

HACIA EL OBJETIVO DE LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO: LA **MASA TÉRMICA** EN LOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

La masa o inercia térmica constituye una de las propiedades inherentes a los materiales masivos, como es el caso del hormigón, que debidamente empleada contribuye a la mejora de la eficiencia energética de los edificios. Sin embargo, existen muchas lagunas técnicas en cómo sacar provecho real de esta característica. El siguiente artículo tratará de arrojar un poco de luz acerca de la inercia térmica del hormigón.

Alejandro López Vidal

INGENIERO INDUSTRIAL. DIRECTOR TÉCNICO ANDECE (ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL PREFABRICADO DE HORMIGÓN) Y SECRETARIO TÉCNICO SUBCOMITÉ DE AENOR AEN/CTN 198/SC1 SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. PARTE 1: EDIFICACIÓN

Antecedentes y situación reglamentaria

El Documento Básico Ahorro de energía DB-HE-1 "Limitación de la demanda energética" del Código Técnico de la Edificación español (CTE) 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 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 y queda ligada fundamentalmente a la mayor o menor colocación de materiales aislantes térmicos. 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 13790¹, 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 defi-

nirá el sentido del flujo de calor (exterior interior)².

Aunque no guarda una relación estrictamente directa, si se puede afirmar que depende de la densidad del material (\uparrow), de su calor específico (\uparrow) y es inversa a su conductividad térmica (\downarrow). 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.

En verano (o climas cálidos, exceptuando aquellos con gradiente térmico irrelevante, Ej. 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*).

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,

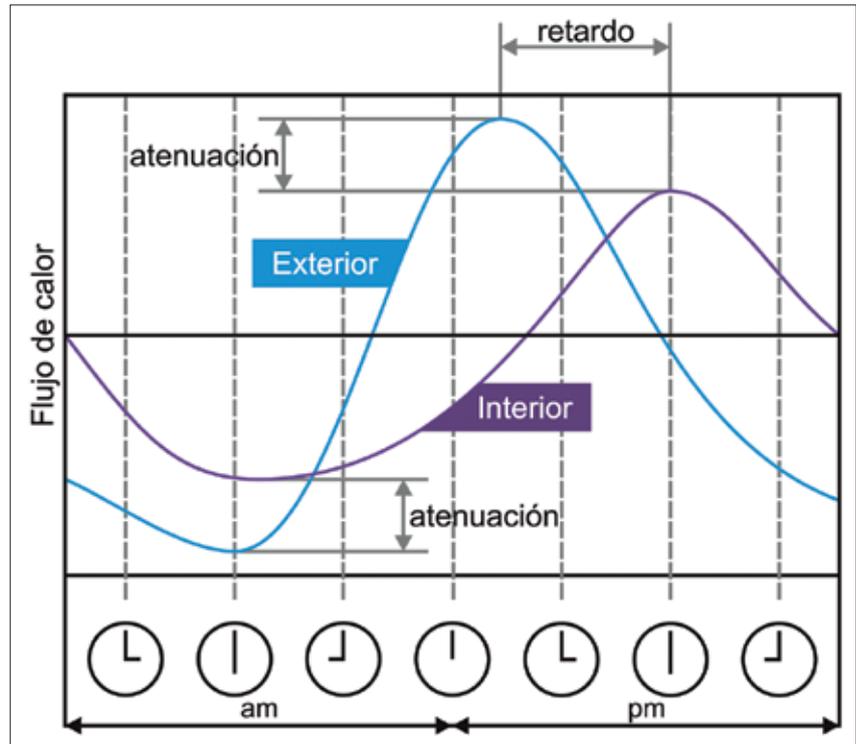


Figura 1.- La influencia de la masa térmica sobre el confort³. Para que se active, es necesario que exista un gradiente térmico entre el día y la noche

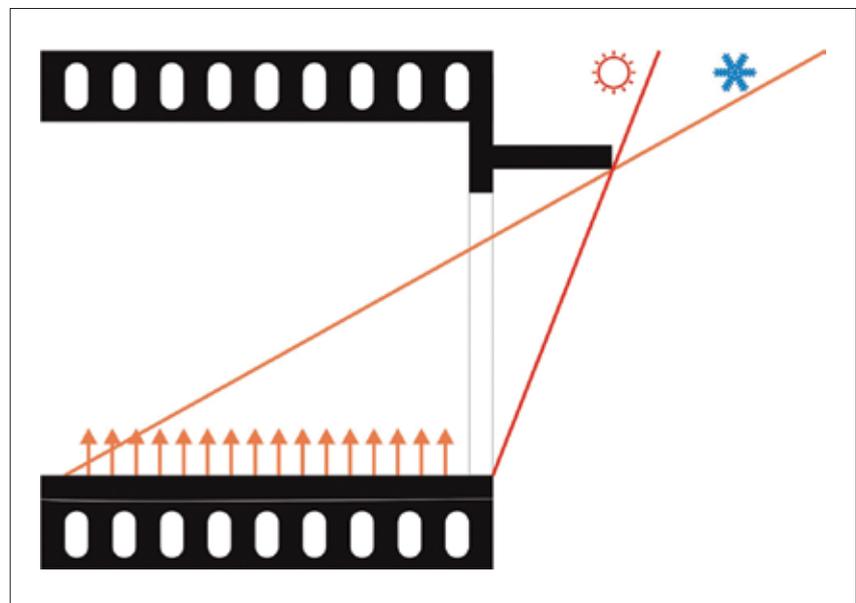


Figura 2.- Ángulos de radiación solar en verano e invierno.

o teniendo en cuenta la ventilación, muros trombe o parietodinámicos.

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.

Existen diversas referencias en cuanto a cuál es la contribución que se puede obte-



Figura 3.- Edificio ECHOR, construcción totalmente prefabricada en hormigón presentada en el certamen internacional Solar Decathlon celebrado en Madrid en 2012⁴, que sirvió de ejemplo para demostrar la alta inercia térmica de los edificios cerrados con hormigón



Figura 4.- Otros tipos de edificaciones como la industrial, la comercial o la logística, apuestan ya por la industrialización en hormigón. El paso decidido a su empleo dentro de los edificios residenciales, serán sólo una cuestión de aceptación por parte de proyectistas y usuarios.

ner 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 aho-

ros estimados en refrigeración de hasta un 20% y un 5% en calefacción.

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.

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/año⁵. 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 próxima actualización del DB HE-1.

...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.)⁶⁷. 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.

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 amplifican 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. Otra alternativa es hacer circular agua a diferentes temperaturas a través de canalizaciones embebidas en los elementos desde fábrica, con lo que se saca provecho de la inercia térmica del material.

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

La inercia térmica se puede utilizar para reducir las cargas pico de refrigeración en las horas centrales del día en edificios comerciales. 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.

Estudios recientes⁸ han determinado que en el caso de muros de hormigón aislados por el exterior, la inercia térmica aumenta hasta llegar a un espesor de 10 cm aprox., 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



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.



Figura 6.- Montaje de paneles prefabricados "sandwich", con aislamiento térmico incorporado y rotura de puente térmico. Fotografía cortesía de PREFABRICADOS HERMANOS QUIJADA

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-externa en hormigón.

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.

El objetivo principal del proyecto SINHOR⁹ fue parametrizar las variables fundamenta-

les 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 para conformar las



Figura 7.- Ciudad de la Justicia de Córdoba, cuya fachada ha sido resuelta fundamentalmente con paneles de GRC. Fotografía cortesía de PREHORQUISA.

particiones de los edificios, proporciona 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.
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.
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 edi-

ficio, 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.

Aquí cabe reseñarse la celebración el pasado mes de marzo en Madrid de un seminario técnico que organizó la Plataforma Tecnológica Española del Hormigón (PTEH) y "The Concrete Initiative" y cuyo objetivo fue mostrar los avances que se están realizando en este campo¹⁰. Es indudable que habrá que compatibilizar varias estrategias para alcanzar el objetivo de edificios de consumo de energía casi nulo, y entre éstas, deberá estar la inercia térmica por su enorme potencial para promover las ganancias térmicas en invierno, y limitar las ganancias en verano.

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. Esto además deberá ir íntimamente ligado a los análisis de ciclo de vida de los edificios, así como otros procedimientos de evaluación ambiental, en línea con la creciente demanda de soluciones constructivas sostenibles¹¹ y entre las que habría que destacar la progresiva generalización de las declaraciones ambientales de producto, como es el camino ya iniciado con los elementos prefabricados de hormigón¹². Será necesario el 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, así como una mejor implantación de esta características dentro de los programas de cálculo ◀◀

Referencias

- [1] EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings—Calculation of energy use for space heating and cooling
- [2] "Thermal mass: the smart approach to energy performance." The Concrete Initiative. 2015.
http://www.theconcreteinitiative.eu/images/Newsroom/Factsheets/7201_CEMBUREAU_ThermalMass2015-08-31.pdf
- [3] "The influence of thermal mass on comfort." The Concrete Centre publication, Thermal mass for housing.
- [4] "Desarrollo y evaluación del edificio ECHOR de alta eficiencia energética." IECA, Grupo Termotecnia Universidad de Sevilla. 2012
- [5] "Evaluation of demand shifting strategies with thermal mass in two large commercial buildings".
- [6] "Prefabricación, una apuesta clara y decidida por un enfoque de construcción eficiente." CIC Arquitectura y sostenibilidad. López Vidal, A. 2013
- [7] "Principios de construcción sostenible." Módulo 10. Curso de especialidad básica—Conocimiento de la construcción industrializada con prefabricados de hormigón o concreto. Máster Internacional de Soluciones Constructivas con Prefabricados de Hormigón o Concreto." ANDECE – STRUCTURALIA. 2015. www.capacitacionprefabricados.com
- [8] "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.
- [9] 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, IECA, Estudio de Arquitectura Samler. 2015
- [10] Seminario internacional sobre la contribución del hormigón a la eficiencia energética de la edificación. 2016
- [11] "Hacia la sostenibilización de la construcción." Ecoconstrucción, nº 42, 43 y 44. López Vidal, A. 2015
http://andece.org/images/BIBLIOTECA/hacia_construccion_sostenible1.pdf
<http://andece.org/images/BIBLIOTECA/ecoconstruccionII.pdf>
<http://andece.org/images/BIBLIOTECA/ecoconstruccionIII.pdf>
- [12] "Declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón." Ecoconstrucción, nº 46. López Vidal, A. 2016
http://andece.org/images/BIBLIOTECA/dap_ph_ecoconstruccion.pdf