicional de competitividad de las soluciones prefabricadas frente a otros materiales alternativos.

■ **Figura 4. Fachada con elementos prefabricados de hormigón, ejemplo de una combinación idónea de arquitectura (estética) e ingeniería (prestaciones).**



Asimismo, la inercia térmica es una característica cuyo efecto puede incrementarse mediante el empleo de técnicas o dispositivos adicionales y en el que los sistemas prefabricados de hormigón pueden ser excelentes contenedores, como pueden ser los materiales de cambio de fase (PCM's) empleados dentro de los huecos de las placas alveolares para forjados que amplifi-

■ **Figura 5. Colocación de encapsulado con materiales de cambio de fase (PCM's) dentro de los alveolos de una placa, para mejora de la eficiencia energética.**



can su capacidad, alcanzando valores de reducción significativa de demanda de energía; o la colocación de conductos de ventilación de aire o conductos refrigerados con agua en dichos alveolos. Asimismo, este almacenamiento/liberación de energía se puede controlar y monitorizar para que se produzca en los periodos que realmente se necesiten, como sucede con las llamadas estructuras termoactivas.

En cualquier caso, es fundamental apuntar que la inercia térmica no siempre es necesaria y su consecución será razonable en determinados casos, como es el caso de edificios en que la evolución térmica es cíclica, por ejemplo, viviendas en los países más cálidos (entorno Mediterráneo), en edificios de uso terciario, data centers, etc., en que la máxima tasa de actividad interna suele coincidir con la máxima temperatura exterior, y siempre y cuando se establezcan sistemas de ventilación nocturna, o permita la apertura de ventanas.

Algunos estudios realizados

1) [Evaluación de la demanda de energía en dos edificios comerciales \[9\]](#)

La inercia térmica se puede utilizar para reducir las cargas pico de refrigeración en las horas centrales del día. Por ejemplo, en verano un edificio masivo puede ser pre-enfriado varias horas antes de que se alcance el pico de temperatura exterior y reducir así la carga de refrigeración necesaria. Asimismo, se puede jugar con el periodo de pre-enfriamiento de forma que se produzca en las horas de no ocupación del recinto, cuando todavía es posible rebajar la temperatura interior incluso por debajo del valor mínimo de confort.

2) [Influencia del espesor de hormigón \[10\]](#)

Este estudio determinó que en el caso de muros de hormigón aislados por el exterior, la inercia térmica aumenta hasta llegar a un espesor de 10 cm aproximadamente, valor a partir del cual apenas se percibe una evolución aunque se incremente el espesor. Este valor es importante pues coincide con el espesor más habitual de los paneles prefabricados de hormigón armado. Además, se concluyó que el empleo del aislamiento térmico por el exterior reduce las necesidades de refrigeración, representando una disposición idónea en climas cálidos, o en su defecto, puede disponer de un doble aislamiento con cámara interior y doble pared interna en hormigón.

3) [Solapamiento con otras superficies o revestimientos](#)

La utilización de materiales de revestimientos de paredes, suelos o techos (enlucidos, placas de yeso laminado, falsos techos, etc.) reducen la capacidad térmica del hormigón, lo que limita su eficacia en edificios donde estos elementos de diseño están plenamente instaurados. En definitiva, las superficies de hormigón deberían estar lo más libres posibles para que la transferencia de calor con el espacio interno sea máxima.

4) Proyecto SINHOR [11]

El objetivo principal de este proyecto fue parametrizar las variables fundamentales que caracterizan la inercia térmica de los edificios con vistas a mejorar sustancialmente su tratamiento en los procedimientos de cálculo del comportamiento térmico de edificios. Esta parametrización permitirá además que los proyectistas puedan, de manera sencilla, estimar los ahorros energéticos derivados de la inercia térmica de los edificios con contorno y estructura de hormigón. Este hecho contribuiría decisivamente a poner en valor el papel de las soluciones de hormigón como elemento de mejora de la eficiencia energética.

Hacia una construcción industrializada y sostenible

El empleo de diseños constructivos de mayor inercia térmica (bien empleada) para conformar las particiones de los edificios proporcionaría una mejora simultánea en las tres dimensiones de la sostenibilidad:

- 1) Medioambiental: se requiere menor consumo de energía, especialmente en refrigeración, ocasionando menores emisiones de CO₂ asociadas.

El estudio sobre 'emisiones de CO₂ embebidas y operacionales en edificación: efectos de la masa térmica y cambio climático' [12] determinó que aunque las construcciones masivas, como es el caso del hormigón, implican un mayor emisión de CO₂ hasta la construcción, analizado el ciclo de vida completo (≈100 años) se obtiene una reducción del 7% de las emisiones con respecto a una construcción de densidad media y de un 17% con respecto a una construcción ligera.

- 2) Económico: menor consumo de energía, implica menor coste operacional y por tanto menor perjuicio para los propietarios e inquilinos del edificio ante el aumento de los costes de la energía. Además, puede reducirse la potencia necesaria de las instalaciones de climatización e incluso llegar a eliminarlas, con el consecuente ahorro en compra y montaje de equipos, y menor potencia eléctrica contratada.

Según el estudio hecho por IECA sobre los edificios con contorno de hormigón [8], el ahorro medio de energía en climatización sobre el consumo correspondiente a la solución tradicional es de un 16%. Esto implicaría que el la disminución del gasto en consumo de energía compensa el incremento de coste (ejecución material) de construcción de la solución con envoltorio de hormigón en 14 años, teniendo en cuenta que la vida de servicio de los edificios debe ser al menos de 50 años.

- 3) Social: se consigue llegar en menos ocasiones a estar fuera del rango de temperatura de confort, originando unas condiciones más cómodas y estables para los ocupantes del edificio, que en el caso de centros de trabajo puede incluso beneficiar a la productividad de los trabajadores. A esto habría que añadir las ventajas relacionadas con otros requisitos, protección frente al fuego, salubridad, acústica, etc.

■ **Figura 6. Edificio de viviendas en Coslada (Madrid) de 20 alturas sobre rasante, resuelto mediante sistema constructivo de paneles portantes prefabricados de hormigón.**



Retos y objetivos de la industria

Los próximos años marcarán en qué medida el sector es capaz de sacar partido de esta propiedad. Para ello, se vislumbran algunas líneas de actuación necesarias para posicionar a los elementos constructivos en hormigón, a medida que las exigencias tanto reglamentarias como sociales vayan en aumento:

- 1) Desarrollo de sistemas industrializados que potencien la utilización de la inercia en la edificación como estrategia de reducción de la demanda energética de los edificios.
- 2) Desarrollo y uso de metodologías de cálculo específicas, incluso con el apoyo de softwares propios o integrados en otros reglamentarios y/o reconocidos (tipo LIDER-CALENER (HULC), CE3, etc.).
- 3) Implementación de estas metodologías en documentos de apoyo a nivel reglamentario o normativo (como documentos de apoyo del Código Técnico de la Edificación, informe UNE, etc.) de forma que se equipare la contribución de la inercia térmica a otras medidas de eficiencia energética en el edificio como el aislamiento térmico, las fuentes de energías renovables, etc.

- 4) Profundizar en el análisis y estudio del hormigón como material y los prefabricados como soluciones constructivas en la vertiente energética: posible influencia de los materiales, estudio de otros materiales prefabricados (muros de bloque, paneles sándwich con aislamiento térmico incorporado), dosificaciones de hormigón, combinación con otras medidas activas y/o pasivas del edificio, integración de la domótica como parámetro de control por el usuario, evaluación del parámetro 'inercia térmica' a lo largo del ciclo de vida, etc.
- 5) Difusión de las ventajas de la inercia térmica, a nivel profesional (jornadas, cursos, congresos, etc.), académico (planes de enseñanza universitario), estratégico (representantes políticos), actualización de la normativa sobre sostenibilidad de la construcción [13] o traslación a certificaciones de la sostenibilidad del edificio como los sellos LEED o BREEAM, e incluso dirigidas al usuario final (comunidades de vecinos que afronten obras de rehabilitación de edificios).

Aquí debe destacarse la labor que está realizando la plataforma europea The Concrete Initiative, alianza que lidera CEMBUREAU (Federación Europea del Cemento) y de la que también forman parte BIBM (Prefabricados de Hormigón) y ERMCO (Hormigón Preamasado), que tiene como objeto principal la promoción del hormigón como material de construcción.

Referencias

- [1] "Energy Performance of Buildings Directive". Directive 2010/31/EU.
- [2] Código Técnico de la Edificación. DB – HE 1 Documento Básico de Ahorro de Energía. Ministerio de Fomento. 2013.
- [3] EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings- Calculation of energy use for space heating and cooling".
- [4] "Thermal Mass Explained". MPA The Concrete Centre. 2012.
- [5] "The influence of thermal mass on comfort". The Concrete Centre publication, Thermal mass for housing.
- [6] "Concrete for energy-efficient buildings. The benefits of thermal mass". European Concrete Platform. 2007 http://www.britishprecast.org/publications/documents/06-Energy_efficiency_brochure-3004071.pdf.
- [7] WGD-AHG ThermalMass. European Concrete Platform. 2015.
- [8] Desarrollo y evaluación del edificio ECHOR de alta eficiencia energética. IECA, Grupo Termotecnia Universidad de Sevilla. 2012 https://www.ieca.es/Uploads/docs/Universidad_de_Sevilla.pdf.
- [9] "Evaluation of demand shifting strategies with thermal mass in two large commercial buildings".
- [10] "Rapport de projet de fin d'études". Lafarge / Polytech Anancy-Chambéry. 2012.
- [11] Proyecto SINHOR. Análisis del comportamiento energético de los cerramientos de hormigón en base a la maximización de las ventajas derivadas de su inercia térmica. Grupo de Termotecnia de la Universidad de Sevilla, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, Estudio de Arquitectura Samler. 2015 https://www.ieca.es/Uploads/docs/DOCUMENTO_DIVULGATIVO.pdf.
- [12] "Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change". Hacker J., De Saulles T., Minson A. y Holmes M. 2006.
- [13] CEN/TC 350-Sustainability of construction works.

www.capacitacionhormigon.com

BECAS 2015
CEMENTO
HORMIGÓN

COMIENZO
INMINENTE

Máster Internacional en Aplicaciones del Cemento y del Hormigón/Concreto en el Diseño de Infraestructuras Viarias

Título Universitario por la
Universidad Internacional Isabel I

Matrícula abierta • 515 horas on-line

Para más información sobre las Becas 2015 y el programa del curso: WWW.capacitacionhormigon.com