

Proyectos de I+D+i 2012-2014



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



DOCUMENTO DIVULGATIVO



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



**Análisis del comportamiento energético
de los cerramientos de hormigón en base
a la maximización de las ventajas
derivadas de su inercia térmica**

Director del Proyecto por parte de la Consejería de Fomento y Vivienda: Juan Manuel Garcia Blanco

Gerente del Proyecto por parte de la Agencia de Obras Publicas: Maria Jose Sierra López

EQUIPO INVESTIGADOR

Universidad de Sevilla

Grupo de Termotecnia

| Servando Álvarez Domínguez (IP)
| Jose Luis Molina Félix
| Jose Manuel Salmerón Lissén
| Alicia Frades Sanz

Universidad de Cádiz

Grupo de Grupo de Máquinas y Motores Térmicos

| Francisco Sanchez de la Flor
| Alejandro Rincón Casado
| Álvaro Ruíz Pardo
| Jose Sanchez Ramos

Estudio de Arquitectura SAMLER

| Rafael Salmerón Lissén

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)

| César Bartolomé Muñoz
| Ricardo López Perona
| Arturo Alarcón

Colaboraciones

Universidad de Granada

| Julián Arcos Díaz

Universidad de Sevilla

| Ángela Barrios Padura

Universidad de Bilbao

| Iñaki Gomez Arriarán

Sevilla 27-02-2015

1. Introducción y antecedentes

En nuestra vida diaria somos usuarios de más de un edificio: nuestra propia residencia y el lugar de trabajo, para empezar, pero también somos usuarios de otros edificios, como los que prestan servicios docentes, sanitarios, culturales, etc. En cada uno de ellos se consume energía para satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración, pero también de disponibilidad de agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, cocción, lavado, conservación de los alimentos, ofimática, etc.

De acuerdo a los datos del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), la edificación representa un 24% del consumo total de la energía del país. Por otro lado, el consumo energético relativo a la climatización de los edificios en Andalucía representa el 33% de su consumo (proyecto CEVIAN, Universidad de Sevilla), lo que representa el 8% del total. Este porcentaje, además, tiende a incrementarse.

El proyecto que aquí se presenta tiene como objetivo reducir la demanda energética de climatización de los edificios potenciando la inercia térmica de un material tradicional en la construcción como es el hormigón.

Una definición sencilla de inercia térmica vendría a decir que es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Debido a esta capacidad, teniendo en cuenta la inercia térmica de los cerramientos de un edificio, puede disminuirse la necesidad de climatización, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes.

La inercia térmica mejora el comportamiento energético de los edificios porque permite la amortiguación en la variación de las temperaturas y el desfase de la temperatura interior respecto a la exterior.

En resumen, se trata del mismo efecto que se produce en las viejas catedrales de piedra, donde la temperatura interior se mantiene relativamente constante frente a las variaciones exteriores.

En el caso de una situación con elevada temperatura exterior y radiación solar, la temperatura exterior del cerramiento se eleva produciéndose una transferencia de calor hacia el interior del edificio. La evolución de la temperatura de la cara exterior presenta un máximo (máxima amplitud) en un momento en concreto del día en función de la ubicación y orientación del cerramiento. Esta onda de temperatura exterior se ve amortiguada, en cuanto a amplitud, al atravesar el cerramiento, surgiendo además 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.

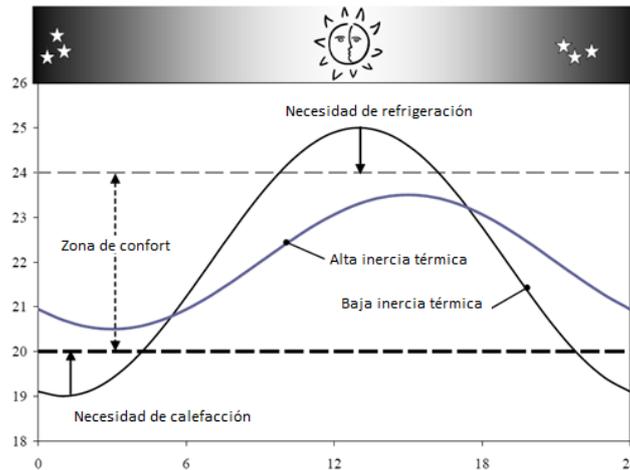


Figura 1: Atenuación de los picos de temperatura gracias a la inercia térmica del hormigón en cerramientos

La inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. No se trata de una magnitud física en sí misma, sino que depende de la masa, del calor específico y del coeficiente de conductividad térmica del material.

Esta propiedad se utiliza en construcción para conservar la temperatura del interior de los locales habitables más estable a lo largo del día, mediante muros de gran masa. En invierno, durante el día se calientan, y por la noche, más fría, van cediendo el calor al ambiente del local. En verano, por la noche se enfrían con una ventilación adecuada, para ceder este frío al ambiente a lo largo del día siguiente.

Las características físicas del hormigón, que es una piedra artificial, le confieren una gran inercia térmica, lo que permite predecir un comportamiento energético óptimo del edificio en el caso de que este material forme el núcleo interno (estructura) y externo (fachadas y cubiertas) del mismo. La utilización del hormigón como cerramiento de fachada y cubierta en la edificación:

- Reduce el consumo energético de calefacción.
- Suaviza las variaciones de la temperatura interna.
- Retrasa las temperaturas máximas en oficinas y edificios comerciales hasta la salida de sus ocupantes.
- Reduce los picos de las temperaturas (máximas y mínimas) y puede hacer innecesaria la climatización.
- Puede emplearse con la ventilación nocturna para eliminar la necesidad de enfriamiento durante el día.
- Hace un mejor uso de las fuentes de calefacción de baja temperatura, tales como bombas de calor para suelos radiantes.

En general el efecto de la inercia térmica en los cerramientos es una variable no considerada habitualmente en el diseño del edificio. Además de su difícil modelización para proyectistas y prescriptores, las herramientas de cálculo no han sido sensibles a este parámetro y el conocimiento de sus potenciales beneficios no ha sido considerado adecuadamente por la comunidad técnica y científica.

2. Objetivos del proyecto

El **objetivo principal** del proyecto es 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. Este hecho contribuiría decisivamente a poner en valor el papel de las soluciones de hormigón como elemento de mejora de la eficiencia energética.

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.

Adicionalmente a este objetivo general, se establecen como objetivo asociado el desarrollo de un diseño innovador de cerramiento tanto para obra nueva como para rehabilitación (solución SINHOR) que permita, a partir del conocimiento adquirido durante el análisis del proceso de calentamiento y enfriamiento del contorno de hormigón, maximizar el beneficio energético derivado de la inercia térmica del hormigón.

La optimización global de la solución SINHOR no implica su comportamiento óptimo, bien en verano o bien en invierno, sino el comportamiento óptimo global. Por este motivo, los espesores del muro de hormigón, del aislamiento y la tipología y grosor de vidrio han sido optimizados para una orientación sur, de manera que la demanda energética global del edificio a lo largo de todo el año sea mínima, tabulando las soluciones óptimas para cada zona climática del territorio andaluz en una GUIA DE DISEÑO.

Esta GUIA proporciona tablas y mapas climáticos que permiten, de manera sencilla, obtener las variables de diseño de la solución SINHOR en diferentes situaciones y áreas climáticas. Se deriva de cálculos previamente realizados a lo largo del proyecto y permite al proyectista una toma de decisiones rápida y eficiente. Ahora bien, si el proyectista quiere aumentar la precisión de los cálculos para una zona climática o para un edificio específico, es necesario que utilice los programas de cálculo de demanda energética que también se han desarrollado a lo largo del proyecto.

3. ¿Por qué es necesario el proyecto SINHOR?

Para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por la Unión Europea y sus estados miembros en materia de reducción de emisiones, minimizar el consumo energético en edificios figura con la máxima prioridad. Por este motivo, en 2010 se publicó la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, que es una refundición de anteriores directivas relacionadas. Esta Directiva marca que a partir del 31 de diciembre de 2020 será obligatorio que todos los edificios de nueva construcción sean edificios de consumo de energía casi nulo, siendo la fecha límite el 31 de diciembre de 2018 la fecha límite para los edificios propiedad de autoridades públicas.

Además la Directiva establece que *“los edificios existentes que son objeto de reformas importantes deben cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética adaptados a las condiciones climáticas locales”*.

En esta misma línea se expresa la Ley 1/2010 Reguladora del derecho a la Vivienda en Andalucía en su artículo 3: *“Las viviendas que se construyan en Andalucía tendrán que*

ser viviendas dignas y adecuadas, debiendo incorporar parámetros de sostenibilidad y eficiencia, como los relativos a adaptación a las condiciones climáticas, minimización de impactos ambientales, reducción de ruido, gestión adecuada de los residuos generados, ahorro y uso eficiente del agua y la energía y utilización de energías renovables”.

Además, en su artículo 17 esta ley realza la importancia de la conservación, mantenimiento y rehabilitación: *“la actuación de las Administraciones públicas andaluzas irá dirigida al fomento de la conservación, mantenimiento, rehabilitación, accesibilidad, sostenibilidad y efectivo aprovechamiento del parque de viviendas”.*

El desarrollo y la utilización de la inercia térmica del hormigón en edificios existentes y de nueva construcción se adecua a las necesidades recogidas tanto en la Directiva 2010/31/UE como en la Ley 1/2010 por los siguientes motivos:

- Presenta unos ahorros potenciales superiores al 50% con respecto a la construcción convencional.
- Es una medida que no requiere de grandes desarrollos tecnológicos, por lo que puede ser de aplicación en el corto plazo, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos en 2020. Adicionalmente, este punto permitirá una pronta llegada al mercado y, por lo tanto, un rápido retorno de la inversión.
- Puede ser de aplicación tanto a obra nueva como a edificios existentes sometidos a una rehabilitación energética (el proyecto propone el desarrollo de un catálogo de soluciones constructivas innovadoras que así lo permitan).
- Los edificios con contorno y estructura de hormigón presentan ventajas adicionales que mejoran la sostenibilidad de la edificación: tienen una vida útil superior a los 100 años, garantizan la seguridad estructural frente acciones exteriores imprevistas (sismo, inundaciones, fuertes vientos, etc.), resistencia al fuego (compartimentación y resistencia REI 180), aislamiento acústico con el exterior y entre las diferentes instancias de un edificio (12 cm de hormigón aíslan frente a un ruido aéreo de 55 dBA que se producen en las zonas cercanas a los aeropuertos), etc.
- La mejora de la eficiencia energética de los edificios aprovechando la inercia térmica es de plena aplicación en España en general y en Andalucía en particular, donde los gradientes térmicos entre el día y la noche son muy elevados y donde la radiación solar anual es muy alta.

4. ¿Por qué es innovador el proyecto SINHOR?

La investigación que propone el proyecto avanza con respecto a lo ya investigado previamente en los siguientes puntos:

- Evoluciona de un estudio estrictamente numérico a la construcción de un edificio prototipo para hacer un análisis real de sus capacidades térmicas.
- Permite avanzar hacia unas tablas pre-normativas, simplificando el cálculo y evitando que los proyectistas tengan que realizar un estudio individual con elementos finitos de cada uno de los edificios que diseñen si quieren tener en cuenta los efectos de la inercia térmica de los materiales.

- No se limita a analizar diseños apriorísticos, sino que es proactivo en este sentido, proponiendo y analizando nuevos diseños arquitectónicos que permiten activar de manera óptima la inercia térmica de los materiales.
- Aporta diseños no sólo destinados a obra nueva, sino también a la rehabilitación de edificios existentes.

5. ¿En qué ha consistido el proyecto SINHOR?

El proyecto SINHOR se ha dividido en cuatro fases:

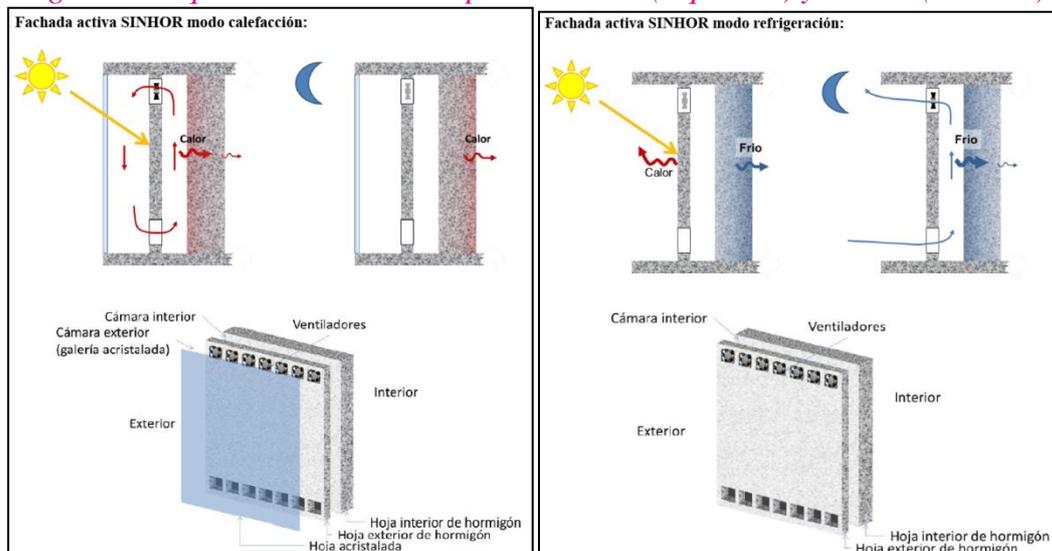
1. La fase inicial del proyecto consistió en el análisis teórico de potenciales soluciones y el diseño de la solución SINHOR, un cerramiento de alta eficiencia energética en base a una elevada inercia térmica.
2. En una segunda fase, la solución SINHOR se integró en un prototipo de dimensiones reducidas (3 x3 m²) completamente monitorizado.
3. Fase 3: A lo largo de un año completo se han realizado mediciones de temperaturas y del movimiento del aire en el entorno y en diferentes puntos del interior del prototipo.
4. En la fase 4 se han analizado los resultados obtenidos, se ha optimizado la solución SINHOR y se han elaborado las conclusiones del proyecto.

5.1 Fase 1: diseño de la solución SINHOR

La solución de mayor potencial debía ser capaz de reducir la demanda energética de calefacción durante los meses de invierno y la demanda energética de refrigeración durante los meses de verano sin necesidad de modificaciones sustanciales de su diseño.

Con este objetivo, se ideó una solución compuesta de tres hojas: un vidrio exterior, un muro intermedio con aislamiento en la cara interna y provisto de una batería de ventiladores y un muro interior de hormigón que se usará como elemento de alta inercia térmica para la carga y la descarga.

Figura 2: Esquema de la solución para invierno (izquierda) y verano (derecha)



La principal modificación que sufre la solución SINHOR en el paso de invierno a verano es la eliminación de la cristalera que forma la hoja exterior de la cámara. En la práctica, no es necesario eliminar la cristalera, siendo suficiente ventilar dicha cámara para evitar el efecto invernadero. Este objetivo se puede conseguir de manera sencilla con un mecanismo de paneles plegables.

Los ventiladores del muro intermedio permiten activar la convección forzada para transferir el calor solar en invierno a la hoja inerte y permitir la disipación de calor al aire exterior durante las noches de verano.

5.2 Fase 2: Construcción y monitorización del prototipo

El prototipo en el que se integró la solución SINHOR se construyó en la fábrica de cemento de Alcalá de Guadaíra por cortesía del Grupo Cementos Portland Valderrivas.

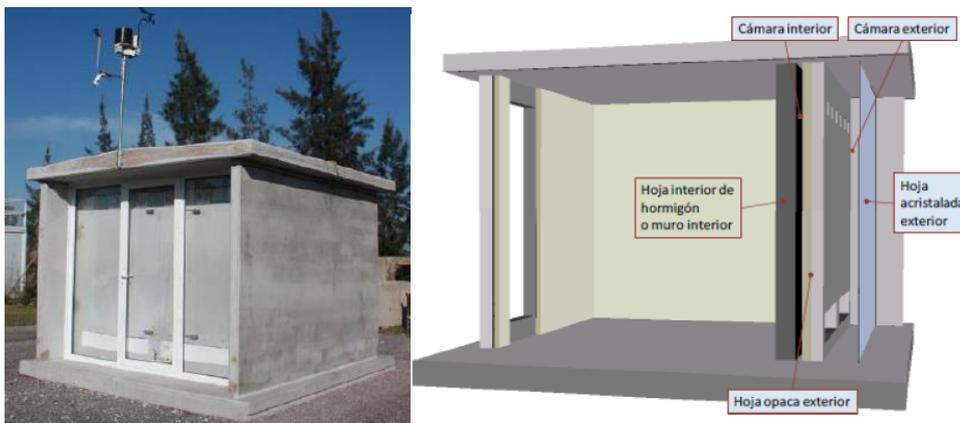


Figura 3: Prototipo enclavado en Alcalá de Guadaíra

Dicho prototipo estaba completamente monitorizado para medir temperaturas interiores, exteriores y la velocidad de movimiento del aire en el interior de la cámara.



Figura 4: Sensores y esquema de monitorización del prototipo

5.3 Fase 3: Mediciones

A lo largo de un año completo se han analizado todas las mediciones de los diferentes sensores.

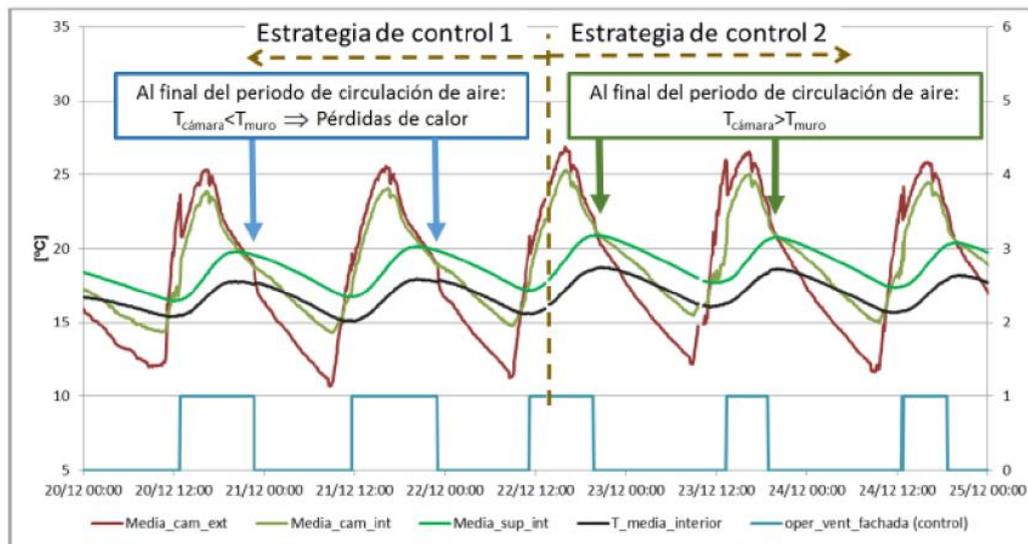


Figura 5: Mediciones de temperatura diarias en el prototipo

5.4 Resultados

La solución SINHOR ha tenido un comportamiento energético excelente y se ha ajustado a las previsiones realizadas antes de comenzar el proyecto.

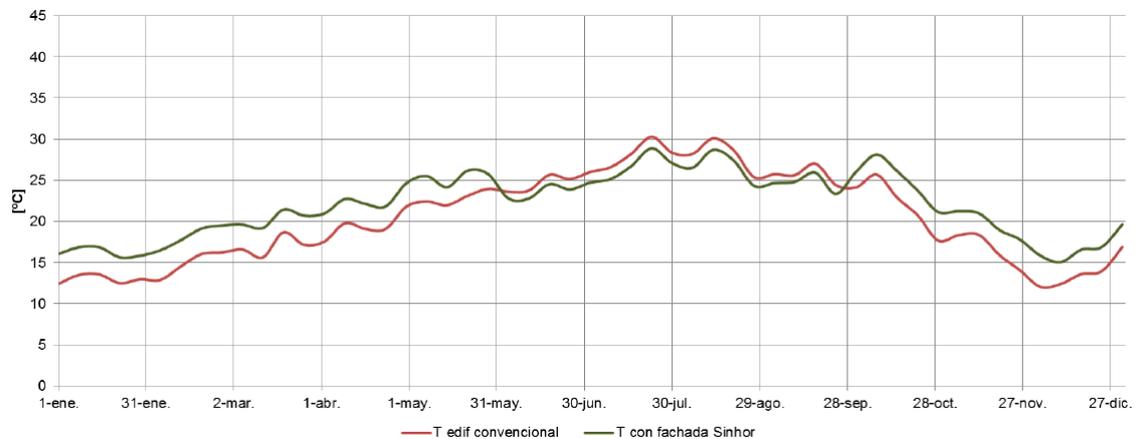


Figura 6: Comparación de las temperaturas semanales medias a lo largo de un año en un edificio convencional y de un edificio con la solución SINHOR (Sevilla)

En una localidad como Sevilla, la solución SINHOR permite aumentar la temperatura de la vivienda en más de 3°C de media en invierno y reducirla en aproximadamente 2°C en verano.

En base a los resultados obtenidos, se han elaborado una serie de herramientas para permitir que los proyectistas puedan utilizar de manera sencilla la solución SINHOR:

1. Cuatro herramientas informáticas específicas de fácil manejo que permiten evaluar de manera precisa las reducciones de demanda energética que se consiguen con la utilización de la solución SINHOR:

- Programa para cálculo de la redistribución de radiación solar en recintos.
- Programa para cálculo del patrón de flujos en edificios multizona.
- Protocolo de simulación CFD para cálculo de los coeficientes de película.
- Software de caracterización de las Fachadas Activas SINHOR

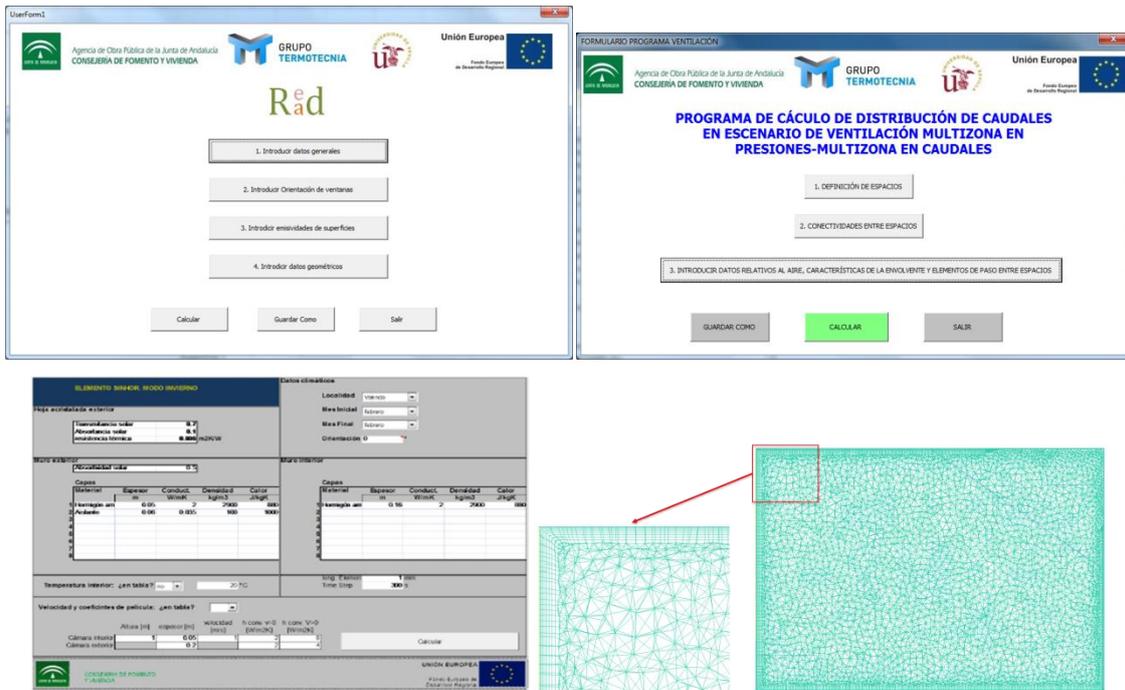


Figura 7: Herramientas informáticas desarrolladas para la solución SINHOR

2. Tablas pre-normativas que sirvan como indicación de las condiciones necesarias para conseguir activar las diferentes superficies de los recintos en las que eventualmente se concentrará la inercia térmica.

Tabla 2a. Condiciones necesarias para que el coeficiente de película sea superior a $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($L/H=2$)

Recinto Rectangular L/H=2	Superf. 1	Superf. 2	Superf. 3	Superf. 4
Tipo 1		Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 2 Renov. Hora = 10	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 0.5 Renov. Hora = 40	
Tipo 2		Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 2 Renov. Hora = 20	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 0.5 Renov. Hora = 40	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 0.5 Renov. Hora = 40
Tipo 3		Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 1 Renov. Hora = 40	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 1 Renov. Hora = 20	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 1 Renov. Hora = 20
Tipo 4		Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 1 Renov. Hora = 20	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 0.5 Renov. Hora = 40	
Tipo 5			Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 1 Renov. Hora = 20	Ancho entrada = 0.1 Ancho salida = 0.1 Renov. Hora = 40

INVIERNO						
ORIENTACIÓN	F _i Techo	F _i Suelo	F _i Pared Izquierda	F _i Pared Derecha	F _i Pared Fondo	F _i Pared Exterior
	6%	30%	45%	5%	4%	7%
	5%	52%	22%	4%	10%	3%
	6%	63%	7%	6%	10%	4%
	5%	64%	8%	12%	4%	4%
	5%	69%	4%	9%	6%	4%
	5%	59%	4%	20%	4%	4%
	5%	42%	4%	35%	4%	7%

*Superficie 4.24 x 4.24 m y % acristalado = 30%

Figura 8: Tablas prenortativas

3. Fichas constructivas y detalles para la ejecución utilizables para la implementación de soluciones de fachadas activas en proyectos de rehabilitación.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS CERRAMIENTOS DE HORMIGÓN EN BASE A LA MAXIMIZACIÓN DE LAS VENTAJAS DERIVADAS DE SU INERCIA TÉRMICA

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA PARAMENTOS VERTICALES INERCIA TÉRMICA HORMIGÓN (REPVITH).

FICHAS

- REPVITH. 1. ESTADO ACTUAL
- REPVITH. 2. DISEÑO INTERVENCIÓN
- REPVITH. 3. EJECUCION.
- REPVITH. 4. DISEÑO ENCIENTROS.
- REPVITH. 5. EJECUCION ENCIENTROS.
- REPVITH. 6. CONTROL DE EJECUCIÓN.

CERRAMIENTO BASE	TIPO	NOMBRE DE LA FICHA	ESTADO ACTUAL	DISEÑO	ENCUENTROS	EJECUCIÓN	CONTROL
Capuchina	Ladrillo visto cerámico	REPVITH-H	REPVITH-H.1	REPVITH-H.2	REPVITH-H.4	REPVITH-H.3-5	REPVITH-H.6

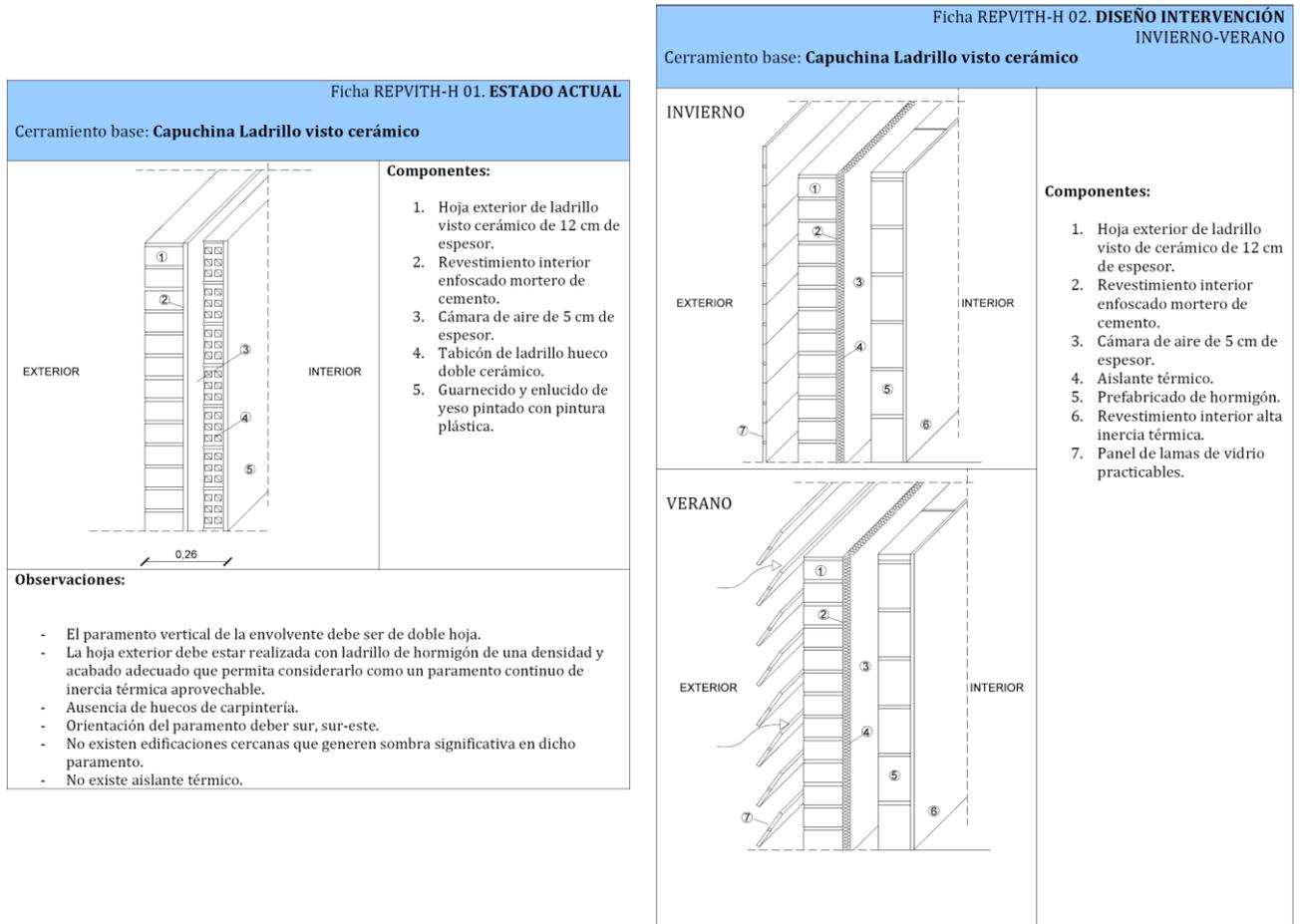


Figura 9: Fichas constructivas para la integración de la solución SINHOR en edificios existentes

4. Guía de Diseño de fachadas activas SINHOR para Andalucía. Comprende una secuencia de mapas, tablas y ejemplos que van guiando al diseñador en el proceso de toma de decisiones.

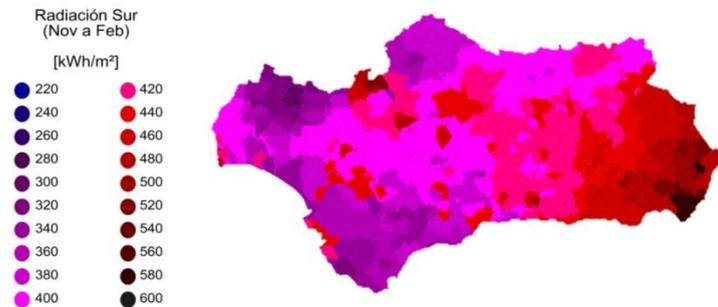


Figura 10: Mapa de radiación solar sur en Andalucía. Herramienta de diseño incluida en la Guía de Diseño de la solución SINHOR

Determinación de la solución/es viable/s en función del área necesaria y el área efectiva. Que indica el tamaño de fachada activa necesaria para convertir un edificio que cumpa estrictamente los valores límite del CTE en un edificio pasivo. Se incluye mapa para viviendas de 100 m2 en régimen de calefacción

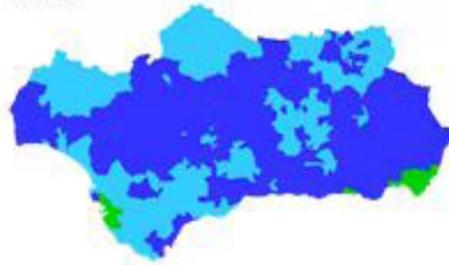


Figura 11: Mapa de área de fachada SINHOR necesaria para eliminar completamente la demanda de calefacción en viviendas menores a 100m² en Andalucía. Herramienta de diseño incluida en la Guía de Diseño de la solución SINHOR

Determinación de los detalles constructivos óptimos para los cuales se han elaborado los mapas de área necesaria. Se incluye ejemplo de mapa para invierno suponiendo acristalamiento bajo emisivo.

Diseños óptimos para invierno
con vidrio bajo emisivo
Menor coste de vida a 30 años
FU 12h

- Tipo 41
- Tipo 53
- Tipo 54



TIPO	ESPEJOR HOJA INTERIOR	TIPO VIDRIO	ESPEJOR AISLANTE	VELOCIDAD CAMARA INTERIOR
TIPO 41	8 cm	Doble bajo emisivo U= 2,40 W/m ² K	---	0.05 m/s
TIPO 53	8 cm	Doble bajo emisivo U= 2,40 W/m ² K	6 cm	0.50 m/s
TIPO 54	8 cm	Doble bajo emisivo U= 2,40 W/m ² K	6 cm	1.00 m/s

Figura 12: Mapa de diseño de fachada SINHOR necesaria para eliminar completamente la demanda de calefacción en viviendas menores a 100m² en Andalucía. Herramienta de diseño incluida en la Guía de Diseño de la solución SINHOR

6. Conclusiones y desarrollos futuros

El proyecto ha permitido crear una infraestructura integrada de información y cálculo que permitirá al proyectista:

- En fase de diseño, conocer los elementos de los recintos que son particularmente activados por la radiación solar o por los eventuales esquemas de ventilación nocturna. Esos elementos son en los que se debe concentrar la inercia del edificio para combatir las demandas de calefacción y/o refrigeración.
- En fase de desarrollo del proyecto poder calcular, con los paquetes de software desarrollados, el efecto individual y conjunto (en base horaria, mensual y estacional) de una disposición concreta de la inercia para un edificio y un clima dado.

Finalmente, poder integrar y poner en valor los cálculos anteriores en las herramientas de certificación energética y cumplimentación del código técnico.

En general, los resultados obtenidos han permitido concluir que los diseños propuestos son excelentes y generarían unas reducciones de las demandas de calefacción considerables en prácticamente toda la geografía andaluza suponiendo que los edificios están convenientemente orientados.

Se han revelado asimismo aspectos de mejora que constituirían líneas de trabajo futuras tales como ampliar el concepto a cubiertas para poder cubrir edificación no residencial con pocas plantas como por ejemplo hipermercados, o proponer sistemas modulares de prefabricación de las fachadas activas.

