

A

# CONGRESO E4R

Casos Prácticos de Rehabilitación Energética de Edificios  
12-13 Noviembre 2012, Centro de Convenciones MAPFRE Madrid

[www.e4rproject.eu](http://www.e4rproject.eu)



ORGANIZAN



GOBIERNO DE EXTREMADURA

Consejería de Fomento, Vivienda,  
Ordenación del Territorio y Turismo



## Comité Científico E4R

Álvaro Pastor	AIDICO
Ana Sofia Guimarães	INEGI/FEUP
Ana M <sup>a</sup> Vizcaino Galán	Gobierno de Extremadura
André Martínez	EIGSI
Beatriz Montalbán	UEX
Dhaker Abbes	EIGSI
Diana Mora	AIDICO
Eduardo Montero	Profesional libre
Esther Gamero Ceballos	Gobierno de Extremadura
Irene Montero	UEX
Isabel Sarmiento	INEGI
Javier Rivadulla	UDC
José Antonio Tenorio	IETCC
José Luís Vivancos	UPV
Manuel Romero	ETRES
María Ortiz	AVEN
Maxime Fantino	EIGSI
Pablo Carrasco	ITG
Pedro Ginés Vicente	UMH
Rui Sá	INEGI
Sonia Zaragoza	UDC
Valeriano Ruíz Hernández	Universidad de Sevilla
Javier Neila	UPM
Sagrario Conejero	Gobierno de Extremadura
Javier Serra	Ministerio de Fomento
Pedro Prieto	IDEA
Justo García	Profesional libre
Fernando Lopez Rodriguez	AGENEX

## Comite Organizador E4R

Alejandro García	AIDICO
Belén Chirivella	AIDICO
Sagrario Conejero	Gobierno de Extremadura
Santiago Rodríguez	ITG
Sergio Muñoz	AIDICO

A

A

# Herramientas y metodologías de diseño

## PROTOTIPO DE PLACA CERÁMICA EVAPOTRANSPIRADORA PARA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS EN CLIMAS CÁLIDOS.

Morillo, Bernardino

*Consejería de Fomento, Vivienda Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura, Mérida, España*

Esta publicación aborda el estudio, diseño, prototipado y comprobación de un modelo de cerramiento autoorganizado complejo. Se denomina cerramiento autoorganizado complejo a la división interior-exterior que está basada en varios principios activos para autorregularse, en este caso, para autorrefrigerarse.

El proceso de diseño está fundamentado en el diseño paramétrico para la optimización del cerramiento en función de la orientación, inclinación y latitud del mismo.

La fabricación se ha llevado a cabo mediante procesos CAM (Computational Aided Modelling) Posteriormente se ha contado con la colaboración del taller cerámico tradicional para la ejecución de los prototipos.

Los ensayos y experimentos se han basado en estudios comparativos de dos piezas iguales, sometidas a las mismas condiciones ambientales de trabajo, una de ellas con evapotranspiración y otra sin evapotranspiración.

Los resultados obtenidos tienen como objetivo determinar la efectividad de este tipo de cerramientos y los comportamientos de la pieza propuesta según las condiciones ambientales simuladas.

### 1 ANTECEDENTES.

Diseñar pensando en las condiciones de verano es mucho más difícil que hacerlo para las condiciones de invierno, ya que no existen fuentes naturales de refrigeración como alternativa al Sol. La dificultad radica en la propia naturaleza, que no ha sido tan generosa en condiciones de verano como lo es en condiciones de invierno.

En cualquier parte del mundo, por muy fría que sea, y en cualquier época del año, siempre se puede generar calor gratuito aprovechando la radiación del Sol o combustión de biomasa. A esto se le añade el hecho de que cualquier proceso mecánico, biológico o eléctrico, tiene como resultado calor.

Es más problemático producir frío que calor, y el coste energético, económico y ecológico del confort actualmente es mayor para las sociedades con climas cálidos que los fríos.

Es necesario generar nuevos sistemas que produzcan un confort más barato, pudiendo mejorar la competitividad con los países de climas fríos más "afortunados" según estos principios.

La siguiente investigación parte de anteriores investigaciones sobre fundamentos físicos aplicables a los cerramientos en arquitectura como: vidrios electrocrómicos, cámaras de aire de volumen variable, cerramientos inflables, enfriamiento evaporativo...

### 2 OBJETIVOS.

Se abordará el estudio, diseño, prototipado y comprobación de un modelo de cerramiento autoorganizado complejo. Se denomina cerramiento autoorganizado complejo a la división interior-exterior que está basada en varios principios activos para autorregularse, en este caso, para autorrefrigerarse.

### 3 METODOLOGÍA.

La metodología de trabajo ha sido la siguiente:

*Fundamentos:* Para el estudio de las variantes del cerramiento aislado por evapotranspiración se ha estudiado los mecanismos naturales de la evapotranspiración y su aplicación actual, así como los métodos de cálculo de este fenómeno.

**Diseño:** El proceso de diseño está fundamentado en el diseño paramétrico para la optimización del cerramiento en función de la orientación, inclinación y latitud del mismo.

**Fabricación:** La fabricación se ha llevado a cabo mediante procesos CAM (Computational Assited Modelling) gracias a los equipos a disposición del alumnado de este máster en el Fablab ETSA Sevilla. Posteriormente se ha contado con la colaboración del Taller Cerámico Isabel Parente para la ejecución de los prototipos.

**Ensayos y experimentación:** Los ensayos y experimentos se han realizado en el laboratorio de Construcción del Dpto. CA1 de la ETSA Sevilla. Éstos se han basado en estudios comparativos de dos piezas iguales, sometidas a las mismas condiciones ambientales de trabajo, una de ellas con evapotranspiración y otra sin evapotranspiración.

### DISEÑO.

El diseño propuesto optimiza el funcionamiento de la evapotranspiración gracias al aumento de la superficie expuesta al exterior mediante la ondulación de la pieza.

Cuanta más cantidad de ondas exista (menor sea su longitud de onda) y mayor sea su altura (mayor su amplitud) la superficie exterior será mayor. Su resistencia también aumentará según estos parámetros.

Para seleccionar la longitud de onda y la amplitud del senoide se ha realizado una comparativa entre diferentes valores y la superficie obtenida del prototipo para una superficie proyectada de 1 m<sup>2</sup>.

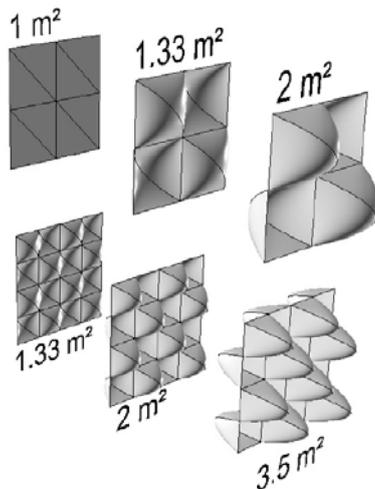


Ilustración 1 Diferentes propuestas de ondulación para una superficie proyectada de 1 m<sup>2</sup>

La longitud de onda es logarítmica con respecto a la superficie; para longitudes de onda altas (400 mm con 50 mm de amplitud) la superficie es muy baja (1.26 m<sup>2</sup>), para longitudes de onda bajas (10 mm con 50 mm de amplitud) la superficie es muy alta (15.089 m<sup>2</sup>). Existe una inflexión desde 200 mm hasta aproximadamente 30 mm en los que la superficie aumenta en gran medida, por eso contar con longitudes de onda bajas es muy recomendable, ya que aumenta mucho la superficie obtenida.

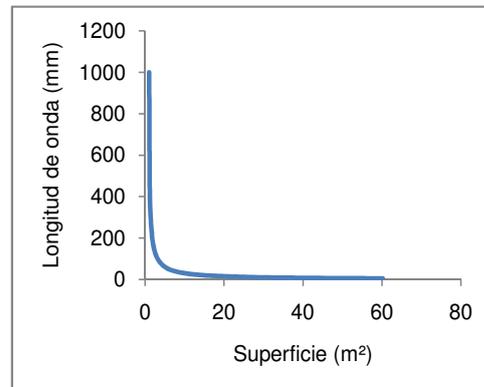
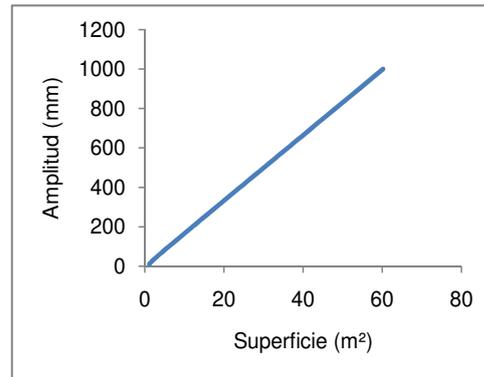


Gráfico 1 Estudio del aumento de superficie según la amplitud con longitud de onda = 100 mm (arriba) la longitud de onda con amplitud = 50mm (abajo) para una superficie sinusoidal de 1 m<sup>2</sup> de proyección

Para el prototipo hemos seleccionado una ondulación con módulos de 30 mm (longitud de onda) para poderlas fabricar con comodidad y con una altura total (altura = 2 veces la amplitud) de 6 cm para que el espesor total del prototipo sea bajo (unos 11 cm). La superficie expuesta total es 2.38 veces la superficie proyectada.

La ondulación también persigue objetivos de adecuación climática. En verano, cuando el Sol está más alto (en Sevilla a 76°), las ondulaciones arrojan sombra sobre la pieza, haciendo que la superficie soleada sea menor que el total expuesto. En

invierno, cuando el Sol está bajo (en Sevilla a 18°) ilumina toda la pieza, haciendo que la radiación captada sea mayor y aumentando los beneficios del soleamiento.

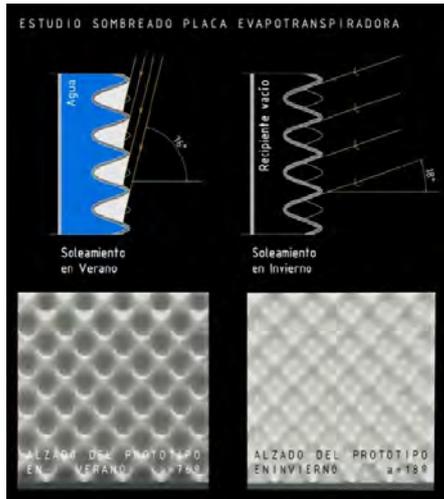
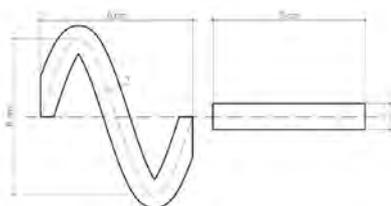


Ilustración 2 Estudio de soleamiento en invierno y verano del prototipo de placa cerámica orientada al Sur para Sevilla. Verano  $\alpha=76^\circ$  Invierno  $\alpha=18^\circ$

La ondulación también supone un aumento de resistencia debido al aumento de inercia de la sección de la cara expuesta.

Una sección ondulada sinusoidal de 3 cm de amplitud y 6 de longitud de onda con 1 cm de espesor tiene 100 veces más inercia que una sección plana de las mismas características (ver ilustración 2).



$I_o = 48.22 \text{ cm}^4$	$I_p = 0.5 \text{ cm}^4$
$A = 12.94 \text{ cm}^2$	$A = 6 \text{ cm}^2$

Ilustración 3 Comparativa del momento de inercia de una sección ondulada y sección rectangular.

### MATERIAL CERÁMICO: "LOZA EUROPA"

El material seleccionado para realizar los prototipos ha sido barbotina, una mezcla de agua y arcilla para poder realizar piezas cerámicas huecas. La arcilla debe ser especial para su disolución en

agua. Hemos seleccionado arcilla con una temperatura de cocción entre 1000-1150°C para conseguir cerámica porosa. Su nombre comercial es "loza europa" y su composición es:

- Arcilla (90%): kaolinita (25%), mica (10%) y cuarzo (65%).
- Silicato de sodio (0.1%): para la dispersión de las partículas.
- Carbonato de sodio (0.4%): para la dispersión de las partículas
- Agua (9.5%)

El método de fabricación ha sido por colada para conseguir una pieza hueca por el interior y un mayor tamaño y cantidad de poros ya que no se aplica presión durante el proceso. El resultado ha sido una cerámica totalmente blanca. La disminución del volumen de la pieza es del 3% aproximadamente con respecto al molde debido a la pérdida de agua. Este material es el mismo que se utiliza para los aparatos sanitarios.

### MODELADO PARAMÉTRICO.

Para el diseño del prototipo se ha realizado una definición paramétrica. Hemos utilizado el plugging de Rhinoceros 4.0 "Grasshopper" en su versión 0.8.001 para la elaboración de las definiciones. Gracias a este tipo de programas en lugar de generar una geometría concreta podemos generar una "familia" de geometrías controladas por parámetros variables.

Hemos relacionado los ángulos que definen la posición de un plano en 3 parámetros configurables (azimut, latitud e inclinación) y según estos 3 datos se orienta la definición. También podemos modular el tamaño del paño en más o menos celdas.

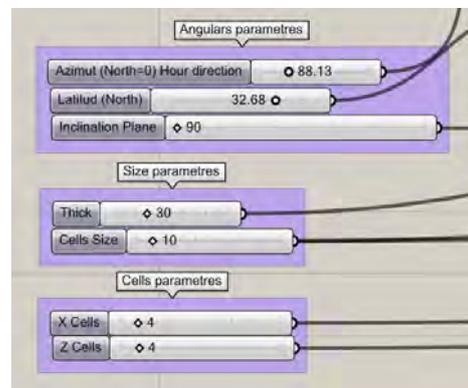


Ilustración 4 Parámetros variables en la definición 2. "Angulars p." controlan la orientación de las ondas "Size p." el tamaño de los módulos y "Cell p." la cantidad de módulos

A

## PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de los prototipos de cerramiento cerámico evapotranspirador está basado en el proceso tradicional de molde de colada.

Una vez definido el modelo en el programa de diseño paramétrico hemos realizado la matriz de la pieza en poliestireno extruido de alta densidad. Para su fabricación hemos usado la fresadora de control numérico a través de un archivo de estereolitografía (.stl). La matriz se fabricó por partes para facilitar montaje.

## PREPARACIÓN DE ENSAYOS

Una vez construido el prototipo se procedió al diseño de ensayos de simulación de comportamiento en el laboratorio de construcción del Dpto. de CA1. Los ensayos se han planteado como semicuantitativos, se busca la valoración del efecto de la evapotranspiración y de inercia térmica del agua contenida.

Los parámetros a medir serán la temperatura, la humedad, la radiación, el tiempo de radiación y la respuesta del prototipo; ésta se evaluará mediante termografía.

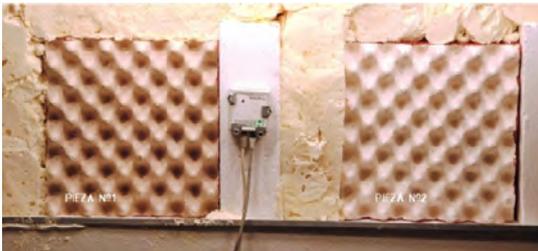


Ilustración 5. Muestras de los prototipos de cerramiento cerámico evapotranspirador v1.0 a estudiar.

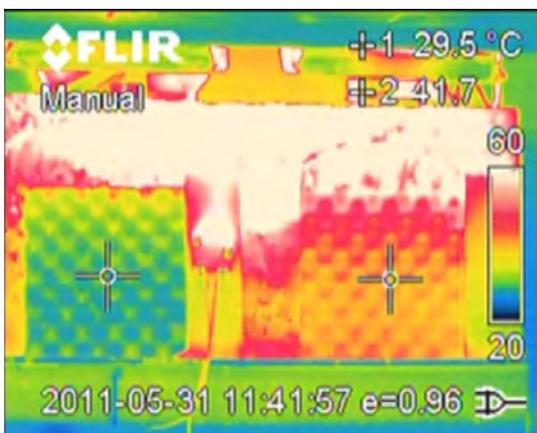


Ilustración 6. Captura de video durante uno de los experimentos mediante FLIR B40 + Kworld TV hibryd mini box USB".

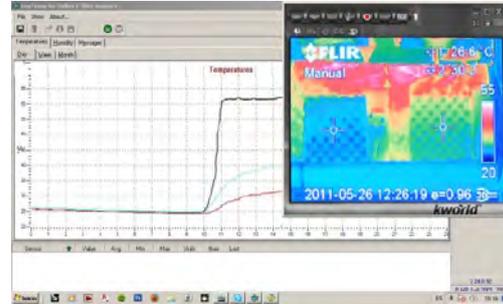


Ilustración 7. Pantalla de netbook con el software utilizado durante los experimentos. LogTemp (izquierda) y capturadora de imagen kworld multimedia (derecha)

## ENSAYOS

Los ensayos tienen como objetivo:

1. Analizar la mejora del confort que puede llegar a suponer este tipo de dispositivos según los valores interiores de temperatura y humedad obtenidos en ambas cámaras.
2. Estudiar la repercusión que tiene la inercia térmica del agua en el interior de la pieza en el proceso de evaporación, con ello se pretende optimizar el diseño de la pieza bien sea aumentando, reduciendo o eliminando la cámara de agua interna.

Con este fin se diseñan 2 ensayos específicos manteniendo una de las muestras sin llenar de agua y otra con periodos de llenado según el objetivo deseado:

1. En el experimento 1 la pieza n°1 estuvo totalmente llena de agua durante toda la jornada, suministrándose agua conforme la iba necesitando, la pieza n°2 permaneció seca.
2. En el experimento 2 la pieza n° 1 se mantenía húmeda del día anterior y se vació de agua antes de someterse a la misma radiación del día anterior, la pieza n° 2 permaneció seca.

## 4 RESULTADOS.

### EXPERIMENTO 1.

#### Temperatura

Al inicio de las mediciones las "habitaciones", el exterior, y el laboratorio presentaban una temperatura idéntica, alrededor de 25 °C. Al iniciar el proceso de radiación la temperatura ascendía más rápidamente en el exterior que en el interior al no tener aislamiento, a las 2 horas aproximadamente la temperatura exterior se estabilizó a 62°C.

En las cámaras, el ritmo de calentamiento de la cámara 1 vuelve a ser menor que en la cámara 2. Finalmente la temperatura en ambas cámaras también se estabilizó a las 5 horas aproximadamente, siendo la diferencia de temperatura entre las mismas de 6.5°C.

La temperatura de los prototipos al exterior (medida con la cámara termográfica) tienen una diferencia mínima, al inicio del experimento, de 2.6 °C y una diferencia máxima de 13°C cuando la temperatura interior de las cámaras se ha estabilizado a las 5 horas aproximadamente.

#### Humedad

Al inicio de las mediciones la "cámara" 1 estaba más húmeda que la n° 2 debido a que la pieza conservaba la humedad de las pruebas de llenado y, pese a los medios de impermeabilización, el interior presentaba una humedad relativa alrededor del 70%. La "cámara 2" presentaba la misma humedad relativa que el ambiente, alrededor de un 50%. La diferencia de humedad por tanto era de aproximadamente el 20% al inicio.

Al comenzar la radiación, la humedad de los dos interiores empezó a descender, siendo más acusada la disminución en la cámara 2 que en la 1, finalmente, a las 6 horas se estabilizó el descenso de humedad siendo la humedad en la cámara 1 del 55% y en la cámara 2 del 26% aproximadamente. La diferencia por tanto había aumentado hasta el 30%.

#### Tasa de evaporación

Al estar la pieza totalmente húmeda antes de llenarla de agua podemos determinar que el gasto de agua que ha tenido la pieza durante el proceso ha sido por evaporación. Esta evaporación puede dividirse por la superficie y tiempo invertido en el proceso, obteniendo así la tasa de evaporación de la pieza cerámica para las condiciones anteriormente descritas. Así tenemos que:

$$E = \frac{1.312 \text{ kg}}{0.9 \text{ m}^2 \cdot 6.5 \text{ horas}} = 0.2243 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 6.23 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

[Ecuación 1]

Por lo que en un metro cuadrado se evaporan  $6.23 \cdot 10^{-5}$  kilogramos de agua en un segundo.

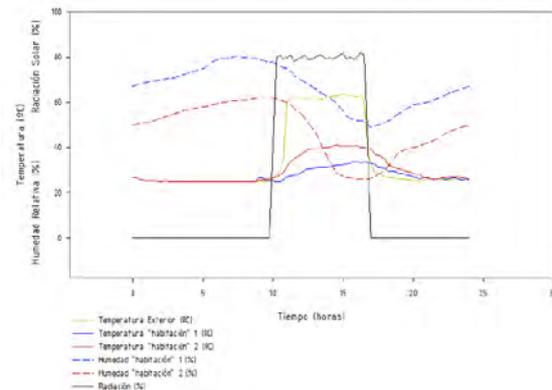


Gráfico 1: de temperatura y humedad + radiación solar.  
Experimento 1.

### EXPERIMENTO 2.

#### Temperatura

Al inicio de las mediciones las "habitaciones", el exterior, y el laboratorio presentaban una temperatura idéntica, alrededor de 25 °C. Al iniciar el proceso de radiación la temperatura ascendía más rápidamente en el exterior que en el interior al no tener aislamiento, a las 2 horas aproximadamente la temperatura exterior se estabilizó a 62°C.

En las cámaras, el ritmo de calentamiento de la cámara 1 era menor que en la 2. Finalmente la temperatura en ambas cámaras se estabilizó a las 5 horas aproximadamente, siendo la diferencia de temperatura entre las mismas de 5.75°C.

La temperatura de los prototipos al exterior (medida con la cámara termográfica) tienen una diferencia mínima, al inicio del experimento, de 4.2 °C y una diferencia máxima de 10.6°C cuando la temperatura interior de las cámaras se ha estabilizado a las 5 horas aproximadamente.

#### Humedad

Al inicio de las mediciones la "cámara" 1 estaba más húmeda que la n° 2 debido a que la pieza conservaba la humedad del experimento 1, el interior presentaba una humedad relativa alrededor del 70%. La "cámara 2" presentaba la misma humedad relativa que el ambiente, alrededor de un

50%. La diferencia de humedad por tanto era de aproximadamente el 20% al inicio.

Al comenzar la radiación, la humedad de los dos interiores empezó a descender, siendo más acusada la disminución en la cámara 2 que en la 1, finalmente, a las 6 horas se estabilizó el descenso de humedad siendo la humedad en la cámara 1 del 48.5% y en la cámara 2 del 26% aproximadamente. La diferencia por tanto había aumentado hasta el 25%.

### Tasa de evaporación

Considerar el valor de la tasa de evaporación en el experimento 2 no tiene sentido, ya que en el proceso de secado la humedad de la pieza va variando y también la tasa de agua que cede al ambiente. La tasa de evaporación es un valor que nos ayuda a determinar si la porosidad de un material es la adecuada, si es variable el poro también debería serlo, y como vimos esto sólo es posible actualmente en sistemas vegetales y animales.

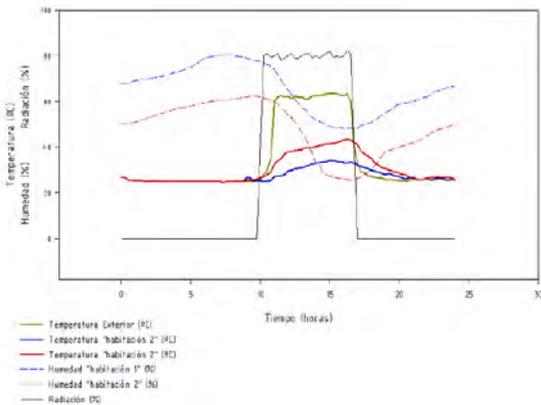


Gráfico 2: de temperatura y humedad + radiación solar. Experimento 2.

### COMPARATIVA.

La temperatura máxima en las cámaras durante el experimento 1 ha sido:

Cámara 1 (pieza llena de agua) = 32.52 °C  
Cámara 2 (pieza seca) = 40.53 °C  
Diferencia = 8°C

La humedad mínima en cada cámara ha sido:

Cámara 1 (pieza llena de agua) = 55.42 %  
Cámara 2 (pieza seca) = 25.52 %  
Diferencia = 30 %

La temperatura exterior máxima registrada por termografía en el experimento 1 en los dos prototipos ha sido:

Pieza n°1 (llena de agua) = 34.2 °C  
Pieza n°2 (seca) = 47.0 °C  
Diferencia = 13 °C

La temperatura máxima de las cámaras durante el experimento 2 ha sido:

Cámara 1 (pieza húmeda) = 34.51 °C  
Cámara 2 (pieza seca) = 40.25 °C  
(Diferencia 5.75°C)

La humedad mínima de las cámaras ha sido:

Cámara 1 (pieza húmeda) = 48.52 %  
Cámara 2 (pieza seca) = 25.85 %  
(Diferencia 23%)

La temperatura al exterior medida mediante termografía durante el experimento 2 ha sido:

Mínimas  
Pieza n°1 (pieza húmeda) = 24.8 °C  
Pieza n°2 (seca) = 29.0 °C  
(Diferencia 4.2°C)

Máximas  
Pieza n°1 (húmeda) = 35.6 °C  
Pieza n°2 (seca) = 46.2 °C  
(Diferencia 10.6 °C).

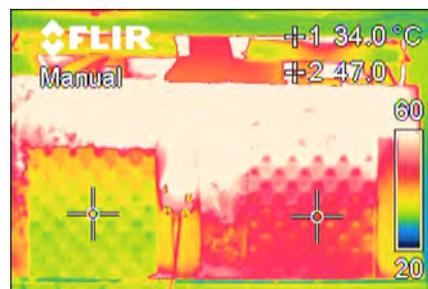


Ilustración 8 Comparativa entre las medidas termográficas máximas y mínimas registradas durante el experimento 1.

## 5 CONCLUSIONES.

La diferencia máxima de temperatura entre el experimento 1 y el 2 es de 3.1°C cuando ambos sistemas se encuentran ya en equilibrio.

El rendimiento de la pieza húmeda (experimento 2) respecto a la llena de agua (experimento 1) se puede calcular con respecto a la expresión:

$$\text{Rendimiento} = \frac{T_{\text{max.}[cámara 2-cámara 1]}(\text{EXP 2})}{T_{\text{max.}[cámara 2-cámara 1]}(\text{EXP 1})} = \frac{40.25-34.51}{40.55-32.52} = 72 \%$$

[Ecuación 2]

La mejora de rendimiento por contar con la cámara de agua es del 28% aproximadamente.

Al analizar la humedad relativa a lo largo de los dos experimentos vemos que la humedad en las cámaras interiores es bastante similar. Sólo habría que destacar la diferencia de humedad en la cámara 1 entre el experimento 1 y el experimento 2. Durante el experimento 2 la humedad baja más rápidamente que en el nº1, y al estabilizarse la diferencia de humedad relativa entre el experimento 1 y 2 es únicamente del 5%.

### CALCULOS ANALÍTICOS

Los cálculos analíticos los realizaremos para las condiciones del experimento 1, que como veremos son más fáciles de calcular ya que el prototipo 1 permanece saturado todo el experimento.

El primer paso es calcular el coeficiente de convección ( $hc$ ) gracias al valor de tasa de evaporación obtenido en los experimentos. Según vimos:

$$\text{[Ecuación 4]} \quad E = \beta \cdot \frac{hc}{C_m} \cdot (H_s - H_a)$$

siendo:

$E$  = tasa de evaporación =  $6.23 \cdot 10^{-5}$  (kg/(m<sup>2</sup>·s))  
 $\beta$  = eficiencia de evaporación = 1 (considerando la superficie saturada)  
 $C_m$  = Calor específico del aire húmedo = 1916 (J/(kg · K) (aire a 60°C)  
 $H_s$  = humedad relativa del aire en la superficie del objeto = 100 (%)  
 $H_a$  = humedad relativa del aire del ambiente.= 55 (%)  
 $hc$  = coeficiente de convección.

Sustituimos y obtenemos que:

$$hc = \frac{1916 \cdot 6.23 \cdot 10^{-5}}{100-55} = 2.65 \cdot \frac{10^{-2} W}{K \cdot m^2}$$

[Ecuación 5]

Estudiando comparativamente el resultado, vemos que es muy bajo comparado con los valores usuales en otros procesos termodinámicos. El coeficiente de convección es muy bajo debido a la diferencia de humedad entre el ambiente y el prototipo y a la falta de ventilación en el experimento.

Calcular la temperatura en el prototipo analíticamente no tiene interés ya que hemos termografiado la pieza durante todo el proceso y su espesor es muy pequeño (menos de 1 cm).

Debido a que la pieza está saturada de agua al inicio y al final del experimento, todo el consumo de agua se ha invertido en la evapotranspiración, siendo el agua absorbida por la cerámica  $W=0$ .

Por último hallaremos la conductividad hidráulica según la expresión:

$$\text{[Ecuación 6]} \quad Q_w = \rho_w \cdot K_w$$

siendo:

$Q_w$  = flujo de agua =  $E$  (al no considerarse pérdidas) =  $6.23 \cdot 10^{-5}$  (kg/(m<sup>2</sup>·s))  
 $\rho_w$  = densidad del agua = 992 (kg/m<sup>3</sup>) (40°C)  
 $K_w$  = conductividad hidráulica (m/s)

$$\text{[Ecuación 7]} \quad K_w = 6.28 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

### FUNCIONAMIENTO PSICROMÉTRICO

A continuación analizaremos la evolución del experimento 1 en el diagrama psicrométrico para determinar el tipo de proceso que se lleva a cabo en el interior de las cámaras estancas

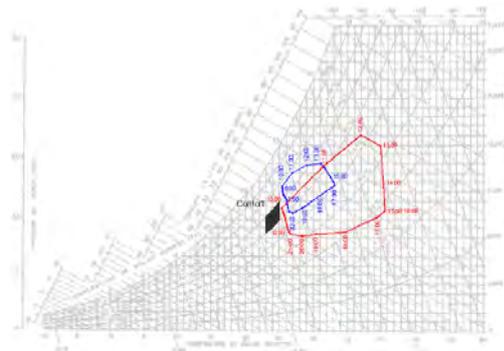


Gráfico 3 Diagrama psicrométrico con los datos del experimento 1: cámara 1 en azul y cámara 2 en rojo. Zona de confort en negro

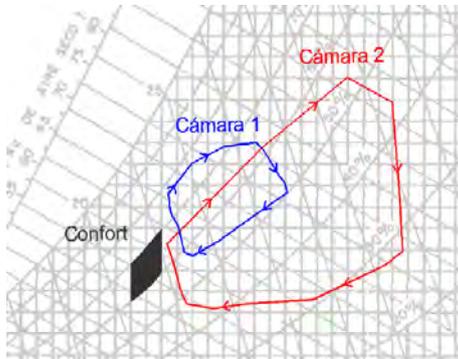


Gráfico 4 Detalle de relación entre las condiciones de la cámara 1 y cámara 2 y zona de confort.

Como se puede observar el área de la cámara 2 (en rojo) es mucho mayor que el de la cámara 1 (en azul), esto significa que la evapotranspiración hace que el sistema tenga más inercia térmica al variar menos la temperatura y la humedad que en el sistema seco. El área del sistema evapotraspirador (azul) es 4 veces más pequeña que la superficie del sistema seco (rojo), por lo que se puede decir que tiene 4 veces más inercia.

Otro factor relevante es la posición con respecto a la zona de confort ya que cuanto mayor inercia tenga el sistema y más cerca esté de la temperatura de confort más sencillo será acondicionar el edificio.

## 6 BIBLIOGRAFÍA.

Calderaro Valerio y Agnoli Stefano. Passive heating and cooling strategies in an approaches of retrofit in Rome [Publicación periódica]// Energy and buildings. - Agosto de 2007. - 39. - págs. 875-885.

He Jiang. A design supporting simulation system for predicting and evaluating the cool microclimating effect of passive evaporative cooling walls [Publicación periódica]// Building and Environment. - Marzo de 2011. - 46. - págs. 584-596.

Limor [y otros] Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees [Publicación periódica]// Building and Environment. - Noviembre de 1996. - 31. - págs. 503-507.

Macías M. [y otros] Low cost passive cooling system for social housing in dry hot climate [Publicación periódica]// Energy and buildings. - 2009. - págs. 915-921.

Oliveira J.T., Hagishima Aya y Tanimoto Jun Estimation of passive cooling efficiency for environmental design in Brazil [Publicación periódica]// Energy and building. - Agosto de 2009. - 41. - págs. 809-813.

Safarzadeh H. y Bahadori M.N. Passive cooling effects for courtyards [Publicación periódica]// Building and Environment. - Enero de 2005. - Vol. 40. - págs. 89-104.

Santamouris Matt [y otros] Recent progress on passive cooling techniques: Advances technological developments to improve survivability levels in low-income households [Publicación periódica]// Energy and buildings. - Julio de 2007. - 39. - págs. 859-866.

## Edificios de Energía Cero. Simulación de Estrategias Bioclimáticas en Edificio de Oficinas.

A. Redrado, F. López, M. Cobos & C. Segador  
*Agencia Extremeña de la Energía, Badajoz, España.*

A. Ruiz  
*Universidad de Extremadura, Badajoz, España.*

J. García  
*Servicio Extremeño de Salud, Mérida, España.*

### RESUMEN:

El desarrollo social está ligado al aprovechamiento de los recursos energéticos. Es por ello que los edificios, tanto residenciales como del sector servicios, juegan un destacado papel en el consumo energético de nuestra sociedad actual.

La conjunción de diferentes estrategias bioclimáticas en edificios existentes marca el camino para lograr la reducción del gasto energético y por tanto la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso del mismo. Se estudia el edificio de oficinas de cinco plantas, destinado a los Servicios Centrales del S.E.S., situado en la Avda. de las Américas, en Mérida (Badajoz). Se simula la influencia en la reducción de emisiones de los sistemas de climatización mediante la utilización de equipos de absorción con apoyo térmico con biomasa.

El presente estudio identifica las diferentes variables que condicionan la demanda de energía en climatización del edificio, y arroja la conjunción de parámetros óptima para adaptar el buen funcionamiento del edificio y el mantenimiento del grado de confort, a la disminución del gasto energético y la reducción de emisiones. Para este edificio se logra una reducción de emisiones de hasta un 50 % con respecto a sistemas de climatización mediante fuentes convencionales de energía.

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Fuente

La evolución de nuestra sociedad está ligada al aprovechamiento de los recursos energéticos. El entorno urbano, en el que nos relacionamos, demanda gran cantidad de energía para adaptarse al amplio espectro de actividades humanas, que en él se desarrollan. En este sentido, los edificios, tanto residenciales como del sector servicios, juegan un destacado papel ya que es de gran importancia la demanda de calefacción, refrigeración, disponibilidad de agua caliente sanitaria, iluminación, ventilación, etc. (IDAE, 2010).

La promoción de edificios de nueva planta con alta eficiencia energética y la identificación de medidas de mejora de la eficiencia energética en edificios existentes dentro de un contexto de viabilidad técnica

ca y económica tienen reflejo en las directivas europeas 93/76/CEE sobre reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y 2002/91/CEE sobre eficiencia energética. Éstas se trasponen a la normativa española Código Técnico de la Edificación CTE y en particular el Documento Básico de Ahorro de energía (DB-HE) (Real Decreto 314/2006), así como en el procedimiento sobre certificación energética de edificios nuevos (Real Decreto 47/2007) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) (Real Decreto 1027/2007).

La gestión eficiente del uso de la energía de un edificio permitirá ahorros importantes en el consumo y significativas mejoras en la adaptación a las condiciones de confort. Las estrategias tenidas en cuenta a la hora de mejorar la eficiencia en el funcionamiento de los edificios van encaminadas a la disminución de las demandas y a la cobertura de la misma a través de energías alternativas (J. García, pendiente de publicación).

Las estrategias de eficiencia energética se enmarcan en dos vías, estrategias pasivas y estrategias activas, referentes al consumo de energía.

Las estrategias pasivas consisten en maximizar las ganancias de calor y minimizar las pérdidas de energía del edificio en invierno y minimizar las ganancias y maximizar las pérdidas del edificio en verano. La orientación del edificio, el diseño y distribución de los espacios, así como la selección de materiales y el empleo de protecciones solares serán la clave que marcará el nivel de consumo del edificio. El diseño bioclimático se basa en la conjunción de estos dos tipos de medidas junto con el empleo de energías alternativas.

Proyectos como PSE-ARFRISOL (AFRISOL, 2005), el edificio PETER (IDAE, 2008), el proyecto ECOCITIES (CENER, 2006) o el Pabellón de España para la Exposición Internacional Agua y desarrollo sostenible (2006 – 2008) (CENER, 2008) son pioneros en el desarrollo de edificios bioclimáticos. Algunos de estos proyectos se han desarrollado como edificios experimentales para evaluar el uso de fuentes de energía renovables y técnicas bioclimáticas, e incluso algunos no se han llegado a construir.

El presente estudio se desarrolla en el edificio destinado a Servicios Centrales del Servicio Extremeño de Salud (SES) (Junta de Extremadura, Servicio Extremeño de Salud) por ser el primer edificio público de tipo administrativo, no experimental, con calificación energética “A”. Al estar operativo desde el año 2010 se pueden comparar resultados reales de explotación. Se pretende simular diversas técnicas paralelas al uso de energías renovables.

Estos sistemas energéticamente eficientes pondrán en evidencia la capacidad de reducir no sólo las emisiones del edificio sino también su gasto energético, con la combinación de combustibles renovables y no renovables, y sistemas de alta eficiencia. En él se comprobará la influencia de los sistemas de iluminación y climatización en la demanda del edificio. De esta forma se pretende mejorar la intensidad energética del mismo.

También se tratará de identificar las diferentes variables que condicionan la demanda de energía, al mismo tiempo que mostrar las diversas combinaciones con las que se conseguirá el buen funcionamiento del edificio, la disminución del gasto energético y la reducción de emisiones.

Por ello se llevará a cabo la simulación energética de los distintos sistemas en el edificio, utilizando fuentes convencionales y fuentes renovables de energía, con el fin de evaluar las estrategias más eficientes desde el punto de vista económico, energético y medioambiental. Así mismo, se llevará a cabo la comparación de la calificación energética mediante el programa informático Calener (Programa informático CALENER, IDAE) en cada una de las soluciones aportadas.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Programa informático

Para la simulación de las diferentes medidas se ha empleado el Programa informático Calener. Es una herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio. El programa consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario. La versión Calener-GT está destinada a la calificación de eficiencia energética de grandes edificios del sector terciario y la versión Calener VyP para vivienda y pequeño terciario.

CALENER-GT emplea como motor de cálculo el programa DOE-2.2 (Departamento de Energía de EE.UU.). Incluye en sus bases de datos curvas de comportamiento de los diferentes equipos, imprescindibles para la simulación de los diferentes sistemas. Un diagrama de flujo del programa se muestra en la Figura 1 en la que los subprogramas aparecen como cajas sombreadas.

El CALENER-GT tras ser aplicado, ofrece como resultado final la Calificación obtenida por el Edificio Objeto. Adicionalmente la Calificación debe incluir una descripción de las características energéticas del inmueble, es decir, debe producir un documento adicional, donde al reflejar esas características energéticas del edificio objeto, manifieste que la calificación obtenida lo ha sido en función de los méritos acreditados por el edificio y así recogidos. Este documento se denomina herramienta administrativa. En ésta aparece la Calificación provisional del Edificio y sirve adicionalmente como elemento para la adjudicación de la calificación definitiva, teniendo por finalidad el informar al técnico calificador sobre las contribuciones al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de los diversos usos finales de energía del edificio.

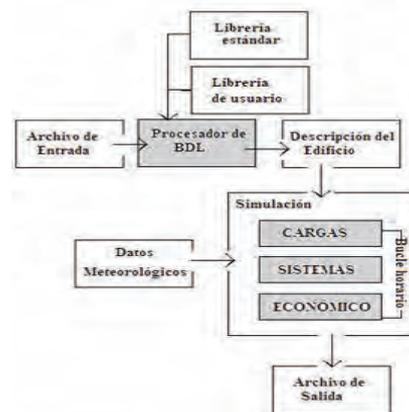


Figura 1 Diagrama de flujos Calener GT

Esta información permite al calificador proponer modificaciones al edificio objeto dirigido a la reducción de emisiones. Así queda definido un edificio objeto que se corresponde con el edificio a calificar y otro edificio de referencia con la misma geometría, porcentaje de huecos y condiciones climáticas que el edificio objeto pero con los parámetros mínimos exigidos en el CTE.

## 2.2 Características del edificio

El edificio objeto de estudio está destinado a albergar los Servicios Centrales SES, siendo un edificio de referencia por su particular envolvente y novedoso sistema de climatización. En el diseño se han aplicado conceptos de captación solar pasiva y aislamiento térmico, evitando puentes térmicos y sombreando cubiertas y ventanas, favoreciendo la iluminación natural durante el mayor tiempo posible.

Se encuentra situado en la ciudad de Mérida (Badajoz) Figura 2 situada al suroeste de España, a una altitud de 220 m. El clima predominante en la zona es el mediterráneo continental con influencia atlántica por su proximidad a la costa portuguesa (situado a 70 km de la frontera portuguesa). Sus inviernos son fríos y los veranos calurosos. Las precipitaciones son irregulares registrándose en su mayoría en los meses de invierno. La humedad y los vientos son reducidos, pero es frecuente la presencia de nieblas en los meses de diciembre, enero y febrero.



Figura 2 Mapa de situación de la ciudad de Mérida.

El clima extremo al que se somete el edificio (necesidad de calefacción en invierno y refrigeración en verano) permite demostrar la posibilidad del empleo de energías renovables para dar servicio en las condiciones más desfavorables.

La entrada principal del edificio se sitúa en la fachada SO según se muestra en la imagen Figura 3.

Desde ésta se accede al el vestíbulo principal que controla el complejo. A través de este se accede al resto de edificios. Está construido por cuatro plantas sobre rasante destinadas a oficinas y una quinta bajo rasante destinada a garaje y zona de instalaciones. Dos módulos con escalera y ascensor situados en la zona NO y SE permiten la comunicación vertical del edificio. La zona de oficinas dispone de luz natural por las fachadas SO y NE. En la Figura 4 se observa la fachada NE del edificio.

El edificio integra estrategias bioclimáticas pasivas tal como una fachada ventilada, el uso de la radiación solar para evitar el calentamiento en verano y favorecer dicho calentamiento en invierno, o el empleo de carpinterías con rotura de puente térmico.

La climatización de las distintas zonas se realiza mediante un sistema agua-agua a cuatro tubos mediante fancoils. Éstos se sitúan en el falso techo y están dotados de un sistema de control de temperatura mediante un regulador de caudal constante.

Dispone de dos calderas pirotubulares idénticas del fabricante Vulcano que realizan la producción de calor. Emplean como combustible biomasa (actualmente huesos de aceituna triturados) y tienen una potencia térmica de 465 kW cada una. El sistema dispone de un silo de almacenamiento de combustible de 70 m<sup>3</sup> y un sistema de acumulación de agua caliente compuesto por tres depósitos de 10.000 litros cada uno.



Figura 3 Entrada principal del edificio

La producción de frío se realiza mediante una enfriadora Carrier con 545 kW de capacidad frigorífica nominal. La enfriadora es de ciclo de absorción simple efecto con bromuro de litio como absorbente y agua como refrigerante. Se alimenta por agua caliente procedente de las calderas de biomasa. La instalación cuenta con cuatro depósitos acumuladores de agua fría de 5.000 litros cada uno y una torre de refrigeración con capacidad de enfriamiento de 1.203 kW.

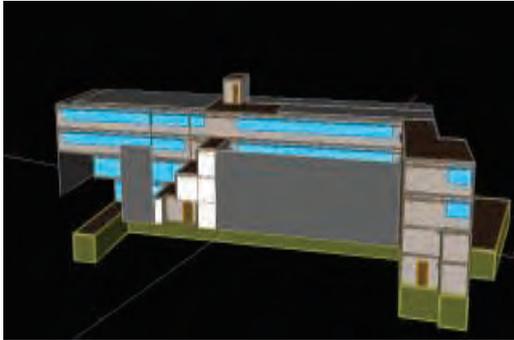


Figura 4 Fachada NE. Imagen de la simulación del edificio

La ventilación del edificio se resuelve con una unidad de aporte exterior de aire en la cubierta, con 19.000 m<sup>3</sup>/h de caudal. Este sistema está dotado con un recuperador de calor, y un sistema de humectación adiabática indirecta que baja la temperatura del aire exterior.

El edificio dispone de un sistema de generación de energía eléctrica solar fotovoltaica de 76 kWp. Está compuesto por 380 módulos de silicio policristalino de 200 Wp cada uno. El sistema genera 95.095 kWh anuales.

Para la producción de agua caliente sanitaria el edificio cuenta con un sistema formado por una batería de siete captadores solares planos de 2,03 m<sup>2</sup> de superficie real de captación por cada uno y un rendimiento óptico de 0,7720 y factor de pérdidas de 4 W/m<sup>2</sup>. Están colocados con una inclinación de 45° y un azimut de 0°. Como sistema convencional de apoyo el edificio cuenta con termos eléctricos de 50 litros.

### 2.3 Estrategias

En el estudio llevado a cabo se plantean las siguientes estrategias que resultaron de combinar los siguientes sistemas:

- Sistema de energía solar fotovoltaica.
- Sistema de iluminación.
- Sistema de climatización. Generador de calor.

Con respecto al sistema de energía solar fotovoltaica se observa que según el Código Técnico de la Edificación (CTE), al tratarse de un edificio admi-

nistrativo de más de 4.000 m<sup>2</sup>, deberá incorporar un sistema de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos. El edificio cuenta con 5.394 m<sup>2</sup> de superficie y está situado en la zona climática V según el Documento Básico HE Ahorro de Energía del CTE. Por ello, la potencia mínima a instalar será de 11,31 kWp.

Este sistema no aumenta la eficiencia energética del edificio, sino que reduce las emisiones del mismo al emplear una fuente renovable de energía. Simultáneamente, mejora el balance económico del edificio gracias a la venta de electricidad y mejora la calificación al disminuir las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.

Se observa que la potencia instalada actualmente en el edificio es muy superior a la exigida, por lo que se planteará reducir potencia instalada para observar el comportamiento del mismo.

El sistema de iluminación cuenta con control progresivo de la iluminación artificial para adaptarlo a las condiciones de iluminación natural. Se estudiará la recolocación de los sensores para optimizar el sistema.

La iluminancia media (E<sub>m</sub>) en cada una de las zonas, se comprueba que no está ajustada a las recomendaciones la Norma Europea UNE-EN 12464-I. Por tanto, se trató de ajustar dicha iluminancia mediante el empleo de lámparas de alta eficiencia, adecuando la potencia instalada y el nivel de iluminancia necesario en cada zona. Para ello se empleó el parámetro Valor de Eficiencia Energética en Iluminación (VEEI) recogido en el CTE.

El sistema de climatización emplea biomasa como combustible para la generación de calor, con emisión nula de CO<sub>2</sub>. Por ello las emisiones generadas por el sistema son las relativas al funcionamiento de la enfriadora, ventiladores, bombas y equipos auxiliares originados por el consumo de energía eléctrica.

El empleo de biomasa como combustible disminuye las emisiones del sistema de generación de calor, pero esto no implica mayor eficiencia en el uso de la energía. Por ello se estudiará el uso de combustibles convencionales como el gasóleo o el gas natural.

Para evaluar el comportamiento del edificio se partirá del edificio actual y posteriormente se realizará una simulación de cada una de las medidas propuestas. Finalmente se combinarán aquellas soluciones compatibles más exitosas. El programa CalenerGT arroja resultados de emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo de energía primaria y consumo de energía final. Estos resultados permitirán comparar de forma objetiva cada una de las soluciones.

### 3 RESULTADOS

Se exponen los resultados de las simulaciones, lo que permite analizar las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones propuestas, y el análisis de las fuentes alternativas simuladas con Calener GT.

Se han tomado como datos para el estudio los ratios de emisiones de CO<sub>2</sub> por superficie en climatización, generación de ACS e iluminación; así como las emisiones totales anuales del edificio. Para comparar la intensidad energética entre las diferentes alternativas estudiadas se emplearon los ratios de energía primaria y energía final consumida (kWh al año).

La primera simulación corresponde a la calificación actual del edificio terminado. Por tanto, este cuenta con una cobertura solar del 70 % para la generación de agua caliente sanitaria y un sistema fotovoltaico capaz de generar 95.095 kWh·año<sup>-1</sup>. Además, como se describe anteriormente, el edificio cuenta con dos calderas de biomasa para la generación de calor. En la Tabla 1 se representan los resultados obtenidos de la calificación en Calener-GT.

**Tabla 1 Medida 1, Calificación en Calener-GT del edificio actual.**

MEDIDA Nº	1	
<b>CALIFICACIÓN</b>	A	
Producción solar fotovoltaica	95.095	kWh·año <sup>-1</sup>
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE	Biomasa	
RATIOS:	Objeto	Referencia
Emisiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	16,50	41,40
Emisiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emisiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	9,10	26,90
Emisiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	25,80	68,50
CALIFICACIÓN - ETIQUETA	0,38	
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	863.207,40	599.606,50
Energía Primaria (kWh·año <sup>-1</sup> )	1.136.569,00	1.398.581,40
Emisiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	132.237,20	350.567,50

Las medidas de la 2 a la 7 se refieren a medidas aisladas. De esta forma se evalúa el efecto directo sobre el funcionamiento del edificio de cada una de las medidas. Se detallan a continuación:

- Medida 2: Disminución de la generación eléctrica solar fotovoltaica hasta los mínimos exigidos por el CTE. El edificio pasará de generar 95.095 kWh·año<sup>-1</sup> a generar tan sólo 15.400 kWh·año<sup>-1</sup>. Los resultados se observan en la Tabla 2.

**Tabla 2 Resultado de la simulación de la medida 2 en Calener GT.**

MEDIDA Nº	2	
<b>CALIFICACIÓN</b>	B	
Producción solar fotovoltaica	15.400	kWh·año <sup>-1</sup>
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE		Biomasa
RATIOS:	Edif Objeto	Edif. Referencia
Emisiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	20,10	41,40
Emisiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emisiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	11,10	26,90
Emisiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	31,40	68,50
CALIFICACIÓN - ETIQUETA	0,46	
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	863.207,40	599.606,50
Energía Primaria (kWh·año <sup>-1</sup> )	1.252.749,40	1.398.581,40
Emisiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	161.204,10	350.567,50

- Medida 3: Mejora de la eficiencia en iluminación mediante la selección de lámparas más eficientes y adecuando el valor de iluminancia a la tarea a desempeñar en cada sala según la Norma Europea UNE-EN 12464-I. El resultado de la simulación en Calener-GT de esta medida se muestra en la Tabla 3.

- Medida 4: Sustitución de las calderas de biomasa por calderas equivalentes convencionales alimentadas por gasóleo. Tras la representación de estas medidas en Calener GT se obtienen los resultados de la Tabla 4.

**Tabla 3 Resultados de la simulación de la medida 3 en Calener-GT.**

MEDIDA Nº	3	
<b>CALIFICACIÓN</b>	A	
Producción solar fotovoltaica	95.095	kWh•año-1
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE		Biomasa
RATIOS:	Edif Objeto	Edif. Referencia
Emissiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	15,90	42,90
Emissiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emissiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	3,90	29,10
Emissiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	20,00	72,20
CALIFICACIÓN - ETIQUETA		0,28
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	797.759,60	627.180,20
Energía Primaria (kWh·año-1)	1.002.431,20	0
Emissiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	102.289,30	369.242,40

• Medida 5: Sustitución de las calderas de biomasa por calderas convencionales alimentadas por gas natural. Los resultados obtenidos tras aplicar esta medida al edificio actual se representan en la Tabla 5.

Comparando las diferentes medidas con la situación actual (medida número 1) se pueden extraer los siguientes resultados:

Medida 2: la disminución de la generación fotovoltaica aumenta las emisiones del edificio objeto en climatización e iluminación, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del edificio. Esta medida no afecta a la energía final consumida pero sí aumenta la energía primaria consumida en el edificio.

Medida 3: La mejora del sistema de iluminación no sólo disminuye las emisiones, sino que al disminuir la potencia instalada en cada zona, también disminuye la carga térmica de la misma y, por tanto las emisiones en climatización.

En el ajuste a las necesidades de iluminancia y valor de eficiencia energética mínima según los usos de cada zona, aumenta las emisiones del edificio de referencia y con ello mejora la calificación.

**Tabla 4 Resultados de la simulación en Calener GT de la medida 4**

MEDIDA Nº	4	
<b>CALIFICACIÓN</b>	C	
Producción solar fotovoltaica	95.095	kWh•año-1
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE		Gasóleo
RATIOS:	Edif Objeto	Edif. Referencia
Emissiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	47,80	41,40
Emissiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emissiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	9,10	26,90
Emissiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	57,10	68,50
CALIFICACIÓN - ETIQUETA		0,83
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	814.364,10	599.606,50
Energía Primaria (kWh·año-1)	1.132.871,00	1.398.581,40
Emissiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	292.196,80	350.567,50

La sustitución de las actuales lámparas fluorescentes TL-D por lámparas fluorescentes compactas junto con el ajuste a la iluminancia necesaria para el uso de cada zona permite instalar menor potencia con los consiguientes ahorros en los consumos en climatización e iluminación del edificio objeto. Esto se traduce en una menor energía primaria y energía final consumidas respecto al edificio de referencia.

Las medidas 4 y 5 comparadas con la situación actual (medida 1) tienen los siguientes efectos comunes:

- Aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en climatización. Pues pasamos de consumir un combustible renovable con emisiones nulas a consumir un combustible convencional. Este aumento se ve reflejado del mismo modo en las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del edificio.

- Sensible disminución de las energías primaria y final consumidas. Es decir, la cantidad de combustible consumido disminuye con los sistemas convencionales.

Con respecto a estas dos últimas soluciones, se puede afirmar a la vista de los resultados que la medida 5 (utilización de gas natural) es la que menores emisiones de CO<sub>2</sub> presenta y menores consumos

energéticos tanto de energía primaria como de energía final.

Tabla 5 Resultados de la representación en Calener-GT de la medida 5.

MEDIDA Nº	5	
<b>CALIFICACIÓN</b>	C	
Producción solar fotovoltaica	95.095	kWh·año <sup>-1</sup>
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE		BT Gas natural
RATIOS:	Edif Objeto	Edif. Referencia
Emissiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	38,70	41,40
Emissiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emissiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	9,10	26,90
Emissiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	48,10	68,50
CALIFICACIÓN - ETIQUETA		0,70
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	814.364,10	599.606,50
Energía Primaria (kWh·año <sup>-1</sup> )	1.093.856,50	1.398.581,40
Emissiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	245.936,70	350.567,50

Finalmente se estudia la solución conjunta de mejorar la eficiencia del sistema de iluminación junto con la sustitución de las calderas de biomasa por calderas equivalentes alimentadas con gas natural (medida 6). Los resultados de esta medida se representan en la Tabla 6.

En la Figura 5, se representa la energía primaria y final consumida en cada una de las situaciones estudiadas anteriormente, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> en cada uno de los casos.

Al mismo tiempo que el análisis energético se ha realizado un estudio económico de la energía consumida en cada una de las medidas, teniendo en cuenta el combustible utilizado que se muestra en la Tabla 7.

El precio tomado para la biomasa es de 0,03983 €/kWh siendo el precio medio anual para los huesos de aceituna empleados como combustible durante el funcionamiento del edificio en el 2010. Para el gasóleo 0,06266 €/kWh (IDAE, 2011) y el gas natural 0,05229 €/kWh (CORES, 2009). El consumo para cada una de las medidas y combustibles corresponde a los datos obtenidos en cada una de las representaciones en Calener GT según se muestra en tablas anteriores.

Tabla 6 Simulación de la medida 6 resultado de la combinación del empleo de calderas de gas natural (medida 5) y de la mejora del sistema de iluminación (medida 3).

MEDIDA Nº	6	
<b>CALIFICACIÓN</b>	B	
Producción solar fotovoltaica	95.095	kWh·año <sup>-1</sup>
Cobertura solar térmica	70	%
COMBUSTIBLE		Gas natural
RATIOS:	Edif Objeto	Edif. Referencia
Emissiones Climatización (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	37,60	42,90
Emissiones ACS (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	0,20	0,20
Emissiones Iluminación (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	3,90	29,10
Emissiones Totales (kg CO <sub>2</sub> ·m <sup>-2</sup> )	41,70	72,20
CALIFICACIÓN - ETIQUETA		0,58
Energía Final (kWh·año <sup>-1</sup> )	747.996,40	627.180,20
Energía Primaria (kWh·año <sup>-1</sup> )	958.634,60	1.473.633,30
Emissiones (kg CO <sub>2</sub> ·año <sup>-1</sup> )	212.940,50	369.242,40

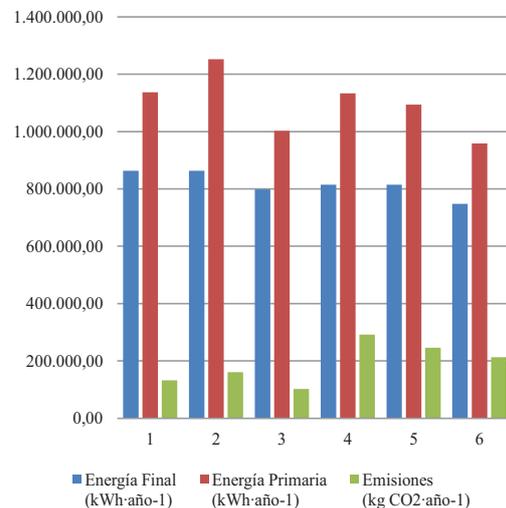


Figura 5 Energía final, energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> para cada una de las situaciones estudiadas.

Para el caso de la medida 1 se ha considerado que todas las emisiones de CO<sub>2</sub> descritas en la Tabla 1 del resultado de la representación en Calener GT, corresponden a emisiones de electricidad, pues la otra única fuente de energía del edificio es la biomasa, que se considera sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Cada kWh eléctrico consumido supone la emisión de 0,649 kg de CO<sub>2</sub> (Calener GT. Grandes Edificios Terciarios).

Manual Técnico. IDAE 2008), Lo cual permite calcular la energía eléctrica consumida. Este consumo eléctrico será el correspondiente al sistema de iluminación y a los equipos de bombas y ventiladores del resto de sistemas. El consumo de biomasa será la diferencia entre la energía primaria total consumida y la energía eléctrica.

Para las medidas 2, 4 y 5, al no variar ninguno de los sistemas, y suponiendo un consumo eléctrico similar en cada una de las calderas empleadas, la energía eléctrica consumida será la misma que en la medida 1. El consumo de combustible se calcula de forma similar a la medida 1.

En el caso de las medidas 3 y 6, el consumo eléctrico varía al disminuir la potencia instalada en iluminación. En la medida 3 se emplea como combustible la biomasa, así que todas las emisiones corresponderán al consumo eléctrico y se puede obtener la energía eléctrica consumida anualmente mediante la misma interpretación que en la medida 1. De forma similar a como se ha evaluado en los otros casos, para la medida 6 el consumo eléctrico será el mismo que para la medida 3. En ambos casos, el consumo de combustible se calculará de la misma forma que para la medida 1.

Tabla 7 Estudio económico de cada una de las medidas estudiadas.

Medidas en las que se emplea la biomasa como combustible						
MEDIDA Nº	1		2		3	
CALIFICACIÓN	A		B		A	
	Coste	Energía final	Coste	Energía final	Coste	Energía final
Consumos:	€:año <sup>-1</sup>	kWh:año <sup>-1</sup>	€:año <sup>-1</sup>	kWh:año <sup>-1</sup>	€:año <sup>-1</sup>	kWh:año <sup>-1</sup>
Biomasa	26.272,00	659.452,08	26.272,00	659.452,08	24.280,07	609.452,87
Gasóleo						
Gas natural						
Electricidad	12.768,00	203.755,32	12.768,00	203.755,32	11.799,94	188.306,73
Total	39.040,00		39.040,00		36.080,01	

Medidas en las que se emplean combustibles convencionales						
MEDIDA Nº	4		5		6	
CALIFICACIÓN	C		C		C	
	Coste	Energía final	Coste	Coste	Energía final	Coste
Consumos:	€:año <sup>-1</sup>	kWh:año <sup>-1</sup>	€:año <sup>-1</sup>	€:año <sup>-1</sup>	kWh:año <sup>-1</sup>	€:año <sup>-1</sup>
Biomasa						
Gasóleo	46.039,90	610.608,78				
Gas natural			31.934,23	610.608,78	29.271,21	559.689,67
Electricidad	12.768,00	203.755,32	12.768,00	203.755,32	11.799,94	188.306,73
Total	58.807,90		44.702,23		41.071,15	

#### 4 CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de la simulación en Calener GT de las soluciones anteriormente descritas nos permite a diferenciar tres tipos de soluciones:

- Solución energéticamente más eficiente.
- Solución medioambientalmente más eficiente.
- Solución económicamente más rentable.

La primera se corresponde con la medida 6 donde la disminución del consumo de energía primaria y

energía final es mucho menor que en las otras soluciones. Gracias al empleo de gas natural y a la utilización de una iluminación eficiente y ajustada a las necesidades puede reducirse la intensidad energética del edificio.

Es importante apuntar que aunque la intensidad energética es menor que en la situación actual, la calificación energética es inferior pues ésta responde al nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. Como en este caso empleamos un combustible no renovable, no puede alcanzarse la misma disminución de emisiones de emisiones que en la situación actual, con la tecnología existente.

La solución medioambientalmente más eficiente se corresponde con la de mejor calificación energética. La medida 3 es la más exitosa en este aspecto pues emplea un combustible renovable sin repercusión de emisiones en la generación de calor, y un sistema de alta eficiencia en iluminación.

La medida propuesta económicamente más rentable coincide también con la medida 3. En este caso la generación fotovoltaica es máxima, el consumo eléctrico es reducido (aunque no el menor) y emplea combustible de menor precio.

En cuanto a la medida 2, en la que se ha reducido la instalación fotovoltaica, no es lógico el aumento de emisiones en climatización e iluminación, puesto que estos sistemas no se modifican. En todo caso debe repercutir en el cómputo global de emisiones, puesto que se venderá menos energía inyectada a la red. Por tanto se trata tal vez de algún fallo en el programa, que debe considerarse que la energía fotovoltaica producida se emplea para el autoconsumo del edificio y no para ser inyectada a la red que es más rentable.

Finalmente se pone de manifiesto que la medida 6 parece que debe ser la mejor ya que el coste en combustible es similar a la medida 1, con un consumo de energía final mucho menor, pero la calificación es inferior porque el programa premia de una forma más favorable la utilización de la biomasa combustible.

## 5 BIBLIOGRAFIA

Calener GT. Grandes Edificios Terciarios. Manual Técnico. IDAE 2008.

CENER, Proyecto ECOCITIES  
<http://www.cener.com/es/arquitectura-bioclimatica/ecocities-tudela.asp>. 2006

CENER & F. Mangado, "Pabellón de España para la Exposición Internacional Agua y desarrollo sostenible (2006 - 2008)", 2008.

CORES, "Informe Resumen Anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos",

[http://www.cores.es/pdf/Resumen\\_BEH\\_Cores\\_2009.pdf](http://www.cores.es/pdf/Resumen_BEH_Cores_2009.pdf)  
2009.

DOE-2.2 realizado por el Departamento de Energía de EE.UU. y el Laboratorio Berkeley de EE.UU.

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.  
<http://www.idae.es/>

IDAE, "Informe de precios energéticos: carburantes y combustibles", España 2011

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Junta de Extremadura (Consejería de Fomento), Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX), Universidad de Extremadura, Diputación de Badajoz, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Universidade de Évora, INETI y Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo (ADRAL), "As energias renováveis em ambos os lados da fronteira",

<http://www.lasenergiasrenovables.com/downloads/lasenergiasrenovablesaambosorillasdelafrontera.pdf>, Badajoz 2008.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), "Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable", Madrid 2010.

J. García Sanz-Calcedo, F. Cuadros, and F. López Rodríguez, "Edificio Administrativo de alta calificación energética en Mérida. Un modelo de construcción bioclimática y de integración de energías renovables". Pendiente de publicación.

Junta de Extremadura, Servicio Extremeño de Salud. Servicios Centrales situado en Servicios Centrales del Servicio Extremeño de Salud. Avda. de las Américas, 2 en la localidad de Mérida (Badajoz, España).

Ministerio de Fomento.  
[http://www.fomento.es/mfom/lang\\_castellano/](http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/)

Ministerio de Industria turismo y comercio.  
<http://www.mityc.es/es-ES/Paginas/index.aspx>

Norma Europea UNE-EN 12464-I, Iluminación de los lugares de trabajo.

PSE-ARFRISOL Con referencia PS-120000-2005-1, Fuente: <http://www.arfrisol.es/ARFRISOLportal/>. 2005.

Programa informático Calener. Documento reconocido y herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio.  
<http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/Paginas/DocumentosReconocidos.aspx>

Real Decreto 314/2006 Código Técnico de la Edificación CTE y en particular el Documento Básico de Ahorro de energía (DB-HE), Madrid 2006.

Real Decreto 47/2007 sobre certificación energética de edificios nuevos, Madrid 2007.

Real Decreto 1027/2007 Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE), Madrid 2007.

## Herramienta de Calificación Energética como ayuda en la toma de decisiones en rehabilitación

A. Pastor & R. Gregori

*AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción, Valencia, España*

### RESUMEN:

Las nuevas exigencias del marco normativo en materia de eficiencia energética en la construcción implican una nueva forma de afrontar los proyectos edificatorios. Bajo este contexto, la aparición de aplicaciones de simulación energética como herramientas obligatorias para el cumplimiento de la legislación vigente necesita de la especialización y nuevos conocimientos de los agentes intervinientes del sector. Este artículo profundiza en el empleo de una herramienta de ayuda para la calificación de eficiencia energética de los edificios de nueva construcción como solución para afrontar estos nuevos requerimientos y dotar de mayor flexibilidad los proyectos de eficiencia energética; su aplicación específica en la detección y evaluación de medidas de rehabilitación energética de edificios como solución para la reducción del consumo de energía de los edificios existentes, así como la relación entre la rehabilitación energética y la futura normativa pendiente de aprobación sobre exigencias de eficiencia energética en el parque edificatorio existente.

### 1 ANTECEDENTES

La sociedad actual necesita, para mantener su nivel de vida y confort, un alto consumo energético. El reto consiste en buscar un desarrollo sostenible manteniendo el nivel de actividad, transformación y progreso en todos los sectores productivos.

La integración de políticas medioambientales y eficiencia energética en el sector edificatorio quedan reflejadas en diferentes directivas europeas, en la que se insta a los estados miembros de la Unión a adoptar medidas tales como el cálculo de indicadores energéticos.

Este entorno normativo estableció la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción como método para cuantificar de forma objetiva el consumo de energía de las edificaciones, así como sus emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas. Se trata de un mecanismo para facilitar la transparencia del mercado inmobiliario y para que la información final que llega a los agentes intervinientes en el sector, especial-

mente promotores y usuarios no cualificados, sea clara, veraz, concreta y entendible.

El procedimiento de cálculo descrito en el Real Decreto 47/2007 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007) y las aplicaciones reconocidas empleadas en el proceso poseen limitaciones que podrían suponer una barrera a la eficiencia energética y a la viabilidad técnica y económica de estos proyectos. Por tanto, se antoja necesario poner a disposición de los profesionales del sector de la edificación herramientas prácticas que aporten valor añadido a estos trabajos y que, además, supongan una solución técnica para la evaluación de medidas de rehabilitación energética en edificios.

### 2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE HACE Y EL FOMATO FIDE

*HACE*, Herramienta de Ayuda a la Calificación energética, permite obtener la calificación de eficiencia energética parcial de una edificación previamente definida en la opción general de cálculo CALENER VVP.

Esta aplicación modificará automáticamente los archivos informáticos generados por el programa de referencia y permitirá la simulación energética mediante el software oficial, obteniendo así la calificación de partes concretas del edificio.

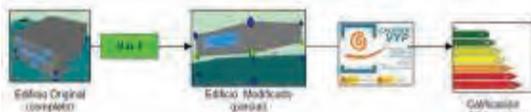


Figura 1. Diagrama de flujo del funcionamiento de HACE

Por tanto, facilita el cálculo en situaciones en las que la aplicación directa de las herramientas reconocidas puede convertirse en una ardua y complicada tarea, con mayor probabilidad de aportar resultados incorrectos o alargar los tiempos y costes de proyecto.

Para ello, el desarrollo interno de HACE está basado en el Formato de Intercambio de Datos en la Edificación (FIDE), común a los distintos agentes del sector de la construcción, que facilita la transferencia de información entre ellos independientemente de las aplicaciones informáticas que utilicen. Está basado en el modelo de datos estándar para el sector de la construcción IFC, reconocido internacionalmente, con el fin de facilitar su interacción con otros formatos.

La utilización de este modelo, común y abierto, permitirá un control y tratamiento de la información más ágil y segura, obteniéndose una reducción de los recursos utilizados por todos los agentes, y en especial para la gestión de la documentación generada durante el proceso edificatorio.

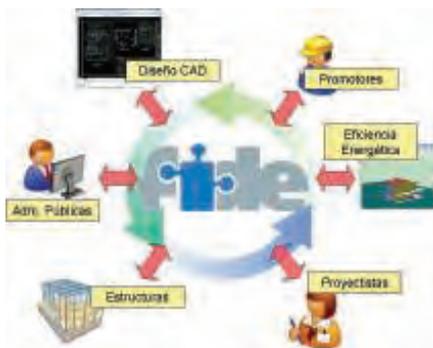


Figura 2. Modelo de datos FIDE.

El modelo de datos FIDE es público y está adaptado a las particularidades, regulaciones y sistemas de construcción propios de nuestro país. Además, y como muestra de la fiabilidad de este formato, FIDE es Documento Reconocido para la Calidad en la Edificación (Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, 2006) y Documento Reconocido

del Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Fomento, 2011).

### 3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 3.1 Apertura de un proyecto realizado en CALENER VYP en la aplicación

Se procederá a cargar los ficheros de cálculo del edificio objeto (archivos cte y xml). Sobre ellos, HACE efectuará las modificaciones necesarias para proceder a la calificación parcial del edificio, tanto geométricas, propiedades operacionales como de sus instalaciones térmicas.



Figura 3. Pantalla inicial HACE.

#### 3.2 Selección de los espacios del edificio que se desean calificar de forma independiente

La aplicación transforma el contenido de los ficheros de cálculo a formato FIDE, permitiendo visualizar el edificio mediante un visor 3D. Se podrá seleccionar aquellas partes concretas que desean ser simuladas y calificadas energéticamente.

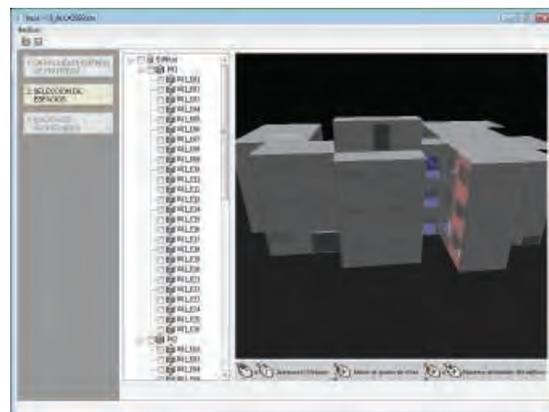


Figura 4. Selección de espacios

### 3.3 Edición de propiedades

La composición constructiva de los cerramientos, las condiciones operacionales de los espacios a calificar y las propiedades de los elementos que forman las instalaciones térmicas pueden ser modificadas para considerar los distintos parámetros de posible influencia en la evaluación energética.

Espacios: *HACE* permite modificar las condiciones de contorno siguiendo los mismos criterios que *CALENER VYP*

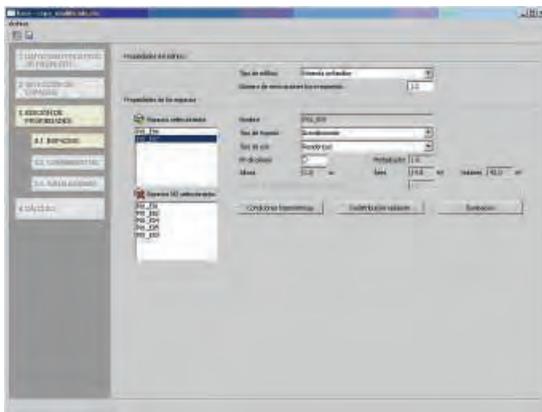


Figura 5. Edición de espacios.

Cerramientos: La aplicación, de forma interna, los reasigna para que todos ellos puedan ver modificadas sus características, incluyendo aquellos cerramientos de la envolvente térmica que pudiera influir en los cálculos energéticos pese a no pertenecer a los espacios a evaluar.

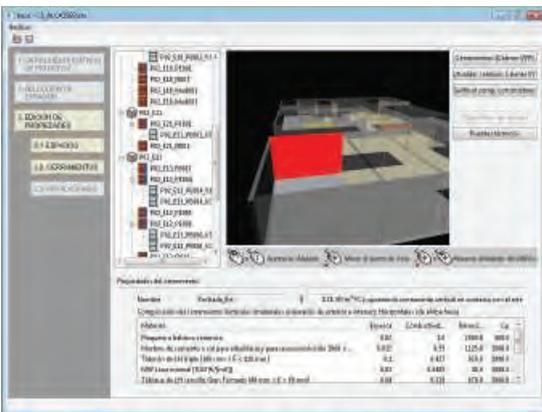


Figura 6. Edición de cerramientos y soluciones constructivas.

Instalaciones: *HACE* mantiene las instalaciones de los espacios a calificar, permitiendo la modificación de los equipos y unidades terminales que incorporen o, incluso, añadir nuevos sistemas.

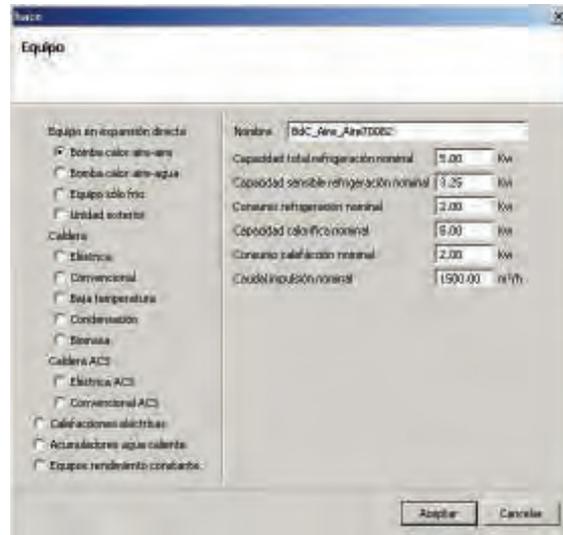


Figura 7. Definición de las instalaciones térmicas.

### 3.4 Exportación a CALENER VYP del edificio bajo las nuevas condiciones de cálculo

En este punto del proceso, *HACE* genera un nuevo archivo .cte y .xml a partir de las especificaciones realizadas, de forma que el software oficial de calificación energética es capaz de ejecutarlos.

### 3.5 Ejecución del motor de cálculo desde CALENER VYP y obtener la calificación energética parcial del edificio

## 4 APLICACIÓN DE HACE EN EL PROCESO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

La rehabilitación energética de un edificio implica el estudio y evaluación de su situación energética actual, así como el análisis de los resultados para la mejora de la eficiencia energética tras la ejecución de medidas de rehabilitación, bajo criterios de viabilidad técnica y económica.

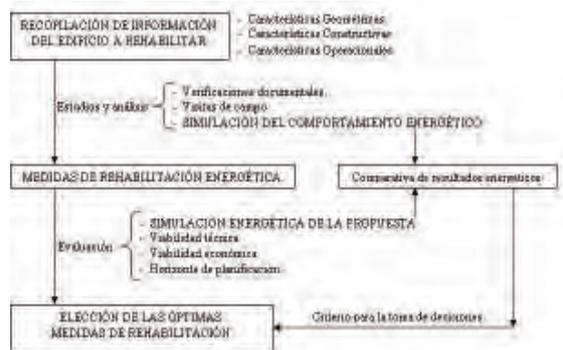


Figura 8. Proceso de rehabilitación energética.

A

Como se observa en el diagrama anterior, la obtención de resultados sobre indicadores energéticos y su comparativa antes y después de la ejecución de una medida de rehabilitación energética proporciona información técnica de relevancia para evaluar su idoneidad.

HACE, dado su alcance y las posibilidades que ofrece, puede ser aplicada como herramienta de simulación al uso, independientemente de la calificación energética, para el estudio energético de partes concretas de los edificios.

De este modo, se pueden enumerar distintas opciones en las que esta aplicación facilita los estudios energéticos en rehabilitación:

- Estudios individuales de rehabilitación energética (en viviendas situadas en edificios residenciales, oficinas de titularidad independiente en edificios del sector terciario,...).
- Evaluación de la influencia que una medida integral de rehabilitación energética tiene en distintas partes de un mismo edificio debido a la orientación, sombras proyectadas por edificios colindantes, etc.
- Análisis de los indicadores energéticos que una medida de rehabilitación puede tener en un edificio de usos y condiciones operacionales diferentes (edificios residenciales con bajos comerciales, oficinas en ciertos entornos industriales...).
- La obtención de resultados energéticos pormenorizados permitirá cálculos individualizados de viabilidad económica de las medidas de rehabilitación energética.

Además, y debido a la capacidad del motor de cálculo de CALENER VYP, la simulación dinámica horaria durante un año sintético del comportamiento energético del edificio tiene en cuenta los parámetros determinantes del consumo de energético e, incluso, del impacto medioambiental de las medidas

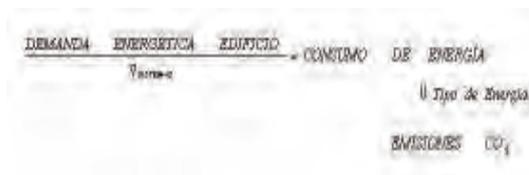


Figura 9. Relación entre indicadores energéticos.

Por tanto, las medidas de rehabilitación energética evaluables por este motor de cálculo pueden darse tanto en sistemas pasivos como activos. Las limitaciones vendrán impuestas por el alcance del propio software de simulación (IDAE, 2007).

## 5 PERSPECTIVAS FUTURAS

La aplicación de HACE y la ampliación de sus capacidades van orientadas, principalmente, a la calificación de eficiencia energética de edificios existentes y a la evaluación de medidas de ahorro energético que deban proponerse en la emisión de estos certificados.

Según el Artículo 4.2, apartado a.i) del proyecto de Real Decreto de certificación de eficiencia energética de edificios (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, julio 2012), CALENER continuará siendo el programa informático oficial de referencia para el cálculo de la calificación de eficiencia energética mediante la opción general. Por tanto, el motor de cálculo y la herramienta en la que se basa HACE continuaría siendo de aplicación y su aplicabilidad aumentaría al abarcar el parque edificatorio existente.

Según el Artículo 1, apartado p) de este proyecto de normativa, se recoge la definición, hasta ahora no recogida en la legislación vigente, de unidad de un edificio: "Parte, planta, vivienda o apartamento en un edificio o locales destinados a uso independiente o de titularidad jurídica diferente, diseñados o modificados para su utilización independiente". Esta consideración sobre la principal aplicación de HACE, otorgaría a esta herramienta una especial relevancia a la hora de calificar energéticamente la unidad de un edificio por la sencillez técnica que implica su uso.

Se ha establecido, como Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética, el modelo del certificado de eficiencia energética de edificios existentes (IDAE, 2012). En su Anexo III se recogen las recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética. Por tanto, las aplicaciones de HACE para el caso de medidas de rehabilitación energética podrían ser perfectamente válidas y adecuadas para complementar este apartado del certificado.

### ANEXO III RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

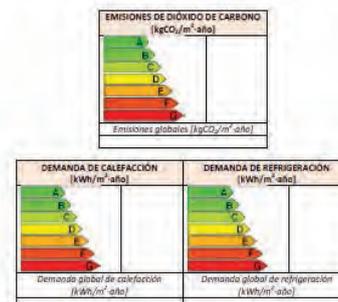


Figura 10. Influencia sobre la calificación de las medidas de mejora de eficiencia energética.

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calentación	Refrigeración	ACS	Iluminación	Total
Demandas (kWh/m <sup>2</sup> /año)					
Diferencia con situación inicial					
Energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> /año)					
Diferencia con situación inicial					
Emissiones de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /año)					
Diferencia con situación inicial					

DESCRIPCIÓN DE MEDIDA DE MEJORA

Figura 11. Resultados obtenidos para los indicadores energéticos y descripción de las medidas de eficiencia energética.

## 6 CONCLUSIONES

- La técnica actual en materia de certificación energética y en simulación energética de edificios implica un conocimiento exhaustivo del software disponible. El objetivo es, por tanto, proporcionar herramientas prácticas y útiles a los profesionales del sector que fomenten la buena praxis en los proyectos de calificación y rehabilitación energética de edificios.
- HACE es una aplicación de ayuda para la obtención de la calificación energética parcial de edificios, aportando flexibilidad a una situación en las que la aplicación directa de los programas informáticos oficiales de referencia puede suponer una barrera a la eficiencia energética.
- La integración del formato FIDE en el desarrollo interno de la aplicación proporciona fiabilidad a su funcionamiento y facilita la comunicación con otras aplicaciones asociadas al proyecto constructivo.
- La rehabilitación energética de edificios implica conocer la influencia en el consumo energético de las medidas propuestas como criterio de decisión fundamental a la hora de valorar su viabilidad.
- HACE permite simular la implantación de medidas de rehabilitación energética, tanto de la envolvente térmica como de las instalaciones, para evaluar el ahorro energético producido en partes concretas del edificio, permitiendo así una mayor concreción de los datos.
- Esta aplicación dispone de los fundamentos necesarios para adaptarse a la futura normativa de certificación de eficiencia energética, así como para la obtención de la información que habrá que aportar a los usuarios finales

de los edificios sobre medidas de mejora de su eficiencia energética. La ejecución de estas propuestas supondrá casos prácticos de rehabilitación energética.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] AICIA- Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla, 2007, *Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*, Madrid, IDAE.
- [2] Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, 2006, *Documento Reconocido para la Calidad en la Edificación DRD01/06. Formato de intercambio de datos en la edificación*, Valencia.
- [3] IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía), 2012, *Modelo de Certificado de Eficiencia Energética de Edificios Existentes*, Madrid.
- [4] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2012, *Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios*.
- [5] Ministerio de Fomento, 2011, *Documento Reconocido del Código Técnico de la Edificación CTE-DR/10/08. Formato de intercambio de datos en la edificación*, Madrid.
- [6] Ministerio de la Presidencia, 2007, *REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción*, Madrid. BOE núm. 27.

## La termografía Infrarroja para la evaluación de la eficiencia energética en la edificación

Miguel Ángel Carrera  
*AETIR. TermaGraf.*

### RESUMEN

En la actualidad existe la necesidad de una utilización eficiente, prudente, racional y sostenible de la energía, por la necesidad de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Las diferentes normas y reglamentos relativos a la eficiencia energética de los edificios establecen el procedimiento para su certificación casi siempre desde unos supuestos teóricos en fase de cálculo ó simulaciones informáticas. Se echa en falta un control más exhaustivo sobre la realidad de las edificaciones una vez finalizadas o existentes que certifique que tanto los cálculos iniciales como la ejecución de la obra han sido correctos. La utilización de la termografía infrarroja, junto con un análisis profesional, ayudará a localizar posibles deficiencias en envolventes, particiones o instalaciones, y a determinar las actuaciones para su resolución.

### 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe la necesidad de una utilización eficiente, prudente, racional y sostenible de la energía, por la necesidad de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Las diferentes normas y reglamentos relativos a la eficiencia energética de los edificios establecen el procedimiento para su certificación casi siempre desde unos supuestos teóricos en fase de cálculo ó simulaciones informáticas. Se echa en falta un control más exhaustivo sobre la realidad de las edificaciones una vez finalizadas o existentes que certifique que tanto los cálculos iniciales como la ejecución de la obra han sido correctos.

La termografía es una técnica que permite la obtención de imágenes de la radiación térmica de los cuerpos. Es además una valiosa herramienta que nos permite analizar de manera no invasiva ni destructiva edificios reales ya ejecutados y en funcionamiento. Pero requiere de una sólida formación y experiencia para alcanzar resultados útiles, además de cámaras del nivel adecuado. La utilización de la termografía infrarroja, junto con un análisis profesional, ayudará a localizar posibles deficiencias en envolventes, particiones o instalaciones, y a determinar las actuaciones para su resolución.

Se trata también de un método no destructivo de gran precisión que nos proporciona imágenes en tiempo real, permite estudiar toda una superficie, o analizar a distancia puntos remotos o de difícil acceso. Tiene multitud de aplicaciones en los sectores industrial, médico, agrícola, etc.,

En este contexto nace AETIR (Asociación Española de Termografía Infrarroja), como asociación sin ánimo de lucro con el objetivo de agrupar a los profesionales implicados en el mundo de la termografía, divulgar y promover el empleo correcto de la termografía en diferentes aplicaciones, así como promover la formación y el uso del equipo adecuado a cada aplicación. Ofrece un escenario para que los profesionales puedan acreditar formación y experiencia necesaria. AETIR también colabora con organismos y entidades en el desarrollo de normativas y procedimientos adaptados a nuestras condiciones.

## 2 TERMOGRAFIA EN EDIFICACIÓN

Como se ha comentado, la termografía es un ensayo no destructivo que requiere de un correcto procedimiento, y para ello es fundamental una adecuada formación. Como en el resto de los END, la capacitación se estructura en tres niveles:

### Nivel I:

Termografía cualitativa: interpretación de patrones térmicos

### Nivel II:

Termografía cuantitativa: medición correcta de temperaturas

### Nivel III:

Desarrollo de procedimientos termográficos

Queremos hacer hincapié en un aspecto: las cámaras termográficas no captan temperaturas, sino la intensidad de radiación infrarroja que emiten las superficies de los objetos.

Cualquier cuerpo por cuya temperatura esté por encima del cero absoluto (-273 °C) emite radiación infrarroja. Gracias a la ley de Stefan-Boltzmann

$$E = \sigma \cdot T_e^4$$

disponemos de una relación entre dicha intensidad de radiación y su temperatura, haciendo posible la medición de cuerpos a distancia, sin necesidad de contacto físico y en tiempo real.

Pero cada superficie presenta una distinta capacidad de emitir dicha radiación a cada temperatura. Esta propiedad se conoce como emisividad, siendo = 1 para los llamados cuerpos negros, y menor para los objetos reales. Además, cada superficie presenta una capacidad diferente para reflejar radiaciones procedentes del entorno. Por estos motivos, la temperatura aparente de un cuerpo (la que correspondería a la intensidad de radiación infrarroja total que proviene de un cuerpo, NO coincide con su temperatura real. Por consiguiente, es imprescindible una adecuada formación y capacitación del técnico en termografía infrarroja, además del empleo de cámaras con prestaciones adecuadas a cada aplicación.

El mercado de cámaras termográficas para uso industrial se estructura en tres grupos de resolución infrarroja: microbolómetros de 160x 120, 320 x 240 y 640 x 480 píxeles.

Cada aplicación (electricidad, fotovoltaica, edificación,...) tiene sus condicionantes propios y requiere de diferentes prestaciones para unos resultados correctos. En el caso de la edificación nos encontramos con lo siguiente:

- Reducida amplitud térmica de anomalías. Una anomalía en una instalación eléctrica suele presentar diferenciales de temperatura de decenas de grados, mientras que en edificación (p.e. un puente térmico) esta amplitud es mucho más reducida, por lo que se necesitan cámaras con una elevada sensibilidad NETD
- En el estudio de envolventes las distancias de inspección son elevadas, por lo que los detalles a inspeccionar aparecen pequeños. Esto obliga al empleo de cámaras con la más alta resolución, pues la medición de temperatura se ve directamente afectada.
- La termografía en edificación está enormemente influenciada por las condiciones ambientales y el carácter transitorio de los flujos de calor. Factores como la carga solar, viento, humedad determinan los momentos adecuados para realizar la inspección en función de las condiciones del edificio y del objeto en estudio.

Aquí es determinante la formación y experiencia del termógrafo para lograr resultados útiles.

De este modo, podemos establecer que el empleo más habitual de la termografía en edificación resulta ser en general:

- Proyectos de obra nueva:
  - Control de ejecución
- Rehabilitación energética:
  - Localización de puntos débiles
  - Alcance y tipo de patología
  - Control de intervención

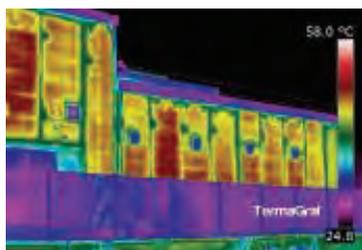
De una forma más detallada, mostramos algunos ejemplos de aplicaciones termográficas en edificación:



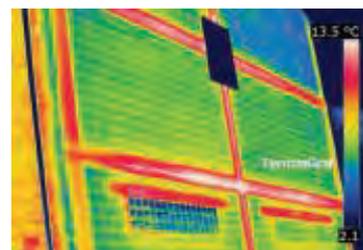
Auditorías energéticas



Rehabilitación energética

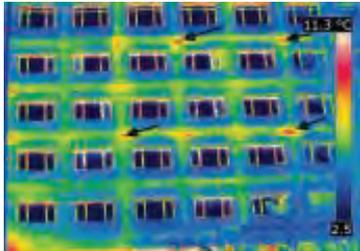


Inspecciones técnicas de edificios

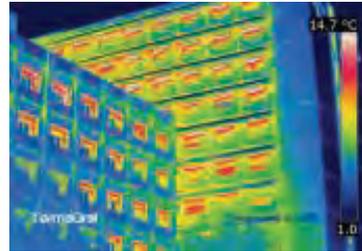


Puentes térmico

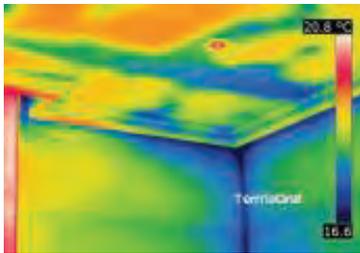
A



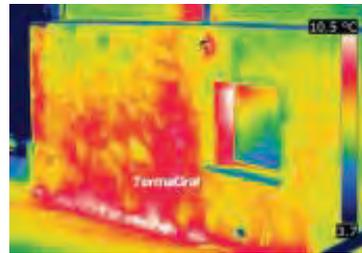
Estudio de envolventes



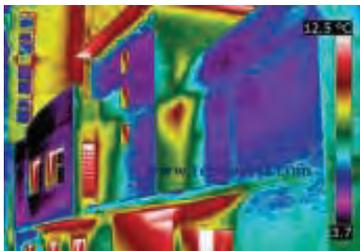
Carpinterías



Aislamiento térmico



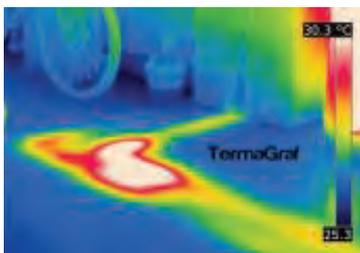
Humedades



Peritaciones



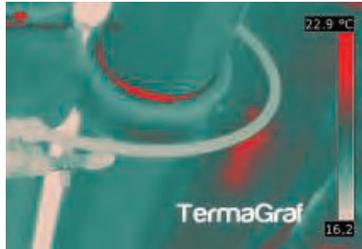
Aplacados



Instalaciones ocultas



Instalaciones eléctricas



Climatización y fontanería



Patrimonio y restauración

## BLOWER-DOOR

Por término medio, se estima que la mitad de las pérdidas energéticas de un edificio se deben a un aislamiento térmico insuficiente, mientras que el resto se debe a las infiltraciones de aire. En una rehabilitación energética no tendría mucho sentido actuar sobre sólo uno de estos frentes.

Cuando nos hablamos de la estanqueidad al aire de un edificio, nos referimos a su capacidad de evitar la circulación no controlada de aire. Cuando se calienta una vivienda unifamiliar, por ejemplo, se establece una zona de presiones mayores en la parte superior, por lo que el aire caliente (invierno) tiende a escapar al exterior por rendijas y aberturas. Por el contrario, en la zona inferior las bajas presiones hace que el aire frío exterior se introduzca en la vivienda, sumando cargas térmicas contrarias a las deseadas. Si este volumen de aire no es conocido, es difícil calcular los costes energéticos que supone en la eficiencia energética de este edificio. En el caso de la ventilación, se trata de una renovación controlada de aire, por lo que sus costes energéticos son conocidos.

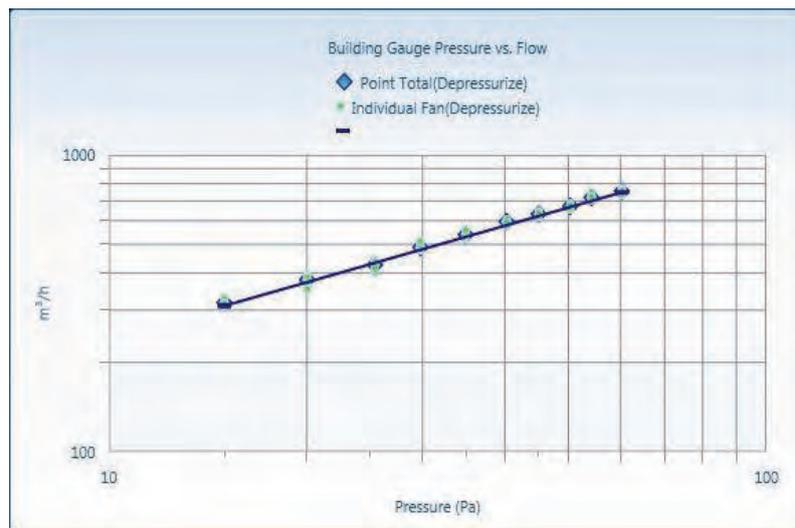
Además del energético, estas infiltraciones de aire tienen un coste adicional. La entrada de aire húmedo en el interior de los cerramientos puede producir condensaciones y daños en los componentes del muro. Suponen también puentes acústicos.

El Blower-door es el método aceptado internacionalmente para comprobar la hermeticidad de un edificio. Se creó en Suecia en 1975, y se aplica en la mayor parte de Europa, EEUU y Canadá.



El ensayo de estanqueidad al aire se basa en generar una diferencia de presión interior-exterior con un ventilador calibrado. Se mide el flujo de aire y se genera gráfico de flujo vs. Presión. Con ello se determina la estanqueidad del edificio (nº renovaciones/hora) referenciado a 50

pascales de diferencia de presión, según el método estandarizado EN 13829:2002. Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador (ISO 9972 : 19996, modificado)

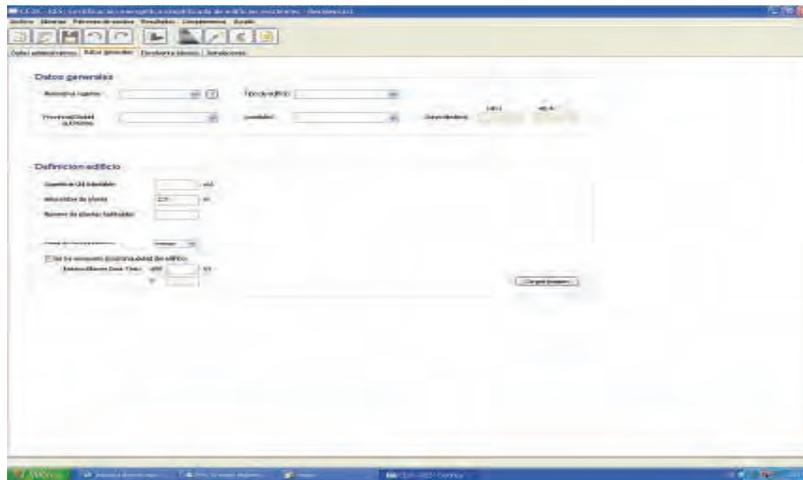


1 renovación/hora no controlada supone 10 kwh/m2 de incremento de demanda energética.

A

El programa CE3X – RES – Certificación energética simplificada de edificios existentes – Residencial, solicita

el resultado de este ensayo para mejorar la calificación energética del edificio.



Además de calibrar el caudal de las infiltraciones, la termografía aplicada durante el ensayo blower-door nos permite

localizar dichas infiltraciones, y determinar las acciones para su sellado.



A

## CONCLUSIONES

La eficiencia energética en un edificio se alcanzará si se trabaja sobre la realidad del edificio. En ocasiones las valoraciones de cálculo se basan en estimaciones generales en función del tipo de fábrica ó la época de construcción. Estos parámetros pueden cambiar totalmente en función de su calidad de ejecución ó montaje, del contenido de humedad, de la calidad y estado del aislamiento especificado ó del volumen de las infiltraciones de aire.

Un termógrafo experimentado aporta las herramientas y los procedimientos para documentar las anomalías energéticas que presenta un edificio real, y de este modo, diseñar una rehabilitación más eficaz.

## METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN EN LOS DEMOSTRADORES EXPERIMENTALES EN EL PROYECTO EDEA Y EDEA-RENOV.

Conejero, Sagrario

Vizcaino, Ana

Morillo, Bernardino

Gamero, Esther

*Consejería de Fomento, Vivienda Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura, Mérida, España*

Actualmente las simulaciones energéticas en edificación tienen gran diversidad de metodologías según el software que se seleccione. En el caso concreto del proyecto EDEA las simulaciones de las estrategias han sido realizadas con distintos programas de simulación energética. Por un lado, se ha utilizado Trnsys para la simulación del cambio en elementos constructivos ordinarios (cambios de espesor de aislamientos, materiales...), por otro lado, Design Builder para la simulación de estrategias bioclimáticas complejas (fachadas vegetales, cubierta aljibe...) y finalmente, Calener\_VYP en aquellos casos que sea aplicable con el objetivo de obtener la calificación energética en la aplicación de una estrategia determinada. En el presente trabajo se muestra la metodología de simulación llevada a cabo para estrategias pasivas con el software Trnsys.

Los datos de partida de las simulaciones deben ser los mismos con lo cual se acota la diferencia de resultados que se obtengan de las simulaciones a parámetros internos de los programas, que no podemos controlar, y no a factores externos, que sí podemos controlar. Se concluye que la comparación de los datos obtenidos de las simulaciones es muy compleja pues los parámetros internos diferentes son excesivos y se producen demasiadas divergencias en los resultados.

### 1 INTRODUCCIÓN

La Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura pretende desarrollar una metodología de diseño, construcción y rehabilitación de las viviendas sociales de forma que se obtengan viviendas bajo criterios sostenibles, con un mejor comportamiento energético y empleo de nuevas energías renovables, además de mejorar la calidad en la edificación.

La materialización de esta idea ha sido a través del desarrollo de los Proyectos EDEA y EDEA-RENOV cuya fase en común son dos demostradores-viviendas (“demostrador patrón” y “demostrador experimental”) con tipología similar a las viviendas sociales extremeñas de manera que se posibilite el estudio de la mejora energética de estrategias pasivas y activas a tiempo real ya que forman un laboratorio de la eficiencia energética edificatoria situado en Cáceres.

Ambos proyectos, EDEA y EDEA-RENOV, cuentan con financiación europea, concretamente tienen el apoyo de las Convocatorias LIFE+07 y LIFE+09 respectivamente.

Con el objetivo de seleccionar las estrategias pasivas y activas que posteriormente serán ejecutadas en los demostradores-viviendas se ha realizado un estudio previo de dichas estrategias basado en simulaciones térmicas y así conocer el comportamiento energético de las viviendas y sus instalaciones.

### 2 ANTECEDENTES.

Previamente al desarrollo de las simulaciones energéticas en el proyecto EDEA se desarrolló el proyecto básico y de ejecución de los edificios demostradores con los objetivos determinados por el proyecto:

1. El diseño de los demostradores es similar al de una vivienda que corresponde con el programa y superficie tipo de protección oficial. Dado que el diseño corresponde a una vivienda adosada se proyecta un edificio cuyos testeros son ciegos, abriendo huecos sólo en las orientaciones norte-sur.
2. Se mantiene la misma entrada desde el viario compartiendo el vial interior con el Laboratorio.

- Debido al desnivel existente en la parcela se crea en la parte posterior una rampa de acceso a la plataforma donde se ubican los demostradores. Es en esta zona donde se situarán los vehículos y medios técnicos auxiliares que se emplearán.
- Su emplazamiento dentro de la parcela se hace buscando la orientación norte-sur. Ambos edificios se encuentran dentro de los tranqueos a la alineación principal y posterior. La separación entre demostradores se establece en 10 m, delimitando una superficie entre ellas destinada a la zona de instalaciones y acopio de materiales. Se proyecta un área pavimentada de 6m de longitud en la orientación sur, ya que se centrará fundamentalmente la actuación de los experimentos en esta orientación.
- En el interior de los demostradores se colocarán una serie de sensores de forma que permita obtener mediciones de temperatura, humedad, iluminación, etc., dado que la actuación en uno solo de los demostradores permitirá establecer una comparación de los datos con la vivienda patrón, contrastando los resultados obtenidos en uno y en otro.

- En la planta primera se sitúan tres dormitorios y un baño principal, así como la escalera que accede desde la planta baja y a la planta de cubierta. (sup. Útil 48,04 m<sup>2</sup>)  
Sobre la planta segunda se sitúa la cubierta plana y el casetón de la escalera. (sup. Útil 50,45 m<sup>2</sup>)

Superficie construida total: 224,28 m<sup>2</sup>  
Superficie útil total: 200,46 m<sup>2</sup>.

### MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Dada la premisa inicial con la que partíamos en este proyecto de que los resultados están dirigidos fundamentalmente a viviendas de protección oficial, se proyectan unas viviendas cuyos materiales y calidades se asemejen a esta tipología edificatoria. A continuación se resumen los capítulos más representativos.

- Cimentación. Se ha resuelto mediante zapatas corrida apoyada en el firme con el correspondiente hormigón de limpieza. La contención perimetral se resuelve mediante un muro de hormigón armado realizado a dos caras en el semisótano.

- Estructura. Se proyecta una estructura de pórticos de hormigón armado formado por formada por pilares y por losas de hormigón de 30cm de espesor. La solera será de hormigón armado de 15cm de espesor, con juntas de contorno perimetrales y en encuentro con soportes, sobre un encachado de piedra de 15cm y lámina de polietileno intermedia perfectamente solapada y formando zócalo en todos los encuentros.

- Cerramientos exteriores. Las fachadas de este proyecto cumplen con su función de cerramiento, ya que tienen la suficiente resistencia mecánica y estabilidad, un adecuado comportamiento en caso de incendio, el aislamiento acústico requerido por el Código Técnico de la Edificación (CTE) y un correcto comportamiento higrotérmico.

Las fachadas norte-sur se resuelven según la siguiente composición La hoja exterior del cerramiento estará formada por fábrica de ½ pie de ladrillo perforado hidrófugo con acabado liso y junta enrasada, enfoscado con un mortero hidrófugo en su cara interior de 15mm de espesor mínimo.

La hoja interior del cerramiento es un trasdosado autoportante compuesto por una estructura de canales y montantes de acero galvanizado y placa de yeso laminar de 15mm. Se incorpora entre las dos hojas un aislamiento a base de lana de roca de 40mm de espesor.

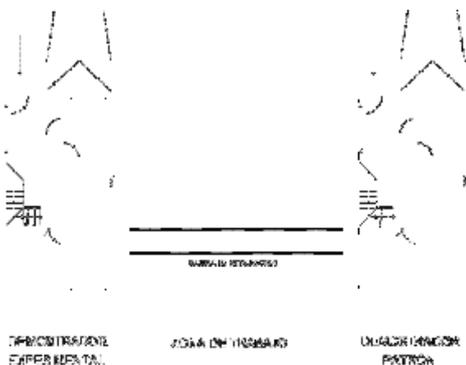


Imagen 1: Planta Baja y disposición de los demostradores experimentales

### TIPOLOGÍA DE LOS EDIFICIOS

- El edificio consta de plantas semisótano, baja, primera y cubierta.
- En la edificación bajo rasante se sitúa el local destinado a garaje, cuarto de instalaciones y vestíbulo de acceso interior a planta baja. (sup. Útil 49,60 m<sup>2</sup>)
- En planta baja se sitúa el acceso principal, escalera de acceso a garaje y a planta primera, cocina, un aseo y el salón-comedor. (sup. Útil 52,37 m<sup>2</sup>)

Los testeros de los demostradores, fachadas este-oeste, se diseñan con el objetivo de que sean fachadas adiabáticas, como si estuvieran en contacto con un local no calefactado es decir que su exposición al medio exterior no interfiera en los datos de los ensayos. Esta fachada está formada desde el exterior por un panel hidrófugo de fibrocemento tipo Viroc, una capa de lana de roca de 40 cm, ½ pie de ladrillo perforado, enfoscado en su cara interior más un trasdosado autoportante de placa de yeso laminar de 15mm.

- Carpintería exterior, será de aluminio lacado con capitalizado integral, preparada para montar un acristalamiento doble con cámara simple. La carpintería será abatible.

Las ventanas y ventanales exteriores cumplen en este proyecto la función de cerramiento, asegurando un adecuado aislamiento acústico a ruido aéreo y higrótico, y permiten además la iluminación, evasión visual y ventilación.

Las ventanas serán de los siguientes tipos según norma UNE 85-220-86:

- Clase 4 Permeabilidad al aire (UNE-EN-12.207)
- Clase 9A Estanquidad al agua (UNE-EN-12.208)
- B5 Resistencia al viento (UNE-EN-12.210)

- Cubierta. Se describe de una manera sucinta los materiales que la componen, Hormigón celular, para formación de pendientes, imprimación asfáltica, lámina asfáltica de oxiasfalto, betún modificado, lámina geotextil, polietileno, mortero protección, aislamiento térmico y acabado con capa de grava.

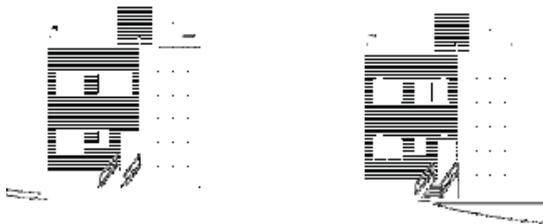


Imagen 2: Alzado de los demostradores experimentales EDEA.

### LA CAMPA

Además se ha construido una campa para albergar las instalaciones de alta eficiencia y energías renovables, esta campa será semienterrada entre los dos demostradores de forma que su implantación no interfiera entre ellos. Esta propuesta aprovecha los muros existentes de las plantas semisótanos de ambos de manera que la ejecución se limita a un muro

perpendicular de cierre en su orientación sur y la ejecución de otro muro que formará el patio inglés en su orientación norte.

La formación del patio inglés permite tanto el acceso de la maquinaria al interior de la campa por medio de una pequeña grúa que la situará a cota, como el acceso de las personas de mantenimiento a través de la escalera que se ha proyectado.

23

Esta propuesta respeta la composición y espesor de las medianeras adiabáticas en el interior de la campa. Su implantación y carácter semienterrada permite abrir unos huecos en los extremos de manera que se crea una ventilación natural cruzada en todo el recinto en la orientación norte-sur. El cierre de estos huecos se hace con una estructura de tubos y con unas lamas de acero. Este diseño permite que la entrada de los conductos de las máquinas a los cuartos de instalaciones de cada uno de los demostradores se haga de manera directa por los huecos previstos en los muros de cada uno.

- Superficie útil campa 120,00 m<sup>2</sup>
- Superficie útil patio inglés 40,00 m<sup>2</sup>
- Superficie útil total 160,00 m<sup>2</sup>
- Superficie construida total 185,00 m<sup>2</sup>



Imagen 3: Infografía de los demostradores experimentales EDEA.

### 3 OBJETIVOS.

Los objetivos específicos de las simulaciones energéticas y el estudio real a través de la monitorización de los demostradores del Proyecto EDA son:

- Contabilizar de manera precisa las mejoras energéticas que suponen diferentes mejoras constructivas en el edificio (aumentos de espesor de aislamiento, % de ventanas...)
- Estudiar la repercusión de mejoras energéticas bioclimáticas de comportamiento complejo (muro vegetal, cubierta aljibe...)

- Identificar los rendimientos y consumos de los equipos activos seleccionados (sistema de biomasa, energía solar térmica, geotermia de intercambio tierra-agua, etc.).
- Contabilizar la producción de energía eléctrica de forma limpia (energía solar fotovoltaica, energía minieólica, etc.).
- Asegurar la integración de las estrategias activas en edificación.
- Analizar la interrelación entre estrategias activas y pasivas.
- Dar a conocer la viabilidad y rentabilidad de las estrategias pasivas y activas.

Algunos objetivos generales de los Proyectos EDEA y EDEA-RENOV son:

- Desarrollar una edificación (de nueva construcción y rehabilitación) con mayor rentabilidad económica para el usuario final.
- Aumentar la viabilidad y rentabilidad de determinadas estrategias gracias a la optimización de la relación coste/beneficio energético y económico.
- Suscitar conocimiento e innovación en nuevos y mejorados materiales, sistemas y procesos constructivos alineados con la eficiencia energética positiva.
- Generar un parque de edificios sostenible durante su vida útil. (Emisiones nulas de CO<sub>2</sub> y consumo mínimo de agua y recursos naturales)
- Disminuir a medio plazo la dependencia de recursos energéticos del exterior.
- Fomentar conocimiento e innovación en las tecnologías energéticas basadas en recursos renovables (energía solar pasiva, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, biomasa)
- Aumento de la competitividad del sector de la construcción mediante el liderazgo en las tecnologías innovadoras desarrolladas en el proyecto y en el sector energético gracias al desarrollo de nuevos productos innovadores.

#### 4 METODOLOGÍA.

En el marco de los Proyectos EDEA y EDEA-RENOV se han llevado a cabo simulaciones con diferente software. Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con los distintos programas de simulación energética (Trnsys, DesignBuilder, Calener, etc.) se consideró fundamental establecer unos criterios comunes previos a la simulación para que los datos de partida sean los mismos acotando de es-

te modo las divergencias asociadas a los parámetros internos de cada software de simulación térmica; estos parámetros son difícilmente controlables.

Entre los datos de partida que se tuvieron en cuenta destacan:

- El año meteorológico tipo
- Base de datos de materiales a utilizar

En el presente documento vamos a mostrar la metodología de simulaciones llevada a cabo para las estrategias pasivas. Para estudiar la repercusión de mejoras en los sistemas constructivos de los demostradores, se ha optado por una simulación modular con el software de simulación TRNSYS 16.1.

Como aproximaciones generales al modelo se pueden destacar las siguientes:

a) Definición de diez zonas térmicas acopladas dinámicamente (Figuras 4 y 5):

*Planta baja*: dos zonas de viviendas orientadas a norte y sur respectivamente, además de la escalera.

*Planta primera*: dos zonas de viviendas orientadas a norte y sur respectivamente, además de la escalera.

*Sótano*: una zona en contacto directo con el terreno y la escalera.

Una zona de *semisótano* orientada al sur.

La *escalera* hacia el casetón.

b) La composición de los cerramientos. Se diseñan los cerramientos según la información del proyecto de ejecución (ver antecedentes).

c) Se analiza el edificio sin cargas internas de personas, equipos eléctricos o equipos de iluminación.

d) Se calcula la demanda del edificio cuando se rebasan las temperaturas de consigna establecidas para verano e invierno, 21°C para invierno y 26°C para verano.

En primer lugar se ejecuta una simulación del denominado caso base, que servirá de referencia con respecto a la que se calculará el ahorro producido por la introducción sucesiva de cada una de las estrategias bioclimáticas.

Acto seguido se ejecutan las simulaciones multi-paramétricas con cada una de las variaciones consideradas de interés para la optimización del comportamiento energético del edificio.

a) Variación del tipo de Aislamiento en fachadas. Lana de roca.

Poliuretano.

Poliestireno expandido.

b) Fachada convencional.

Espesor de aislamiento en fachada sur y norte: 3cm, 6cm, 9cm, 12cm, 15cm, 18cm.

Espesor ladrillo en fachada sur y norte: 1 pie, ½ pie.

c) Fachada ventilada.

Espesor de aislamiento en fachada sur y norte: 3cm, 6cm, 9cm, 12cm, 15cm, 18cm.

Espesor ladrillo en fachada sur y norte: 1 pie ½ pie.

d) Solera y forjados.

Espesor de aislamiento en forjado: 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm, 14cm, 16cm.

e) Cubiertas planas.

Espesor de aislamiento en cubierta: 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm, 14cm, 16cm.

f) Cubiertas ventiladas.

Espesor de aislamiento en cubierta: 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm, 14cm, 16cm.

g) Cubiertas inclinadas.

No se ha podido simular esta opción porque, a pesar de pedir los datos constructivos en numerosas ocasiones, a fecha de finalización de este informe aún no se ha facilitado la información.

h) Huecos acristalados.

Tipo de ventana: vidrio Doble 4/8/4 ( $U=3.25$ ,  $g=0.76$ ), vidrio Doble

Bajo Emisivo 4/8/4 ( $U=2.48$ ,  $g=0.762$ ).

Porcentaje de huecos a norte y sur: 20%, 40%, 60%, 80%.

i) Sombreamientos.

Porcentaje del factor de sombra a sur: 0%, 40%, 80%.

Sombreamiento cubierta.

j) Giro del edificio

Giro del azimut del edificio: 0°, 45°, 90°, 135°, 225°, 270°, 315°.

k) Ventilación.

Finalmente, se realiza una batería de simulaciones acopladas para la variación de todas las variables consideradas de interés. Dichas variaciones se enumeran a continuación:

a) Tipo aislamiento y espesor del aislamiento en fachadas convencionales.

b) Espesor del aislamiento y del ladrillo en fachadas convencionales.

c) Espesor del aislamiento y del ladrillo en fachadas ventiladas.

d) Espesor y tipo de aislamiento en cubierta.

e) Porcentaje de hueco, tipo de vidrio y espesor de aislamiento en fachadas convencionales

El total de simulaciones paramétricas en este caso es de 25.000, de las que se puede extraer información sobre la influencia en el comportamiento energético del edificio de la variación de varios parámetros simultáneamente (análisis de sensibilidad multiparamétrico). Dado el ingente número de simulaciones, éstas se han realizado mediante el acoplo del software GenOpt al programa de simulación dinámica TRNSYS.



Imagen 4: Modelo TRNSYS Proyecto EDEA.

## 5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Respecto a la comparación de los datos de simulación con diferentes software de simulación térmica se ha observado una elevada complejidad en su comparación por contar, por defecto, con demasiados parámetros internos diferentes que hace que los resultados diverjan en exceso.

En el caso concreto de la simulación en Trnsys que nos ocupa, el caso base al que se referencian los análisis de sensibilidad consta de los siguientes parámetros:

- Temperatura de consigna de calefacción: 21° C
- Temperatura de consigna de refrigeración: 26° C
- Espesor de aislamiento en fachada sur: 5 cm
- Espesor de aislamiento en fachada norte: 5 cm
- Espesor de aislamiento en cubierta: 5 cm
- Espesor de aislamiento en forjado: 3 cm
- Porcentaje de hueco en fachada sur: 35 %
- Porcentaje de hueco en fachada norte: 25 %
- Azimut de la fachada sur: 0° (sur perfecto)
- Tipo de vidrio: Doble Claro 4/8/4 U=3.25 g=0.76

En el gráfico 1 y 2 se presentan los resultados para la demanda energética en concepto de calefacción y refrigeración.

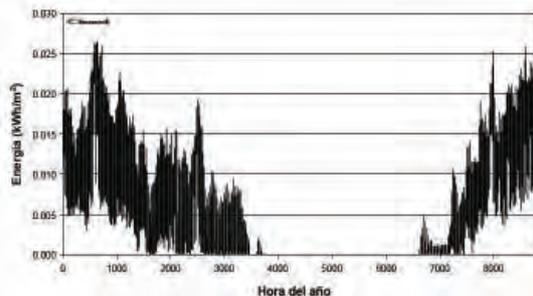


Gráfico 1: Demanda de calefacción de caso base demostradores

Se pueden observar máximos de la demanda de calefacción en valores cercanos a los 26 W/m<sup>2</sup>. Se puede comprobar, además, que la demanda de energía en concepto de calefacción para el periodo estival es nula,

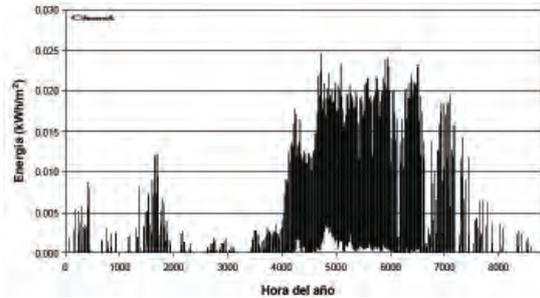


Gráfico 2: Demanda de refrigeración de caso base demostradores

Asimismo, se puede realizar la suma de toda la energía a lo largo del año para obtener una media de la demanda por metro cuadrado y año, valor de referencia con el que se compararán las diferentes variaciones en los parámetros. En el caso base, que es el que nos ocupa, estos valores son los que se enumeran a continuación.

- Demanda total de calefacción integrada: 46.78 kWh/m<sup>2</sup> año
- Demanda total de refrigeración integrada: 19.59 kWh/m<sup>2</sup> año
- Demanda total de energía integrada: 66.37 kWh/m<sup>2</sup> año

La demanda obtenida para calefacción es casi el doble que la alcanzada para refrigeración. Este efecto se explica teniendo en cuenta las variables meteorológicas de la zona climática donde se ubica el edificio, así como de la mayor duración del periodo de calefacción frente al de refrigeración.

A continuación se muestran los resultados de los análisis más interesantes de sensibilidad uniparamétricos realizados en el edificio

### Influencia del espesor del aislamiento

Se han realizado dos baterías de simulaciones, una para analizar la influencia que el espesor del aislamiento tiene sobre una fachada orientada al sur y otra batería para una fachada orientada al norte.

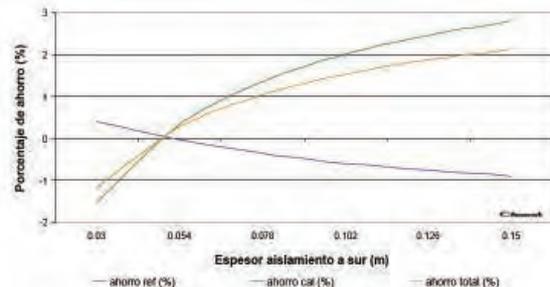


Gráfico 3: Análisis de la sensibilidad del edificio a variaciones en el espesor del aislamiento en la fachada sur.

A medida que aumenta el espesor del aislamiento en la fachada norte con respecto al especificado en el caso base, se incrementa el ahorro energético obtenido. Para un aislamiento de 15cm se obtienen valores ligeramente superiores al 2% en la demanda total de energía con respecto al valor inicial de 5cm de aislamiento a sur.

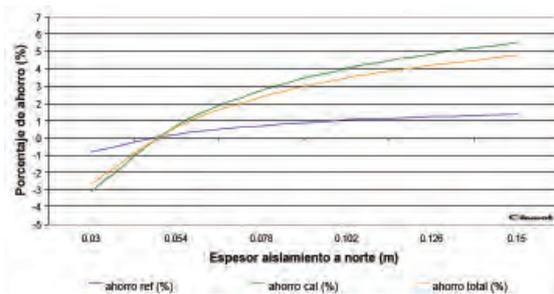


Gráfico 4: Análisis de la sensibilidad del edificio a variaciones en el espesor del aislamiento en la fachada norte.

A medida que aumenta el espesor del aislamiento en la fachada norte se incrementa el ahorro energético obtenido. Para un aislamiento de 15 cm se obtienen valores próximos al 5% en la demanda total de energía con respecto al valor inicial de 5cm de aislamiento a norte.

Comparando ambas figuras, se observa una mayor influencia en la variación del aislamiento en la fachada norte que en la sur. Esto es debido a que el cerramiento norte, al estar en una orientación que no recibe radiación solar directa, presenta más pérdidas que la fachada sur.

#### Influencia del espesor del ladrillo en fachada.

Se han realizado dos grupos de simulaciones, una para analizar la influencia que el espesor del ladrillo (1 pie o 1/2 pie) tiene sobre una fachada orientada al sur y otra batería para una fachada orientada al norte.

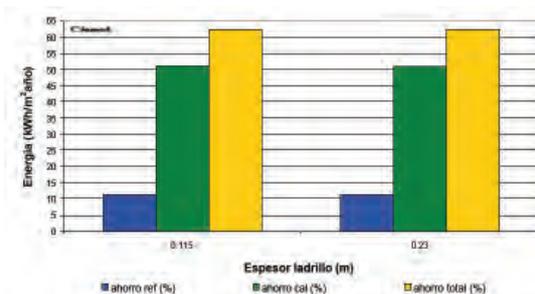


Gráfico 5: Análisis de la sensibilidad del edificio a variaciones en el espesor del ladrillo en la fachada sur

En el gráfico 5 se resumen los valores obtenidos para las simulaciones que analizan la sensibilidad del cerramiento a la variación del espesor del ladrillo en la fachada sur. En esta gráfica se representan los ahorros energéticos producidos en calefacción, refrigeración y en la demanda total. El aumento del espesor del ladrillo de 1/2 pie a 1 pie en fachada norte, produce un ahorro energético anual ligeramente superior al producido en la fachada sur aunque sigue siendo inferior al 1%.

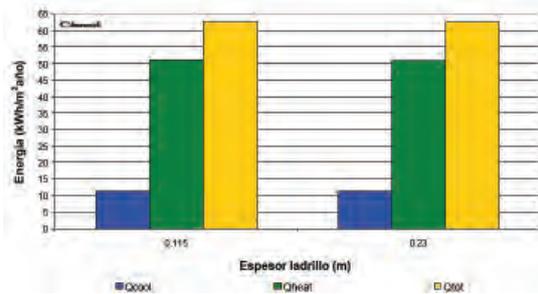


Gráfico 6: Análisis de la sensibilidad del edificio a variaciones en el espesor del ladrillo en la fachada norte

Los valores que analizan la sensibilidad del cerramiento norte a la variación del espesor del ladrillo, quedan reflejados en la gráfico 6. En esta gráfica se representan los ahorros energéticos producidos en calefacción, refrigeración y en la demanda total. El aumento del espesor del ladrillo de 1/2 pie a 1 pie en fachada norte, produce un ahorro energético anual ligeramente superior al producido en la fachada sur aunque sigue siendo inferior al 1%.

En ambas gráficas, se observa que la variación del espesor del ladrillo en las fachadas con respecto al caso base (1/2 pie) es mínimo en ambas orientaciones. Para esta climatología, el aumento de masa térmica influye mucho menos que el aumento de aislamiento.

#### Comparación del tipo de fachadas

Para poder analizar la influencia que el tipo de construcción de una fachada ejerce sobre la demanda energética del edificio, se han realizado tres bloques de simulaciones. Los dos primeros, fachadas convencionales y ventiladas, han sido descritos en párrafos anteriores, así que en este apartado se realiza la simulación de un edificio con fachada ventilada a sur y convencional a norte, comparando sus resultados con los obtenidos en los dos casos anteriores.

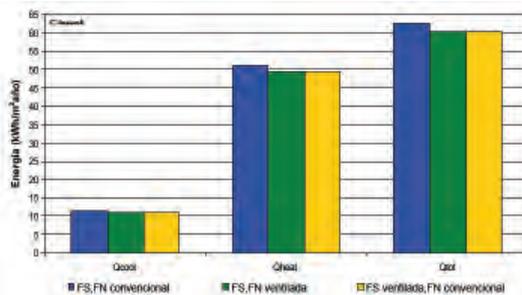
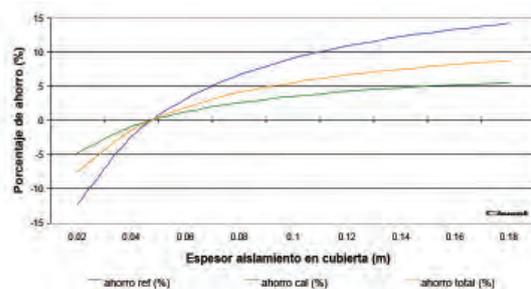


Gráfico 7: Valores energéticos resultantes de la comparación entre tipos de construcciones para fachadas

El gráfico 7 representa los valores obtenidos para refrigeración, calefacción y energía total de cada uno de los tres bloques simulados: fachadas norte y sur convencionales, fachadas norte y sur ventiladas, fachada sur ventilada y norte convencional. En esta figura se observa que las demandas energéticas para refrigeración son muy parecidas en los tres casos, dando valores ligeramente superiores cuando se tiene las dos fachadas convencionales. Para calefacción, el edificio con dos fachadas convencionales consume cerca de 1.5 kWh/m<sup>2</sup>año más que los otros dos casos. Analizando los valores obtenidos de demanda total de energía del edificio, el hecho de tener fachadas ventiladas como cerramientos reduce aproximadamente 2 kWh/m<sup>2</sup>año. El edificio con la fachada ventilada a sur y la convencional a norte produce resultados ligerísimamente inferiores que cuando ambos cerramientos son fachadas ventiladas. La demanda energética de un edificio se reduce cuando se sustituye las fachadas convencionales por fachadas ventiladas, produciendo un ahorro anual para refrigeración con respecto al caso base inicial (fachadas convencionales) del 5%. Las diferencias entre dos fachadas ventiladas o una fachada ventilada a sur y convencional a norte son mínimas, dando valores energéticos ligeramente mejores en el último caso.

### Influencia del espesor de aislamiento en cubierta



En la Gráfico 8 se resumen los valores obtenidos para las simulaciones que analizan la sensibilidad del cerramiento a la variación del espesor del aislamiento en cubierta. En esta gráfica se representan los ahorros energéticos producidos en calefacción, refrigeración y en la demanda total. A medida que aumenta el espesor del aislamiento en la cubierta, se obtiene un incremento en el ahorro energético obtenido. Para un aislamiento de 18 cm, el ahorro total anual alcanzado con respecto al caso base inicial de 5cm, es próximo al 9%.

### Influencia del tipo de vidrio

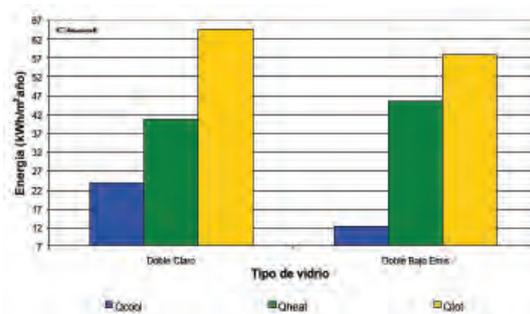


Gráfico 9: Análisis de la sensibilidad del edificio a variaciones en tipo de vidrio de la fachada sur..

En el Gráfico 9 se resumen los valores obtenidos para las simulaciones, divididos en calefacción, refrigeración y la cantidad total, de la variación del tipo de vidrio. Al cambiar el vidrio doble claro por uno doble bajo emisivo, la demanda de calefacción aumentaría un 11% de energía, aunque la demanda de refrigeración se reduciría mucho, del orden del 47%. El efecto sobre la energía total al cambiar un vidrio doble por uno doble bajo emisivo produce un ahorro de casi el 11%.

## 6 BIBLIOGRAFÍA.

- Sostenibilidad y eficiencia energética en Arquitectura e Ingeniería: Demostradores-Viviendas del Proyecto EDEA – Congreso Internacional sobre Edificación sostenible SB10mad, A. M. Vizcaíno, E. Gamero, S. Conejero.
- Proyecto EDEA: Desarrollo de la Eficiencia Energética en la Arquitectura - XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, A. M. Vizcaíno, E. Gamero, S. Conejero.
- Directiva Europea 2009/28/CE
- Directiva 2010/31/UE

A

- Directiva Europea 76/93/CEE
- Directiva EPBD 01/2002
- Código Técnico de la Edificación, RD 314/2006, de 17 de marzo.
- Enerclub “Eficiencia Energética en la Península Ibérica 2007”.
- IDAE “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Resumen ejecutivo PAE4”.
- Norma UNE-EN ISO 7730
- Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible, F.Javier Neila.
- Acondicionamiento y energía solar en arquitectura, F. Javier Neila y César Bedoya.
- Fundamentals, ASHRAE HANDBOOK, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning.
- [www.passive-on.org](http://www.passive-on.org)
- [www.iea.org](http://www.iea.org)

## Nuevas tecnologías de diseño BIM (Building Information Modeling) aplicadas a la eficiencia energética en rehabilitación

María Rosario Chaza Chimeno

*E.T.S.I.E. Universidad de Sevilla, Sevilla, España*

Juan Francisco Fernández Rodríguez

*E.T.S.I.E. Universidad de Sevilla, Sevilla, España*

### RESUMEN:

Dentro del marco en el que se encuentra en la actualidad el sector de la construcción y considerando como campo de mayor oportunidad el de la rehabilitación, se plantea como objetivo el estudio del uso de nuevas tecnologías de diseño BIM (Building Information Modeling) como herramientas y metodologías en la simulación, monitorización y certificación, tendentes a la mejora energética de edificios existentes y arquitectura patrimonial que se pretenden rehabilitar, mediante la construcción de modelos virtuales para el estudio integral y simulación de eficiencia energética de edificios. Se pretende establecer un protocolo de auditoría energética en el campo de la rehabilitación, que introduzca criterios de sostenibilidad a edificaciones ya construidas y desarrolle para las mismas mejoras de eficiencia energética (rehabilitación energética).

### 1 INTRODUCCIÓN

Situándonos en el contexto de crisis económica y energética en el que nos encontramos, y que parece afectar especialmente al sector de la construcción, resulta de interés dirigir el análisis y el debate público generado en torno a este tema hacia el mercado energético y las implicaciones del cambio climático, tanto en las políticas de mitigación como de adaptación, realizando un especial énfasis en la minimización del impacto provocado por el sector de la edificación y rehabilitación, buscando con ello el desarrollo de edificios y en definitiva ciudades, sostenibles.

Dentro del sector de la construcción parece interesante plantear como primer objetivo, analizar la situación energética real del parque edificatorio existente y cuantificar las mejoras energéticas que pueden conseguirse por medio de la rehabilitación, dado que será ésta la disciplina que previsiblemente primero se reactivará dentro del sector.

La rehabilitación energética, por tanto, se presenta como una línea de trabajo que optimizará la eficiencia energética de edificaciones existentes, pondrá en valor y uso parte del parque edificatorio ya construido, contribuyendo a la reutilización del mismo y a la reactivación de forma paulatina del sector de la construcción, y reducirá la dependencia energética

en la que actualmente vivimos, de fuentes relacionadas con el petróleo.

Numerosos reglamentos y normativas de carácter nacional y europeo pugnan por la investigación y desarrollo de acciones en la línea de la rehabilitación energética, y plantean un calendario de adaptación a los mismos de forma que progresivamente edificios nuevos, tanto públicos como privados, presenten un consumo de energía casi nulo (en torno a 2020) e igualmente se plantea para el caso de la rehabilitación.

A nivel nacional este objetivo se traduce en la ley de Economía Sostenible, para edificación existente, que aprueba el procedimiento básico de certificación energética en estos casos, que tendrá como objetivos la reducción de consumo de energía y emisión de CO<sub>2</sub>, promover la eficiencia energética y dar calificación energética al edificio (de A a D para edificios de nueva construcción y de A a G para los existentes).

En lo que a eficiencia energética se refiere, no deberíamos plantear el tema desde el punto de vista de proyección (de obra nueva y rehabilitación) y certificación como procesos independientes, ni siquiera consecutivos. Parece que lo realmente interesante sería trabajar ambas cuestiones a la vez, que una se alimente de la otra, de forma que estemos hablando de auténtica construcción sostenible. Surge por ello la necesidad de introducir en el proceso de proyecto

la certificación energética como una variable más sobre la que trabajar y no como una consecuencia de las decisiones de proyecto tomadas. Se hace preciso por ello contar con una herramienta capaz de gestionar de manera integral el proceso de proyecto, y parece que el BIM nos ofrece esa posibilidad.

Se propone trabajar con una herramienta que considerará durante el proceso de diseño de la obra nueva, pero también de la rehabilitación, criterios sostenibles. Orientaciones, apertura de huecos o espesores de cerramiento, definidos inicialmente en el modelo virtual BIM de trabajo, nos irán indicando en que rango energético se mueve nuestro edificio y nos permitirá definir las características de los mismos para que contribuyan, de manera pasiva, a la eficiencia del mismo, sin realizar una mayor inversión.

## 2 PROCESO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN EXISTENTE. DATOS DE PARTIDA

El objetivo primordial de esta investigación es establecer un protocolo de auditoría energética para viviendas ya construidas cara a su futura rehabilitación, intentando así simplificar el proceso de la auditoría energética en aras de contribuir al ahorro energético de las viviendas. El caso que a nosotros nos ocupa es el sector residencial, que cada vez está adquiriendo más importancia dentro del consumo.

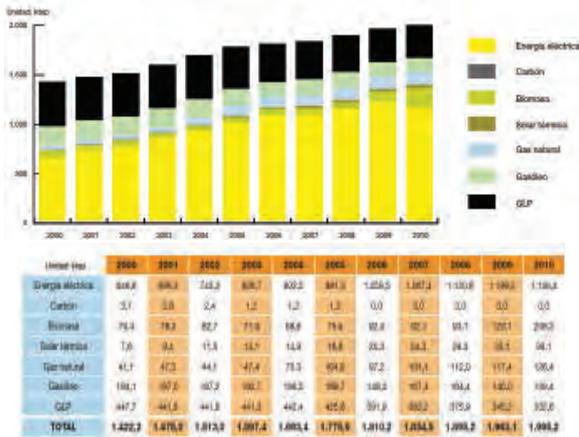


Figura 1: Evolución del consumo final del sector residencial por fuentes. Fuente: Datos energéticos de Andalucía en 2010<sup>1</sup>. Como podemos ver, en el sector residencial creció el consumo de energía en menor medida que en años

<sup>1</sup> Drozdowskyj, R. "“IMPLANTACIÓN DE PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA VIVIENDAS”". 2012. ETSIE Universidad de Sevilla

anteriores, un 1,6% (32,1 ktep) y se sitúa en 1.995,2 ktep. Esto se debió principalmente a la disminución de la demanda de electricidad, que bajó en 3,4 puntos porcentuales su peso en la estructura final de consumo del sector situándose en el 57,6% (1.149,4 ktep).

Los hogares consumieron un 4,1% (48,8 ktep) menos energía eléctrica que en 2009 y 3,9% (19,2 ktep) menos de productos petrolíferos (gasóleo y GLP). Se destaca el crecimiento del aporte de fuentes renovables, del 58,4% (91,2 ktep), contribuyendo con 247,4 ktep a la matriz de abastecimiento del sector, el 12,4% del consumo total. El gas natural también registró un aumento del 7,6% (9 ktep), si bien es la fuente que menos peso tiene en el total, el 6,3%.

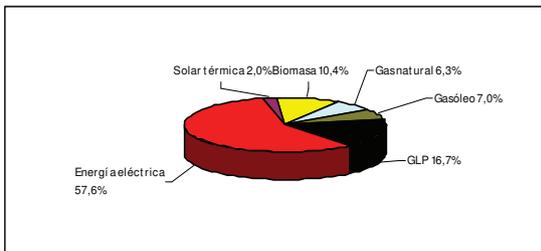


Figura 2: Distribución del consumo energético del sector residencial por fuentes. Datos energéticos de Andalucía en 2010

A partir del análisis de diversas tipologías de viviendas se busca conseguir los siguientes objetivos:

- Disminuir el consumo energético de las viviendas, ya que se sabe que los edificios consumen entre el 30% y el 40% de toda la energía producida en el planeta para calefacción, refrigeración e iluminación.
- Análisis detallado de las viviendas en cualquiera de sus tipologías.
- Conocer los instrumentos necesarios para realizar una óptima auditoría energética a una vivienda ya construida.
- Estudiar los consumos energéticos y las características de los equipos de una vivienda "tipo", conocer las alternativas que el mercado nos ofrece en relación a un uso de la energía sostenible.
- Conocer las diferentes medidas de ahorro energético que se puede aplicar en viviendas sin subyugar las necesidades básicas de confort.

- Análisis de la viabilidad económica de las medidas de ahorro energético.

- Dar solución a los problemas o comportamientos incorrectos que se hayan podido observar en el edificio o en sus instalaciones, en base a los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso.

### 3 CONCEPTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DENTRO DEL PROCESO DE AUDITORÍA

Para comenzar a hablar de rehabilitación energética señalaremos que lo óptimo sería enmarcarla dentro del proceso de auditoría energética. Para ello definiremos a grandes rasgos cual sería el procedimiento deseado a seguir en un proceso de auditoría.

En primer lugar partiríamos de la visita y toma de datos inicial del inmueble objeto de análisis. Este estudio iría seguido de una primera evaluación energética (certificación inicial) que nos aporte la información del punto en el que se encuentra nuestro edificio, y poder así calificarlo energéticamente hablando.

Tras eso lo normal sería realizar una serie de propuestas de mejora que incidan en la disminución del consumo energético del inmueble y su impacto ambiental, con la consecuente evaluación de costes. Este proceso de estudio de actuaciones a llevar a cabo en la edificación sería el origen del proyecto de rehabilitación energética que, como ya indica su nombre, tendrá como objetivo llevar a cabo una obra de mejora de la edificación existente en aquellos puntos que incidan en el comportamiento energético del mismo. Por lo general al hablar de rehabilitación energética hablaremos de tres tipos de acciones concretas:

- Actuaciones en la envolvente del edificio
- Actuaciones en los diferentes sistemas, instalaciones y equipos del edificio
- Inclusión del uso de renovables por parte del edificio

Finalizada la propuesta de mejora del edificio objeto de estudio (proyecto de rehabilitación energética) se realizará una nueva certificación energética que ponga de manifiesto las mejoras en cuanto a comportamiento energético del mismo, y que permita compararlo con la situación inicial evaluada.

### 4 INTRODUCCIÓN AL SISTEMA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO DE ARQUITECTURA

La tecnología asociada al modelado inteligente para la coordinación de proyectos, conocida como BIM – Building Information Modeling – consiste en desarrollar “simuladores de estado de un proyecto” con la intención de evaluar, de manera anticipada e integral, los posibles conflictos que se puedan presentar durante la construcción de las obras.

El principal beneficio en el empleo de estas herramientas es que se logra una importante mejora de los proyectos en tanto reportan los cruces e interferencias entre las distintas especialidades intervinientes, por lo que se logra una mayor coordinación entre ellas.

La metodología consiste en construir un modelo virtual, ajustado a la realidad en términos de diseño (dimensiones, materiales, clima entre otros), así como otros factores determinantes de un proyecto (plan de trabajo, calidad de materiales y componentes, puesta en obra, recursos humanos). Es decir, una simulación de la realidad que permite ensayar y llevar a cabo todos los cambios en el diseño, planificación o logística, antes que estos cambios incidan en la obra.

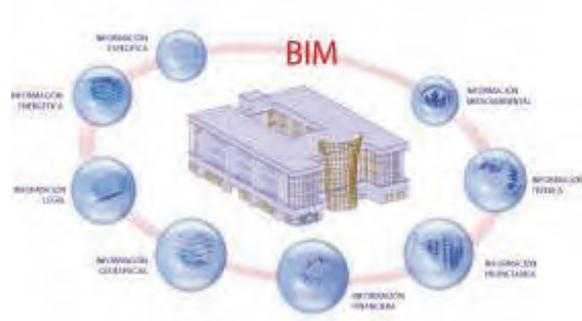


Figura 3: Gráfico funcional modelo BIM. Fuente: Nemetschek

#### 4.1 ¿Qué es el modelado BIM?

Es una herramienta digital que permite facilitar la gestión, coordinación y administración de proyectos de edificación. El BIM da origen a un cambio de paradigma que se produce, principalmente, por la ca-

pacidad de los programas de almacenar información adicional de cada elemento diseñado, lo que se entiende como la cuarta dimensión (4D). En el caso del CAD es el usuario el que interpreta un conjunto de líneas como una losa, una viga o un muro de hormigón armado; en el BIM es el programa el que entiende que ese elemento es una losa o un muro y a su vez sabe su espesor, componentes, materialidades, precios, etc. Toda esta información la almacena y permite al usuario administrarla, presentarla en variados formatos y transferirla a distintos programas. De esta forma pasamos del concepto de dibujar a construir modelos virtuales.

Lo que persigue BIM es que todos los agentes que intervienen en los proyectos puedan conectarse con una plataforma en donde se encontrarán y podrán subir las actualizaciones de sus especialidades, permitiendo una coordinación en tiempo real, lo que se podrá lograr siempre y cuando todos ellos utilicen los mismos programas o herramientas digitales, por ende deberán pasar del CAD al BIM, situación que se está iniciando lentamente en nuestro país. Por el momento, el uso del sistema se puede realizar por medio de Coordinadores de proyectos BIM, quienes son capaces de modelar 3D en base a un 2D de CAD, los distintos proyectos y vincularlos para detectar conflictos.

La eficacia de los procesos constructivos centralizados en una única base de datos atacada por todos los programas implicados en el proyecto facilita la tarea planificadora y creativa y permite visualizar en 3D aquellas cosas que hasta ahora solo podíamos imaginar en 2D sobre la pantalla. Ahora queremos profundizar un poco más en este proceso de gestión de la documentación del procedimiento contractivo, acercándonos a diferentes aspectos de esta tecnología.

#### 4.2. BIM: integración de la arquitectura y los elementos más técnicos

Una de las cosas más efectivas del concepto del BIM es que existe una única base de datos del edificio, lo que permite que todos los agentes implicados en el proceso constructivo nutran sus programas informáticos con la misma información. Esto es básicamente útil para realizar el cálculo de estructuras, instalaciones, etc... ya que permite con estos datos realizar simulaciones, por ejemplo, de qué consumo energético tendrá el edificio o el proyecto que estamos realizando.

El BIM, está claro, ofrece la posibilidad de diseñar el proyecto desde una visión más integral del mismo. Es decir, te permite ver como va a afectar un cambio en un elemento a todo el proyecto constructivo. Por eso las grandes compañías que utilizan BIM ya han visto las ventajas de esta metodología. El diseño en 3D permite tanto a los estructuralistas, como a los decoradores, como a los ingenieros trabajar de una manera integrada.

BIM, no es un software, es un proceso de representación del edificio basado en datos, y no sólo en su geometría. La informatización del proceso a través del software es lo que modifica por completo las reglas tradicionales del proyecto y su construcción. Facilita compartir datos (**Comunicación**), trabajar sobre los datos compartidos (**Colaboración**), realizar análisis previos a la construcción (**Simulación**), y usar estos resultados para mejorar el diseño (**Optimización**).

El BIM plantea una tercera vía de representación del proyecto. Al 2D versus 3D, y al Analógico versus Digital, se añade la vía Geometría versus Datos. Este último incluye, en un único modelo BIM, Geometría, Especificaciones, Medición y coste, Planificación de tiempos, y todo tipo de propiedades y atributos (térmicos, acústicos...), que definen completamente el edificio.

Planos, mediciones, análisis energético, estructura... han de ser obtenidos a partir del modelo BIM y a su vez forman parte del propio concepto BIM. Un concepto BIM bien desarrollado, ha de reducir tiempos y costes en el desarrollo del proyecto, eliminar al máximo los errores del mismo, y mejorar la comunicación con el cliente.

Los principales programas BIM que se encuentran actualmente en el mercado son Revit (Autodesk), Archicad (Graphisoft) y Allplan (Nemetschek). Estos dos últimos ya hace muchos años que se comercializan y tienen una comunidad de usuarios bien consolidada en el mundo entero. Revit, a pesar de ser el último en llegar, ha entrado en el mercado con la seguridad que supone proceder de la misma compañía que el famoso Autocad.

#### 4.3. Allplan como herramienta BIM

Allplan BIM representa la máxima evolución de Nemetschek del concepto BIM, tras más de veinte años de desarrollo, y la experiencia práctica de miles y miles de usuarios en todo el mundo. Allplan BIM, no obstante, mantiene todas las herramientas clásicas

de un sistema de CAD, para evitar las lagunas que suelen encontrarse en el cambio de un sistema de trabajo CAD a uno basado en BIM. El usuario puede trabajar sobre un modelo BIM paramétrico, con todo tipo de elementos constructivos y todo tipo de datos asociados, pero manteniendo el máximo control sobre la representación gráfica 2D y con el máximo nivel de detalle, de forma que ni la arquitectura ni los arquitectos deben renunciar a la expresión gráfica de sus ideas ni perder su estilo de representación al pasar a utilizar herramientas BIM.

Allplan es un sistema BIM que contempla todas las fases del proyecto y su construcción, con un nivel de detalle de proyecto de ejecución. Allplan contempla todas las competencias de la edificación, tanto las de los arquitectos como las de los ingenieros. En España, los arquitectos tienen competencia sobre el proyecto completo, pero en la mayoría de países no es así. Los sistemas BIM suelen estar adaptados al trabajo de los arquitectos que sólo tienen competencias sobre lo que aquí llamamos proyecto básico, de ahí que no se encuentre en ellos el grado de precisión y detalle necesarios para un proyecto de ejecución, con presupuestos, instalaciones, estructuras, análisis energético... o ni siquiera el grado de detalle constructivo que requiere un proyecto completo listo para su construcción. Allplan BIM también dispone de todas las herramientas de un sistema de CAD tradicional, y es totalmente compatible además de con AutoCAD, con estándares universales como el formato PDF 2D y 3D, y todos los programas relevantes del sector de la construcción de nuestro país, Presto, Arquímedes, Cypecad, Tricalc...

Allplan dispone de una base de datos multiarchivo, de forma que el proyecto puede estructurarse en cuantos archivos se desee, cada uno de ellos, al igual que AutoCAD con sus correspondientes capas. Para trabajar en equipo sólo hay que definir a qué archivos tiene acceso cada uno de los usuarios del sistema, o si estos han de ser compartidos o no. El sistema es muy flexible y permite trabajar en red con una gran agilidad. Un usuario puede abrir en una misma ventana de trabajo y editar a la vez dos o más archivos, sin ningún problema, y sin tener que organizar un sistema de referencias externas para ello.



Figura 4: Imagen interfaz Allplan. Fuente: Nemetschek

De esta forma el trabajo con Allplan permite asociar a todas las disciplinas implicadas en el proceso constructivo de forma que se trabaje de manera integral diseño, estructura, instalaciones etc... Si el usuario utiliza, por ejemplo, un sistema de cálculo energético integrado con Allplan, cualquier cambio en el diseño permite conocer al instante su repercusión, por ejemplo, en el consumo energético anual del edificio. Esto podría realizarse de manera automática y sin tener que volver a definir el edificio con el programa AX-3000, integrado en Allplan, que está tramitando el reconocimiento y que permite obtener la certificación energética que define el Real Decreto 47/2007. Éste permite testar a medida que evoluciona el proceso de proyecto la situación energética del mismo.

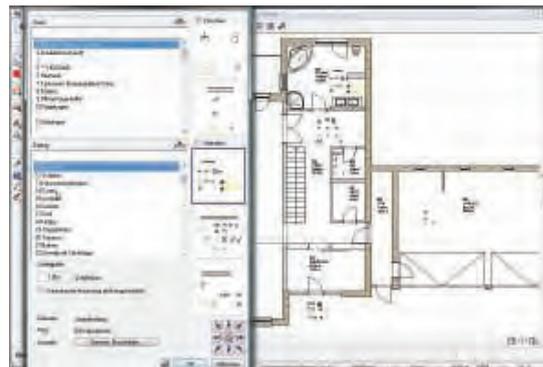


Figura 5: Imagen interfaz AX3000. Fuente: Nemetschek

Pueden obtenerse, no obstante, similares resultados mediante la conexión con otras aplicaciones. Por ejemplo, aún no estando integrado en Allplan, el modelo con todos sus atributos, puede exportarse a Instalaciones del Edificio de Cype o a Tekton 3D de Procedimientos Uno, y obtener la certificación energética. Si esta no es la adecuada, obtendremos la información necesaria para modificar el diseño o los

materiales y volver a calcular el nivel de certificación energética. Esto es igualmente aplicable como decimos a otras disciplinas, como el cálculo de estructuras, la simulación acústica, etc.

## 5 GESTIÓN DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE TECNOLOGÍA BIM

Una vez definido el procedimiento a seguir en un proceso de auditoría energética y la utilidad del uso de herramientas BIM en el desarrollo de cualquier proceso de proyecto de edificación, trataremos de vincular ambos, proceso y herramienta, para dar como resultado un protocolo de trabajo en el desarrollo de proyectos de rehabilitación energética.

Para ello partiremos de la realización de un estudio de la edificación objeto de auditoría, que pasará, como se indicó anteriormente, por la visita y toma de datos inicial con los que realizar una certificación energética inicial de la edificación. A partir de ésta se realizará una propuesta de mejora y como consecuencia una nueva certificación energética con la consideración de las mejoras propuestas. Evidentemente será necesario realizar también un estudio económico que evalúe el ahorro que la intervención proporcionará a la edificación en cuanto a gasto energético y la inversión inicial que requiere, de forma que las acciones propuestas estén proporcionadas al ahorro que producirán a medio y largo plazo.

Como decimos necesitaremos de la certificación energética de la edificación para conocer y cuantificar la situación energética de la misma. Para ello existen herramientas de simulación reconocidas por el ministerio de industria, CE3 y CE3X, que consiguen, mediante la entrada de una serie de datos geométricos y tipológicos, determinar la certificación energética de la edificación.

Se están desarrollando, en ese sentido, nuevas herramientas de simulación energética, como la generada por la *Fundación Laboral de la Construcción* que realiza una evaluación energética y de coste de la intervención, también mediante la introducción de una serie de datos sobre la edificación. Evidentemente también estarán a nuestra disposición las herramientas de evaluación (Lider) y certificación (Calener) empleadas normalmente para certificación energética de edificios de nueva planta, pese a que a

efectos de edificación existente dichas herramientas tendrán una serie de limitaciones que harán más interesante acudir a las específicas para certificación de edificios existentes.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALIBRACIÓN	ACS
 Emissiones globales (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	Emissiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	Emissiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
	REFRIGERACIÓN	
	Emissiones ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	Emissiones iluminación (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
	ILUMINACIÓN	

La calificación energética global y las parciales así como los indicadores energéticos (aún no calculados) para unas condiciones climáticas de operación y funcionamiento normalizadas.

Figura 6: Indicadores de calificación energética.

Está claro que para una certificación energética inicial de una edificación ya construida estas herramientas nos permiten definir la eficiencia energética en base a una serie de parámetros existentes y establecidos. Pero ¿qué pasa cuando nos encontramos inmersos en una segunda fase del proceso de auditoría, el de propuesta de mejoras o de redacción de un proyecto de rehabilitación energética?

Las herramientas antes mencionadas (CE3 Y CE3X) realizan una simulación energética de un proyecto ya ejecutado, dado que introducimos los datos finales que se han estimado para el mismo, pero sería interesante integrar en una misma herramienta el proceso de realización del proyecto y el de cálculo de eficiencia energética del mismo, de forma que los cambios que puedan irse realizando en el proyecto puedan irse simulando de manera simultánea, conociendo durante el proceso de proyecto, y no solo al finalizarlo, la situación energética de nuestro edificio y las ganancias o pérdidas energéticas generadas por las diferentes acciones realizadas en el mismo, de forma que se pueda proyectar teniendo en cuenta la repercusión de aspectos ambientales.

La tecnología BIM antes descrita nos permite llevar a cabo este trabajo, dado que en un mismo interfaz se integran herramientas de desarrollo de proyecto y de simulación energética. Concretamente Allplan, herramienta en la que centramos nuestro trabajo, junto con el paquete AX3000 de cálculo de instalaciones y eficiencia energética integrado en el mismo, nos permitirá realizar comprobaciones a tiempo real de la situación energética de nuestro edificio y de las diferentes intervenciones que realicemos en el mismo en el proceso de desarrollo del proyecto de rehabilitación energética.

Evidentemente integrar el cálculo de eficiencia energética en el propio proceso de proyecto resulta

de interés dado que no será, como viene siendo hasta ahora, un simple cálculo realizado a posteriori una vez cerrado el proyecto sino que permitirá a los criterios energéticos incidir en la definición y diseño del edificio, pero además será una forma de cuantificar la mejora que la introducción de uno u otro elemento constructivo produce en la eficiencia energética del edificio.

Está claro que es fácil cuantificar el ahorro de consumo energético que introduce a un edificio la incorporación de renovables o la renovación de instalaciones y maquinarias, pero resulta mucho más complejo determinar el ahorro energético que se produce en el consumo del edificio por la sustitución de una determinada carpintería, por la utilización de uno u otro espesor de aislamiento, por la influencia de la orientación, disposición y tamaño de huecos y por la influencia del soleamiento en el ahorro de energía.

Precisamente serán todos estos aspectos, relacionados con la envolvente del edificio, los que permiten reducir la transmitancia del edificio y reducir el consumo del mismo, y son precisamente los más difíciles de cuantificar. El uso de simuladores BIM integrados en el proceso de proyecto ayudará a establecer un estudio y tipificación de cómo la rehabilitación de la envolvente podrá producir ahorro energético e incidir en el ahorro económico que experimentará el edificio tras la rehabilitación energética.

Por todo ello plantearemos a continuación el proceso a seguir para la gestión de un proyecto de rehabilitación energética a través de tecnología BIM.

### 5.1. Desarrollo del proyecto de rehabilitación energética con la herramienta BIM

Como ya se ha señalado, lo primero sería llevar a cabo los pasos de visita y toma de datos de la edificación existente marcados como iniciales en un proceso de auditoría energética. Podría plantearse a partir de este punto, como se señaló anteriormente, la realización de una certificación energética inicial a partir de estos datos, aunque lo que haremos en este caso será realizarla una vez introducidos los datos en el sistema BIM y definido el modelo virtual inicial, entendiendo que el proceso no terminará en la certificación, sino que ese modelo servirá para continuar

con el proceso de definición del proyecto de rehabilitación energética.

De esta forma, a partir de estos datos llevaremos a cabo la construcción de un modelo virtual BIM, con definición de la geometría existente, orientación, ubicación de huecos, definición de elementos y soluciones constructivas que conforman la envolvente del edificio (capas que conforman los cerramientos, tipología de cubierta, sistema empleado en cimentación, aislamiento con respecto al terreno etc...), soluciones estructurales y de instalaciones, incluyendo la toma de datos y medidas realizada en la visita inicial a la edificación (tipo de instalación, características de aparatos de climatización, calefacción, sistema eléctrico etc...)

En base a este primer modelo llevaremos a cabo una primera simulación que determine la certificación energética del edificio de partida, previo a la propuesta de mejoras.

Partiendo de ese dato de certificación inicial realizaremos la propuesta de mejoras a incluir en el proyecto de rehabilitación energética sobre el modelo planteado. Para tratar el tipo de mejoras a realizar en el edificio las dividiremos en tres tipos:

1. Reducción de la demanda energética del edificio mediante la reducción de la transmitancia de su envolvente.
2. Reducción del consumo de equipos mediante la intervención y mejora del rendimiento de las instalaciones ubicadas en el edificio y encargadas de garantizar el confort térmico, lumínico y de salubridad del mismo
3. Incorporación de energías renovables que reduzcan el consumo de otras fuentes energéticas altamente contaminantes y con mayor dependencia económica de los productores de la misma.

Como ya se señaló anteriormente, en general, resulta fácil determinar el ahorro energético que supone la sustitución de una determinada instalación o maquinaria en un edificio existente, y por tanto estimar el ahorro económico que esto supondría de cara a determinar si la inversión a realizar resulta adecuada a medio plazo. Igualmente la introducción de renovables supone un ahorro fácil de cuantificar, y de la

misma forma se puede determinar si resulta o no rentable la introducción de las mismas en relación al ahorro-inversión inicial que se produzca.

Sin embargo es en el apartado de la intervención sobre la envolvente en el que resulta más complicado estimar el ahorro generado y la relación entre ese ahorro y al inversión inicial a realizar. Sin embargo es el punto más importante sobre el que actuar, dado que será el que determine si aumenta o disminuye el consumo energético del edificio de cara a garantizar condiciones de confort en el mismo. Existen hasta ahora pocos patrones de funcionamiento en cuanto a envolvente, a diferencia de con respecto a instalaciones y maquinarias, y precisamente es uno de los aspectos más importantes sobre los que incidir al iniciar un proceso de rehabilitación energética.

Hablaremos por tanto, dentro de la rehabilitación energética de dos tipos de actuaciones; las pasivas, referidas a la envolvente del edificio y a su comportamiento energético como reductor de demanda en base a las soluciones adoptadas, y las activas, entendiéndose por estas las intervenciones sobre las instalaciones, aparatos e introducción de renovables que traten de optimizar y reducir el consumo del edificio y la emisión de CO2.

Y son precisamente las primeras cuyo comportamiento energético parece más interesante analizar durante el propio proceso de proyecto, de forma que la apertura o cierre de determinados huecos, la modificación de sus dimensiones etc... y el estudio de soleamiento del mismo nos aporte datos sobre si es o no adecuado utilizar esos huecos o tiene más sentido abrir otros, durante el proceso de proyecto y no al final, dado que lógicamente una vez cerrado el diseño no será ese uno de los aspectos que modifiquemos al hacer la simulación energética tal y como la venimos entendiendo, sino más bien los aspectos relacionados con la rehabilitación activa.

Por ello se tratará de realizar un estudio de los diferentes aspectos que incidan en el comportamiento energético de la envolvente del edificio (simulación pasiva) que nos de cómo resultado un patrón de comportamiento de los mismos y de ahorro energético en función del uso de una u otra solución (y también de ahorro económico) para realizar después un análisis completo de elementos pasivos y activos que nos aporte el grado de certificación energética final de la intervención propuesta.

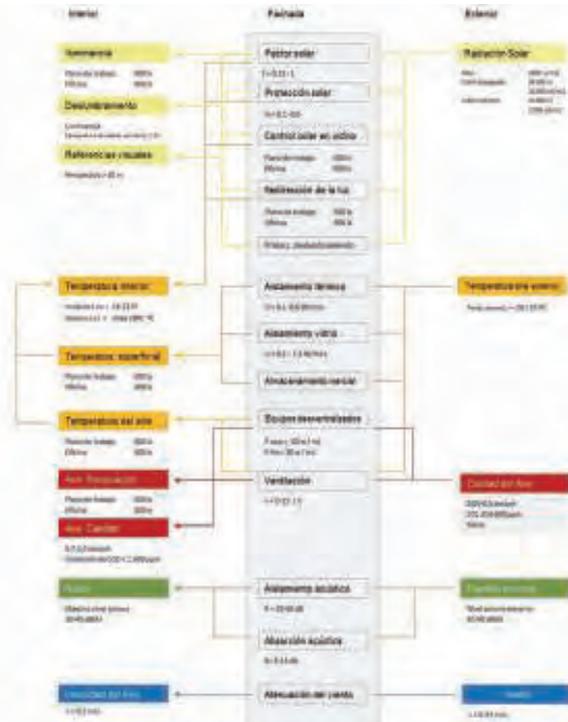


Figura 7: Factor de incidencia de la fachada en la relación Interior-Exterior

## 5.2. Simulación interactiva del modelo en Allplan (simulación pasiva o de diseño)

Como ya se ha señalado anteriormente uno de los aspectos a tener en cuenta dentro de la envolvente será la orientación de los diferentes paramentos y la apertura de huecos. Como partimos de un edificio existente las orientaciones del mismo ya estarán definidas (y serán las que emplearemos en el modelo virtual de trabajo), pero si que podremos realizar modificaciones en cuanto a la apertura o cierre de determinados huecos, su dimensión, análisis de apertura de los mismos en las orientaciones más favorables (atendiendo lógicamente también al clima en el que nos encontremos), ubicación de elementos de protección de los mismo etc... Una vez definida una primera solución y aprovechando el recursos de simulación para cálculo de soleamiento e iluminación natural que nos ofrece el programa realizaremos un análisis que determine la situación en cuanto a iluminación natural de nuestro edificio y simularemos igualmente las posibles alternativas sobre los aspectos antes mencionados para alcanzar la situación más favorable.

Igualmente, y una vez definidas las características y soluciones constructivas del edificio existente, y transferidos esos datos al modelo virtual, determinaremos las mejoras que sobre los elementos envolventes se podrían realizar (modificación de las capas constructivas que forman la fachada, aumento de la capa de aislamiento, modificación de la solución aportada para cubierta etc...) y con las soluciones estudiadas realizaremos simulaciones energéticas para determinar cuales resultan más favorables. Dicha simulación se realizará a través de la aplicación AX3000 de Nemetschek, antes una herramienta independiente que exigía exportar el modelo de Allplan e importarlo en AX3000 y que en las últimas versiones ya trabaja como módulo adicional de Allplan, realizando la simulación energética bajo el mismo interfaz, sin tener que salir del programa, de tal forma que cualquier cambio sobre envolvente que realicemos se actualizará automáticamente en la aplicación energética de cara a una nueva simulación.

Una vez finalizado este proceso analizaremos los resultados de la simulación de la envolvente, de soluciones ensayadas y de mejoras en cuanto a exigencia de demanda energética del edificio. En el trabajo a desarrollar se plantea la realización de un análisis cuantitativo de las mejoras en cuanto a ahorro energético de cada una de las soluciones simuladas, y del ahorro económico que dichas soluciones aportarían, comparándolo con el coste de inversión en la rehabilitación de la envolvente del edificio, de forma que se establezca un patrón de funcionamiento de dichas soluciones en cuanto a energía de tipo cuantitativo.

### 5.3. Simulación interactiva del modelo en Allplan (simulación activa o de instalaciones y equipos)

Una vez analizada la envolvente, y partiendo de la situación de mínima transmitancia energética de la misma (o la más optimizada en relación calidad-precio) pasaremos a analizar los diferentes equipos e instalaciones de que consta el edificio. Como ya se señaló con anterioridad la herramienta AX3000 servirá para calcular las instalaciones definidas en nuestro proyecto, tras la definición de su trazado y tipología, de manera integral dentro del proceso de gestión del proyecto a desarrollar. Al igual que comentábamos con respecto a la relación entre fase de diseño de la envolvente-estudio energético de la misma, en este caso trabajaremos las diferentes ins-

talaciones y equipos existentes en el edificio al mismo tiempo que los ensayamos desde el punto de vista energético, de forma que las soluciones y decisiones tomadas respecto a la instalación incluyan una nueva variable, en este caso, su eficiencia energética. Al igual que en el caso de la envolvente la simulación de diferentes soluciones nos aportará diferentes datos de eficiencia energética y será necesario realizar un estudio cuantitativo del ahorro que cada una de las soluciones supone y la inversión a realizar para la optimización de dicha instalación. Al finalizar el proceso tendremos nuevamente un patrón de funcionamiento en cuanto a instalaciones y equipos que considerar en esta y en rehabilitaciones futuras.

Del mismo modo introduciremos en esta herramienta las energías renovables existentes (si así fuese) en el edificio, o las proyectadas de manera inicial si no contase con ellas y ensayaríamos las mejoras energéticas que supondrían las modificaciones que sobre estas instalaciones (generalmente placas solares o fotovoltaicas) producirían. Una vez analizadas todas las variables de manera individual y a medida que avanza el proceso de proyecto, de manera integral, realizaríamos una última simulación para obtener la certificación final del edificio, y poder compararlo con el definido inicialmente para el mismo.

## 6 CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON HERRAMIENTAS OFICIALMENTE RECONOCIDAS

Como ya se ha indicado la certificación energética reconocida por el ministerio de industria es aquella que se realiza con las herramientas LIDER (verificación de la exigencia de limitación de demanda energética en el edificio) y CALENER (certificación energética), para edificios de nueva planta, y para el caso de edificación existente se han desarrollado las herramientas CE3 Y CE3X, ambos a punto de obtener su inscripción como DR (documento reconocido a efectos del Código Técnico). Los dos presentan módulos de cálculo diferentes para el desarrollo de los procedimientos VIV (Vivienda), PYMT (Pequeño y Mediano Terciario) Y GT (Gran Terciario). Cada uno de los programas adjunta la documentación necesaria para su correcta comprensión y utilización: Manual de usuario, Manual de fundamentos técnicos, Manual de medidas de mejora y Ejemplos de aplicación para las tres tipologías.

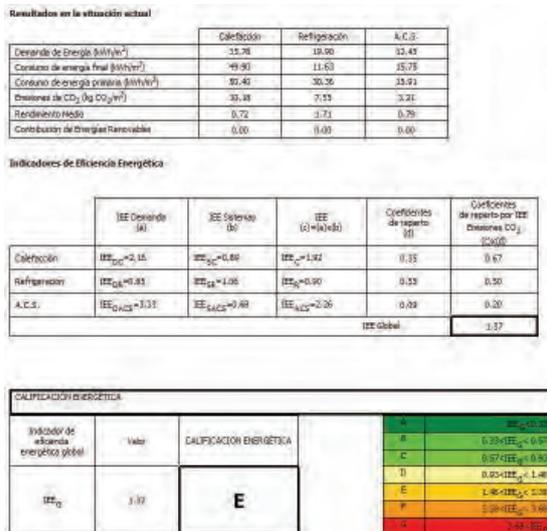


Figura 8: Ejemplo de Indicadores de Eficiencia energética en edificios

La aplicación AX3000 aún no está reconocida como oficial de cara a la certificación energética (como otras que actualmente existen en el mercado) pero sin embargo, y en ello radica el interés de usarla en nuestra investigación, permite realizar simulaciones a tiempo real a medida que avanza el proceso de proyecto. La idea es que, hasta que este tipo de herramientas sean reconocidas por el ministerio como válidas para la certificación energética, una vez definido el proyecto en la herramienta BIM, se exporte y ensaye en CE3 o CE3X para obtener la certificación oficial.

Señalar que también como objeto de la investigación se plantea analizar las coincidencias y divergencias entre la certificación obtenida mediante AX3000 y mediante CE3 y CE3X, de forma que también se establezca un patrón de comportamiento de este último respecto al primero que nos permita, caso de existir divergencias, prever desde Allplan que resultado obtendremos en la certificación final.

## 7 CONCLUSIONES

Una vez analizado el proceso de auditoría energética y dentro de este el de rehabilitación energética mediante la utilización de tecnología BIM pasaremos a definir las conclusiones más interesantes que podemos obtener de esta investigación, aún en proceso:

1. Se establece un protocolo de auditoría energética específico para rehabilitación de

edificación existente basada en el uso de tecnología BIM, que permite la introducción de conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética al parque edificatorio construido, de cara a reducir el impacto ambiental que éste genera y la dependencia energética del mismo al entrar en uso.

2. Mediante este protocolo se consigue integrar el proceso de desarrollo de proyecto de rehabilitación energética o de propuesta de mejoras en la edificación con el de simulación y cálculo de eficiencia energética de la misma, contribuyéndose así la consideración de la eficiencia energética como un agente interviniendo en el propio proceso de proyecto.
3. La evaluación simultánea de las diferentes modificaciones que sufra el edificio durante el proceso de definición del proyecto de rehabilitación energética permite, por otro lado, evaluar el grado de mejora del comportamiento energético del edificio en función del uso de una u otra solución constructiva. Este estudio servirá para establecer un catálogo de soluciones con evaluación energética de cada una de ellas.
4. Además de eso, la evaluación simultánea permitirá separar el estudio energético de aspectos relativos a envolvente, instalaciones y maquinarias o renovables, permitiendo así la evaluación de los efectos que las modificaciones sobre cada uno de estos paquetes por separado tendría en el comportamiento final del edificio.
5. Con este estudio pormenorizado podrá evaluarse también el ahorro energético que cada una de esas acciones supondrá de manera individualizada para el total del edificio, y una vez cuantificado ese ahorro energético poder cuantificar el económico, permitiéndose así la realización de un estudio económico de la rehabilitación a realizar, analizando el coste de cada una de las intervenciones a realizar con el ahorro que eso supondrá a medio plazo para el edificio.
6. Por último señalar, que este análisis pormenorizado e integrado en el propio proceso de proyecto resultará de especial interés para el caso del estudio de la envolvente, principal agente en lo que a reducción de demanda energética se refiere y sobre el que suelen te-

nerse menos datos comparativos. Por ello se establecerá un patrón de funcionamiento de la envolvente en lo que a ahorro energético se refiere.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Drozdowskyj, R. 2012, *Implantación de protocolo de auditoría energética para viviendas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad de Sevilla

De Pereda L. Martínez I. 2012, *Claves para la rehabilitación energética de edificios*. Encuentro-Edificación: Rehabilitación energética. Madrid.

Soto Francés, L. 2011, *La herramienta informática CERMA para rehabilitación. La certificación energética de edificios existentes. Ejemplo de aplicación*. Instituto Valenciano de la Edificación.

Coloma Picó, E. 2008, *Introducción a la tecnología BIM*. Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I. Escuela Técnica Superior de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

## Plataforma web on-cloud para la gestión energética de viviendas y edificios

A. Florencia & J. Nasarre de Letosa  
*Xial Domotecnología, Villatuerta (Navarra), España*

Los edificios actuales deben contar con soluciones integradas para la gestión remota de la energía. Estas aplicaciones tienen que ser sostenibles y respetuosas con el medio ambiente haciendo uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones como herramientas para el control inteligente. Xial cuenta con un sistema de comunicaciones con el que poder realizar una gestión activa de la demanda, permitiendo que los consumidores gestionen de manera más eficiente sus consumos y mejorando la eficiencia energética.

Asimismo, esta herramienta permite a todos los profesionales involucrados en el círculo energético del edificio (administradores de fincas, ESEs, empresas suministradoras, mantenedores, administración pública) llevar a cabo la gestión energética más completa.

La Plataforma Xial es una herramienta de trabajo y de servicio innovadora que supone un gran salto tecnológico en el campo del control energético. Está diseñada para gestionar viviendas y edificios desde un entorno web "on cloud" en el que los diferentes usuarios conocen toda la información energética en tiempo real y pueden trabajar con ella de la forma más cómoda y completa.

Esta Plataforma destaca como una herramienta innovadora y diferencial ya que permite, además, una completa monitorización energética.

### 1 LA ENERGÍA EN EL MUNDO

Existe hoy día un gran problema energético global creciente que atañe a las emisiones de CO<sub>2</sub> y a la salud del Planeta.

La población mundial está en continuo aumento, y estas personas se concentran en un 60% en ciudades. Cifra que aumenta hasta el 80% cuando hablamos de Europa. Y esto, ¿Qué repercusión tiene? Una de las más preocupantes es el aumento del consumo energético. Se estima que cada 1% de aumento de la población, supone un 2,5% de aumento del consumo energético en ciudades.

¿Y, dónde se da la mayor parte de este consumo?, o más claramente, ¿Cuáles son los principales sumideros de energía? Los edificios. Son responsables del

40% de la energía que se consume en la Unión Europea<sup>1</sup> y, además, del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Ante este panorama, aparecen tendencias, iniciativas y legislaciones globales con el objetivo de ahorrar energía y por tanto de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Algunas de estas medidas son bien conocidas y recurrentes. Se ponen encima de la mesa estrategias como el 20-20-20 para la mitigación del cambio climático, los edificios de consumo energético casi nulo, la certificación o la rehabilitación energética. La concienciación es cada vez mayor porque el problema también lo es.

La tendencia, en este sentido, es avanzar hacia una ciudad inteligente, autosuficiente y descentralizada, tomando las medidas de eficiencia energética como herramienta con mayor impacto a la hora de reducir el consumo y las emisiones de GEI a corto y medio plazo.

Redundando un poco más a este respecto, cabe decir que los edificios rehabilitados energéticamente, deben contar con soluciones integradas para la gestión remota de la energía. Xial cuenta con un sistema de comunicaciones con el que poder realizar una gestión activa de la demanda, permitiendo que los consumidores gestionen de manera más eficiente sus consumos y mejorando la eficiencia energética. Diversos estudios han demostrado que la mejor forma de reducir el consumo energético de un edificio es actuando sobre la demanda. De esta forma, nos aseguramos de que las medidas que mejoran la eficiencia energética realmente actúan sobre una demanda optimizada.

El desarrollo de los *Smart Buildings* se basa en los siguientes pilares definidos por la Unión Europea<sup>2</sup> y que Xial ayuda a cumplir e impulsa gracias a su plataforma web:

- Dispositivos por control remoto.
- Comunicaciones que favorecen la transmisión de información entre dispositivos y equipos.
- Interfaces interactivas y accesibles a los usuarios que permiten que la red utilizada en los hogares sea lo más fácil de utilizar.
- Sistemas inteligentes de gestión y control energético de edificios.
- Eficiencia económica e impacto en el ahorro de energía.



Figura 1. Plataforma web para la gestión de edificios.

## 2 EL SISTEMA XIAL

La información extraída de los edificios (señales y datos de contadores, válvulas, elementos domóticos, termostatos, sondas...), es llevada a través de nuestro sistema de comunicación hasta la nube con la velocidad de transmisión necesaria para que se pueda interactuar en tiempo real.

Se trata de un sistema con una arquitectura segura y robusta. Además, su capacidad de desarrollo es rápida, fácil y prácticamente ilimitada.

Todos nuestros productos y servicios son independientes y escalables, aunque pueden utilizarse con gran rendimiento de forma separada.



Figura 2. Esquema de funcionamiento del sistema Xial.

Profundizando en el funcionamiento técnico del sistema, hay que señalar que, concretamente, la información obtenida de la lectura de los diferentes tipos de contadores (energéticos, de caudal y eléctricos), es transmitida por medio de dos hilos, usando M-BUS (protocolo estándar recomendado desde Europa para lectura remota de contadores), hasta los módulos de control (MCUX, MCSC, MCCE). Allí, la capa física utilizada para transferir la información de los contadores, 2 hilos, pasa a RS-232, permitiendo que en segunda instancia, también cambie el protocolo de comunicación a Mod-Bus, cambiando con él también la capa física a Ethernet. Esta nueva capa física consigue, entre otras cosas, una mayor capacidad de transmisión de datos y una mayor velocidad, a la vez que proporciona a la propia arquitectura, una mayor robustez.

Los MCUX aportan, además, la capacidad de control, ya que actúan sobre la electroválvula de calefacción – refrigeración de cada una de las viviendas. Los módulos de control se conectan al servidor del edificio donde se recoge toda la información y es enviada al portal web.

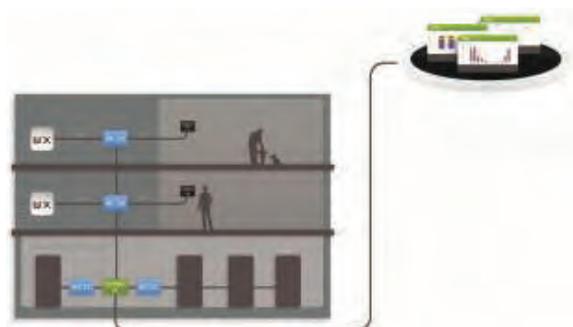


Figura 3. Arquitectura técnica del sistema.

### 3 LA PLATAFORMA XIAL

La herramienta para tratar e implementar toda la información de la que disponemos es la Plataforma Web de Xial.

La Plataforma es una herramienta de trabajo y de servicio innovadora que supone un salto tecnológico en el campo de la gestión energética. Está diseñada para controlar y gestionar viviendas y edificios desde un entorno web “on cloud” en el que los diferentes usuarios conocen toda la información energética en tiempo real: calefacción, refrigeración, electricidad, ACS, AFS (obtenida de todos los contadores, las electroválvulas de vivienda, la sala de calderas, etc.), pueden incidir en ella, verificar el impacto de las Medidas de Ahorro Energético adoptadas, e incluso, determinar el impacto económico de los hábitos de consumo en el edificio.

### 4 DIFERENTES NECESIDADES, DISTINTOS MÓDULOS

Hoy día es fundamental para muchos tipos diferentes de usuarios y de organizaciones el uso de un sistema de monitorización, control y gestión del consumo energético. Contar con toda la información en tiempo real y de manera sencilla marca una enorme diferencia.

La plataforma Xial integra en un solo portal web a todos los agentes implicados en el consumo energético del edificio, pero resulta evidente que cada uno de ellos tiene distintas necesidades de información y gestión. Por ello, se han desarrollado distintos módulos que les proporcionan herramientas específicas de trabajo, de forma sencilla y operativa. Así, Empresas de Servicios Energéticos, Administradores de fincas, Suministradores, Mantenedores, Vecinos o Administración Pública, pueden llevar a cabo la monitorización, el control y la gestión energética más completa desde cualquier dispositivo con conexión a Internet (SmartPhones, Tablets, PCs...). Se han desarrollado, además, aplicaciones nativas para iOS y Android, lo que permite una mayor usabilidad, si cabe.

Cuando un usuario se conecta a la Plataforma Web, ésta le proporciona acceso a la gestión de todos los edificios o viviendas para los que está autorizado. Consumos, medias, rendimientos, detección de anomalías, comparativas, facturación con posibilidad de prepagos, notificaciones a vecinos, monitorización para la planificación energética, entre otras muchas utilidades, se ofrecen de forma completa e intuitiva. Así, cuando todos los agentes implicados en la gestión de la energía cuentan con toda la información en tiempo real es cuando el mercado gana en transparencia.

Incluso, la Plataforma Xial es un sistema inteligente que piensa por nosotros y nos ofrece recomendaciones de consumo, ayudándonos a ahorrar y a mejorar nuestro confort. La interacción (bidireccionalidad) con el edificio se convierte en una realidad.



Figura 4. El sistema y la Plataforma Xial permiten la interacción bidireccional con la vivienda y el edificio

### 5 UTILIDADES DESTACADAS

- Control remoto de calefacción y horarios de funcionamiento.
- Establecimiento de alarmas de consumo.
- Recomendaciones de uso (inteligencia)
- Facturación sencilla, mediante domiciliación bancaria o prepagos.
- Prepagos controlados desde página web. La notificación de saldo bajo se recibe por SMS o mail, y en pantalla.
- Visualización de consumos y rankings de usuarios en tiempo real en unidad de consumo y moneda (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, agua fría sanitaria y electricidad).
- Visualización y descarga del histórico de consumos.
- Notificaciones (vía e-mail, SMS y/o pantalla táctil de vivienda).
- Gestión completa de los datos de cada vecino.
- Gestión de usuarios y contraseñas.
- Corte de suministro de calefacción y agua caliente (averías, impagos...).
- Sistema automático de detección de vivienda vacía.
- Posibilidad de establecer filtros y comparaciones.
- Control del rendimiento estacional anual de la instalación térmica de una comunidad.
- Mantenimiento de la sala de calderas.

## 6 PLANIFICACIÓN URBANA

A la hora de realizar una planificación urbana sostenible, se hace necesaria su monitorización. Gracias a ella, podemos conocer el mapa energético con el cual poder tomar decisiones de ahorro, reduciendo así el consumo de energía. Además, el conocimiento de forma discriminada de los consumos, conlleva una mayor concienciación y un menor gasto de recursos.

Por tanto, existe una necesidad por parte de las distintas administraciones de monitorizar edificios, barrios, ciudades, etc., para ver cuales se comportan mejor que otras energéticamente y por qué, para poder actuar donde sea necesario.

De igual manera, se puede llevar a cabo una labor de control del trabajo de las empresas encargadas de la gestión energética. Así es cómo se posibilita el desarrollo de una planificación energética inteligente de la ciudad.

La Plataforma Xial consigue transformar el edificio tradicional en un Smart Building. Mediante la agregación de éstos, llegamos al control de las Smart Cities, ofreciendo:

- Posibilidad de monitorizar el comportamiento energético de viviendas, edificios, calles, barrios o ciudades.
- Monitorización de edificios de toda tipología siempre que se instalen o dispongan de contadores con M-Bus.
- Posibilidad de establecer filtros y comparaciones globales (orientación, plantas, alturas, portales, calles, barrios, etc.).
- Localización de lugares de bajo rendimiento y pérdidas energéticas.
- Detección de anomalías gracias a la comparación de consumos.
- Evaluación del impacto de las medidas de ahorro energético adoptadas.

## 7 SEGURIDAD TOTAL

Cuando se habla de la gestión de datos, la seguridad de los mismos aparece como una cuestión de máxima importancia. La seguridad está garantizada alojando la plataforma en un Data Center con las máximas garantías existentes en el mercado, con vigilancia 24x7 y sistemas de back-up continuo. Al mismo tiempo un avanzado SOC (Security Operations Center), una central de seguridad informática, previene, monitoriza y controla la seguridad de forma ininterrumpida. La gestión de la información se realiza de tal forma que los datos quedan permanentemente almacenados en el Data Center, desapareciendo el riesgo de pérdidas de información que se

tendría si se almacenase la información en el edificio. De esta forma, y mediante la aceptación de las condiciones de uso de la Plataforma, cada usuario acepta la cesión de sus datos a aquellos gestores autorizados para trabajar con ellos y por lo tanto, desde un mismo website, la Plataforma, un profesional puede acceder cómodamente a la información de todos los edificios que gestiona.



Figura 5. La Plataforma y sus datos gozan de la máxima seguridad

## 8 PANTALLA DE VIVIENDA: UTILIDAD Y AHORRO

El Sistema Xial, en su versión avanzada, ofrece una pantalla táctil de vivienda integrada en la pared. La pantalla ofrece toda la potencialidad del sistema para el vecino. Las utilidades de los distintos menús, contribuyen al máximo confort y ahorro de la vivienda.



Figura 6. Pantalla IHD que, entre otras prestaciones, permite la visualización de todos los consumos del edificio en tiempo real, la notificación de alarmas por exceso de consumo y el establecimiento de métodos automáticos para la modificación de hábitos.



Figura 7. El sistema es también controlable desde página web, Tablets y Smartphones.

Así, con la pantalla de vivienda opcional, la monitorización de consumos en tiempo real, el registro gráfico de históricos de consumo o la función de cronotermostato táctil, contribuyen a facilitar la gestión de la vivienda y a favorecer el ahorro energético para el vecino. De hecho, el ahorro que supone en sí el uso de un sistema de este tipo se sitúa en torno a un 10% - 15%<sup>3</sup>.

Adicionalmente, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) estipula que “se pueden conseguir ahorros en el gasto energético de entre el 20% y el 30% mediante la medición individual de los consumos energéticos, debido al mayor cuidado que los vecinos ponen al consumir con respecto al sistema de reparto de gasto por cuota (en función de la superficie de la vivienda, el número de radiadores, etc.)”<sup>4</sup>.

Además, a través de la plataforma, con la posibilidad de hacerlo desde la pantalla, se pueden gestionar ciertas aplicaciones domóticas como las relacionadas con el control de alarmas (intrusión, inundación o incendio).

## 9 EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA XIAL

Con la Plataforma Xial, tanto las nuevas construcciones, como las ya existentes, evolucionan hacia la ciudad eficiente e inteligente con un coste accesible para cualquier economía. Así, su desarrollo a comenzado por el sector residencial pero esta misma filosofía es aplicable a edificios de otros sectores (Hotelero, Industrial, Bancario, Retail), creando módulos específicos vivos y personalizados para cada usuario con la incorporación continua de nuevas utilidades.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- 2 European Commission (2009) “*ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings*”. Bruselas.  
[http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/sustainable\\_growth/docs/sb\\_publications/smartbuildings-ld.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/sb_publications/smartbuildings-ld.pdf)
- 3 DARBY, SARAH. (2006): “*The effectiveness of feedback on energy consumption*”. Oxford. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- 1 Diario Oficial de la Unión Europea. DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)
- 4 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Guía de Práctica de la Energía*, Página 50.(2011) Madrid:  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_11046\\_Guia\\_Practica\\_Energia\\_3\\_Ed.rev\\_y\\_actualizada\\_A2011\\_01c2c901.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11046_Guia_Practica_Energia_3_Ed.rev_y_actualizada_A2011_01c2c901.pdf)  
Y en la 2ª Edición de la *Guía*, página 43 (2012), Madrid:  
[http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin\\_informativo/pdf/boletines/15/3-%20GUIA%20PRACTICA%20DE%20LA%20ENERGIA.pdf](http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/15/3-%20GUIA%20PRACTICA%20DE%20LA%20ENERGIA.pdf)
- 3 STROMBACK, J. et al. (2011): “*The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison (Empower Demand)*”. Helsinki. VaasaEtt.

## Proyecto E4R - Rehabilitación Energética en el Espacio SUDOE.

A. García, S. Muñoz, D. Mora, R. Gregori & P. Beltrán

AIDICO – Instituto Tecnológico de la Construcción, Valencia, España

### RESUMEN:

Se estima que los edificios construidos durante el siglo XX consumen energía entre 1,6 y 2,4 veces más que los que se construyen en la actualidad que están sometidos a una normativa más exigente, existe por tanto un elevado potencial de ahorro energético en estos edificios. Para reducir este consumo se han puesto en marcha iniciativas técnicas y económicas que, llevadas a la práctica, no responden a las necesidades reales de los agentes intervinientes en el proceso ni de los edificios a rehabilitar, existiendo en muchos casos dificultades a la hora de aplicar estrategias de ahorro energético, en ocasiones adoptando soluciones inapropiadas, dada la naturaleza de la edificación en la que intervenir, o por ser poco eficientes energéticamente o inviables económicamente si el coste de la inversión realizada no responde a las expectativas de ahorro energético.

Con estos antecedentes nace el Proyecto E4R, cuyo objetivo es impulsar y promover la rehabilitación energética de edificios existentes en el espacio SUDOE por medio de la realización de herramientas prácticas que ayuden a establecer criterios eficientes tanto energética como económicamente, así como para proporcionar un entorno común que una a todos los agentes intervinientes en el sector, como la Administración Pública, los proyectistas, fabricantes de productos, constructores, instaladores, promotores e incluso los usuarios finales de los edificios.

### 1 INTRODUCCIÓN

El potencial de ahorro energético de los edificios existentes en el Espacio SUDOE, así como la concienciación en el consumo energético responsable han provocado que el sector de la rehabilitación energética se haya postulado como un pilar de la política económica y energética de la Administración Pública así como una oportunidad de negocio para las empresas del sector.

Sin embargo, actualmente estas políticas no se están aplicando de forma adecuada, ya que en muchas ocasiones se eligen soluciones poco apropiadas a la naturaleza del edificio, bien porque son energéticamente poco eficientes o porque el coste de la inversión realizada no responde a las expectativas de ahorro energético.

Esto demuestra la falta de información veraz, y bien estructurada para ser utilizada por los agentes inter-

vinientes en el sector, así como por la Administración Pública para poder establecer una serie de criterios objetivos para apoyar y subvencionar acciones de rehabilitación energética.

Cabe destacar que los propietarios de viviendas desconocen el potencial real de ahorro económico y energético al aplicar la estrategia de rehabilitación adecuada.

Algunas herramientas de software se utilizan actualmente para evaluar el consumo energético de los edificios existentes. Sin embargo, estas herramientas son difíciles de utilizar y sólo los usuarios expertos pueden hacerlo, pero no están permitiendo que el propietario de la vivienda pueda comprobar los beneficios de la rehabilitación, siendo éste el primero que debe de estar concienciado del beneficio que le aportará una rehabilitación energética, para después poderla demandar.

## 2 PROYECTO E4R.OBJETIVOS.

Partiendo del punto de partida descrito anteriormente, un conjunto de organizaciones de España, Francia y Portugal: centros de investigación, Universidades y Administraciones públicas, han unido sus esfuerzos a través del proyecto Europeo E4R con el objetivo de impulsar y promover la Rehabilitación energética de edificios existentes en el espacio SUDOE.

Por esto, el proyecto pretende proporcionar un entorno común que una a todos los agentes que actúan en el campo de la Rehabilitación Energética (los proyectistas, fabricantes de productos, constructores, instaladores, promotores, Administraciones Públicas e incluso los usuarios finales de los edificios).

Este entorno común está compuesto de:

- Un Portal Web que da cabida a todos los agentes que participan en la Rehabilitación Energética para incidir desde ésta en el ahorro energético de los edificios existentes y que ofrezca contenidos técnicos, normativos, documentales e informativos. El portal deberá contener también un catálogo de Medidas y estrategias de ahorro energético específicas de rehabilitación energética, adecuadas a los escenarios más comunes para el sudoeste de Europa, así como fomentar el intercambio de experiencias entre los distintos agentes, que permitan la dinamización del sector.
- Una aplicación Web (E4RSim) que permita cuantificar de forma rápida y sencilla el consumo energético de los edificios existentes, y priorizar entre las diferentes estrategias de ahorro energético.

## 3 APLICACIÓN WEB. E4RSIM.

La mayor parte de los propietarios de una vivienda desconocen su potencial de ahorro energético así como el coste económico de las medidas de rehabilitación para poder determinar el periodo de amortización de las mismas. Por esto, uno de los principales objetivos del proyecto E4R es el de proporcionar una herramienta web de cuantificación del consumo energético, accesible por todo tipo de usuario sin conocimientos técnicos y que sugiera las estrategias de ahorro más adecuadas para cada caso.

E4RSim no necesitará una instalación previa en el ordenador ya que se trata de una Aplicación Web, basada en el concepto de Cloud Computing. El éxito de esta herramienta radicará en la facilidad de manejo y la fiabilidad de los resultados. Respecto a la facilidad de manejo, se cuenta con un análisis previo realizado sobre el espacio SUDOE, por medio del desarrollo de bases de datos que minimizarán los datos de entrada en la aplicación.

En E4RSim se han distinguido dos usuarios:

- Usuario básico: Cualquier tipo de usuario, sin que le sea necesario tener conocimiento previo sobre rehabilitación energética y que quiera conocer el potencial de ahorro energético de su vivienda.

- Usuario avanzado: profesionales del sector de la rehabilitación como son los proyectistas, fabricantes de productos, instaladores, etc. Este tipo de usuario podrá profundizar y detallar más las características del edificio a rehabilitar y las medidas de ahorro energético a aplicar.

Ambos perfiles utilizarán el mismo motor de cálculo, que, después de analizar diferentes motores de cálculo e incluso de valorar la realización de uno propio desarrollado a partir de procesos normativos, se ha elegido a EnergyPlus, debido a su contrastada credibilidad a nivel internacional, accesibilidad para el desarrollo del entorno, rápida simulación y porque permite su ejecución a través de un servidor. Para hacer funcionar EnergyPlus se debe cargar dos archivos; un archivo climático (.EPW) que contiene los datos meteorológicos horarios del lugar donde se sitúe el edificio a simular y el archivo propio de E+, que contiene toda la información del edificio (orientación, geometría, características constructivas, instalaciones, horarios de funcionamiento, etc.).

El esquema de funcionamiento de E4RSim es el siguiente:

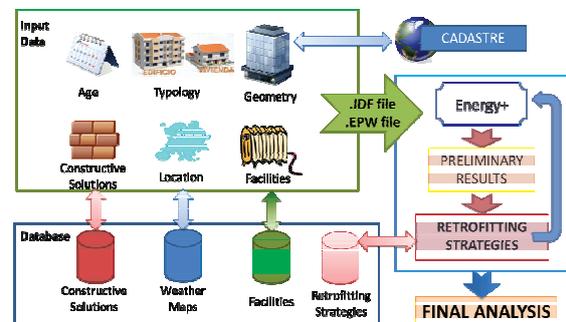


Figura 1. Esquema de funcionamiento de E4RSim.

### 3.1 Archivos climáticos .EPW.

El primer dato que se le solicita al usuario es que introduzca la dirección del edificio a evaluar, bien a través de un mapa o bien directamente a través de la dirección, con esta información se obtiene las coordenadas geográficas del edificio y por tanto es conocida su ubicación, por lo que E4RSim selecciona automáticamente el archivo climático correspondiente.

El usuario podrá elegir entre los siguientes de archivos climatológicos:

- Archivos climatológicos obtenidos por estaciones meteorológicas. Su existencia o no dependerá de la posibilidad de acceder a esta información y que esta información contenga los datos mínimos para poder generarse el archivo en formato .EPW.

- Archivos climatológicos proporcionamos por la normativa vigente. Bien por archivos de capitales de provincia o zona climática (en España) o bien por datos meteorológicos comarcales en Portugal.
- Metodología E4R. Esta metodología se ha creado en el proyecto para resolver un problema existente en España. A diferencia que en Portugal, los datos meteorológicos reales solo se disponen de las capitales de provincia, mientras que las otras localidades se realiza a través de zonas climáticas que dependen exclusivamente de la diferencia de altitud entre la localidad y la capital de provincia. Esto ha demostrado que los datos obtenidos por los programas de simulación no son los más adecuados, por lo que se ha creado la metodología E4R para tener otro sistema para acercarse más a las especificaciones climáticas de cada una de las localidades. No se han creado archivos climatológicos por cada una de las localidades, sino una base de datos que permite la generación del archivo .EPW

Esta metodología consiste en, a partir de los mapas climáticos desarrollados por la Agencia Estatal de Meteorología de España y el Instituto de Meteorología de Portugal en los que establecen los valores medios mensuales/estacionarios para los siguientes parámetros (temperatura, humedad y radiación), se seleccionan todas las ciudades que se encuentran en cada zona y se obtiene los valores promedio horarios del parámetro representado en el mapa.

Por ejemplo, en España, la temperatura de la zona 6 a lo largo del mes de mayo se calcula como el promedio de las temperaturas de Zaragoza, Madrid y Barcelona entre otras ciudades.



Figura 2. Mapa de temperaturas medias de mayo.

Month	Day	Hour	Zaragoza	Barcelona	Madrid	...	T_My_6
5	1	1	12.0	8.7	10.4	...	10.2
5	1	2	11.7	8.3	10.6	...	10
5	1	3	11.1	8.9	10	...	9.9
5	1	4	11.1	9.4	8.9	...	9.7
5	1	5	10.6	10	8.3	...	9.6
5	1	6	10.6	10.6	7.2	...	9.5

Tabla 1. Zona 6, Valores horarios de la temperatura media de mayo

Como se ha dicho anteriormente, este proceso se realiza para los parámetros de temperatura, humedad y radiación. Una vez se han obtenido los parámetros climáticos para cada zona de forma horaria, se puede obtener la caracterización de cualquier localidad de forma dinámica pudiendo generar un fichero .EPW único para cada una de ellas, tal y como se refleja en la siguiente figura.

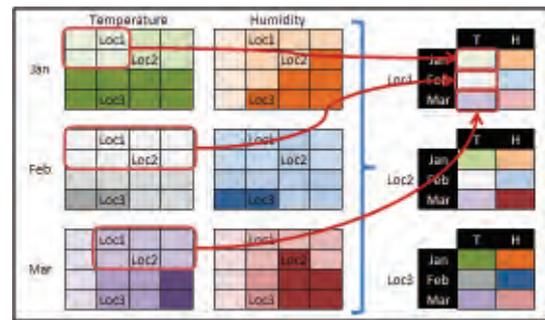


Figura 3. Esquema de generación archivo .EPW.

El resto del fichero .EPW de cada localidad (precipitación, insolación, etc.), se completa tomando como referencia los datos de la capital de provincia más cercana.

### 3.2 Generación del archivo.IDF.

Las principales especificaciones que se definieron para el desarrollo de E4RSim es que sea de sencillo manejo, que se limite y facilite la entrada de datos por parte del usuario y que los resultados obtenidos sean creíbles. Para cubrir estas especificaciones se han utilizado principalmente dos herramientas; servicios web y bases de datos.

#### 3.2.1 Servicios Web.

Gracias al uso de servicios web se puede obtener mucha información del edificio a evaluar simplemente seleccionándolo en un mapa. En España, mediante la Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro, a partir de la dirección del edificio, se pueden obtener las coordenadas geográficas, el uso principal del edificio, la superficie, la orientación, el

número de plantas, el año de construcción e incluso la geometría tanto del edificio a simular como los más próximos para el cálculo de sombras. Mediante el tratamiento de los archivos vectoriales de Catastro E4RSim es capaz de identificar las fachadas, medianeras, particiones interiores y cubiertas. Por tanto, se genera de forma automática, toda la información relativa a la situación y geometría del edificio y se escribe en formato .IDF para que pueda ser leído por EnergyPlus.

En localidades donde no existe información catastral o que se quiere evaluar una única vivienda del edificio, se ha generado una herramienta de dibujo sencilla donde se permite al usuario dibujar, sobre una imagen por satélite o la información cartográfica del parcelario catastral, la envolvente del edificio indicando si cada cerramiento es fachada, medianera o patio interior.



Figura 4. Herramienta de dibujo de E4RSim.

### 3.2.2 Bases de datos.

Durante las primeras tareas del Proyecto E4R se ha realizado un análisis sobre diferentes características de los edificios existentes en el espacio SUDOE, generando fichas por época, según:

- Tipologías edificatorias
- Tipologías constructivas de fachadas, cubiertas, medianeras, cerramientos en contacto con el terreno y huecos.
- Tipos de instalaciones; de agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración e iluminación.
- Técnicas de rehabilitación energética, tanto pasivas como activas.

E4RSim utiliza esta base de datos para orientar al usuario sobre las características constructivas e instalaciones más comunes según su localización y año de construcción del edificio. El usuario avanzado, mayor conocedor de las singularidades del edificio, tendrá la posibilidad de crear sus propias soluciones constructivas e introducir datos más exactos de las instalaciones.



Figura 5. Generación automática del edificio, ficha resumen de E4RSim.

### 3.3 Cuantificación energética

Con esta información es posible generar el archivo .IDF del edificio existente con una gran precisión y junto con el archivo climático .EPW, se ejecuta EnergyPlus en el servidor para cuantificar energéticamente el edificio. En concreto, los resultados que se obtienen y muestran al usuario son el consumo energético de Agua Caliente sanitaria, calefacción, refrigeración e iluminación, tanto los valores mensuales como la media anual.

A partir de estos resultados, E4RSim calculará el potencial de ahorro energético que tiene su edificio. Este potencial se calcula aplicando todas las estrategias de ahorro energético tanto en la envolvente como en las instalaciones, para que posteriormente sugerirá al usuario la elección de diferentes estrategias de rehabilitación de la base de datos, pudiendo volver a simular el edificio para conocer la mejora energética y el coste económico de dicha medida, calculando de ese modo el periodo de amortización.



Figura 6. Evaluación energética y potencial de ahorro en E4RSim.

## 4 TESTEOS

El funcionamiento simple y rápido del E4RSim se basa en una serie de aproximaciones desarrolladas.

Por un lado, se han utilizado las bases de datos definidas previamente que caracterizan los edificios existentes en el espacio SUDOE, reduciendo el número de datos de entrada. Por otro lado, se ha implementado un método dinámico para el cálculo de los datos climáticos horarios de cada localidad. Para validar esto, se han definido unos edificios de referencia que han sido simulados mediante Designbuilder y E4RSim, utilizando en un caso el fichero .EPW asignado por defecto por EnergyPlus y en el segundo caso utilizando el .EPW para la localización del edificio.

	Designbuilder		E4RSim		Comparativa	
	Calef (kW)	Refrig (kW)	Calef (kW)	Refrig (kW)	Calef (%)	Refrig (%)
Residencial	6110	9152	5780	9573	5%	3%
Comercial	6374	14986	5958	15308	6%	3%
Oficinas	8060	8379	7710	8710	4%	4%

Tabla 2. Resultados de la simulación en Zaragoza.

	Designbuilder		E4RSim		Comparativa	
	Calef (kW)	Refrig (kW)	Calef (kW)	Calef (kW)	Refrig (kW)	Calef (kW)
Residencial	1254.6	12496	1215.1	12301	3%	2%
Comercial	1531.8	21541	1463.8	21520	6%	0%
Oficinas	1702.8	9424.7	1612.4	9350.6	5%	1%

Tabla 3. Resultados de la simulación en Estepona (Málaga)

Aunque el objetivo de esta Aplicación Web sea la concienciación y promoción de la rehabilitación energética a todos los niveles de la sociedad, una vez se concluya el simulador E4RSim se validarán los resultados obtenidos con los programas de cálculo para la Certificación de eficiencia Energética de Edificios de España, Portugal y Francia.

## 5 CONCLUSIONES

En el marco del proyecto europeo E4R se ha desarrollado una herramienta web, llamada E4RSim, para cuantificar la potencia de ahorro energético de los Edificios existentes en el espacio SUDOE. Las principales ventajas de E4RSim son su simplicidad y facilidad de manejo. De este modo, se pretende extender su uso principalmente entre los propietarios de vivienda, demostrando el potencial de ahorro energético y económico de la rehabilitación.

La herramienta se caracteriza por utilizar información procedente de las bases de datos y de servicios web reduciendo el número de datos a introducir, y de la implementación de un método dinámico para la caracterización climática de cada localización.

Los resultados de la herramienta han sido validados con Designbuilder, obteniendo una desviación

máxima de un 6 % en los resultados de calefacción y refrigeración.

Además, la herramienta puede ser utilizada también por otros perfiles de usuarios con distintos objetivos. Los fabricantes de soluciones de rehabilitación pueden verificar el impacto sobre el consumo energético de sus productos. Las Administraciones Públicas pueden evaluar el estado del parque edificatorio estableciendo medidas correctoras.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Designbuilder, <http://www.designbuilder.co.uk/>
- Proyecto E4R. <http://www.e4rproject.eu/>
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG. <http://www.lneg.pt/>
- Meteo-France. [www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com).
- España Atlas, Section II. 2nd Edition (2005). <http://www2.ign.es/ane/ane1986-2008/>
- Código Técnico de la Edificación, CTE. Gobierno de España. <http://www.codigotecnico.org/>
- U.S Department of Energy . Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Weather Data, All Regions : Europe WMO Region 6.
- U.S Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software: EnergyPlus version 7.0.0

## Proyecto EnEf: hacia una formación permanente en eficiencia energética

Rosa Adelia Correa Frontela

*Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo, Mérida, España*

### RESUMEN (máximo 200 palabras):

La Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura, a través de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda, participa como socio en el Proyecto Europeo EnEf "Energy Efficiency in the Building Sector: a Sustainable Future" ("Eficiencia Energética en el Sector de la Construcción: un Futuro Sostenible"). Se trata de un Proyecto Internacional cofinanciado por la Comisión Europea en el marco del Programa de Aprendizaje Permanente Leonardo Da Vinci (Lifelong Learning Programme).

Este proyecto está formado por un consorcio entre Entidades de siete países europeos: EUROCREA MERCHANT SRL (Italia), INNOVATE (Irlanda), SPIS (Eslovaquia), FIM (Alemania), IDEC S.A. (Grecia), BCC (Bulgaria) y, VICOMTech y D.G. de Arquitectura y Vivienda de la Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo (España).

El Proyecto EnEf, enmarcado en la Directiva 2010/31/EU, tiene como objetivo la mejora de la eficiencia energética en los edificios mediante el aumento del conocimiento en dicha materia de los diferentes agentes del sector de la construcción. En ese sentido contempla, la creación de nuevas metodologías y módulos de formación a los que se podrá acceder a través de una plataforma e-learning enriquecida con herramientas de simulación virtual y buenas prácticas sobre soluciones de ahorro de energía, de interés para el sector de la construcción.

### 1 ANTECEDENTES

Hoy en día, la sostenibilidad del medio ambiente es el principal problema a nivel mundial. El ahorro de energía y la eficiencia energética de los edificios se consideran clave para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta que los edificios son responsables de más del 40% de las emisiones de GEI de Europa.

El Proyecto Europeo EnEf tiene como objetivo la mejora de la eficiencia energética en los edificios mediante el aumento del conocimiento en dicha materia de los diferentes agentes del sector de la construcción.

La Directiva de la Unión Europea 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética en los edificios define los objetivos concretos para el ahorro de energía y el uso de energías renovables en los edificios. Asimismo, la Directiva 2010/31/EU

contribuye al logro de este objetivo mediante la propuesta de principios rectores para los Estados miembros respecto a la eficiencia energética de los edificios. Esta Directiva contempla la necesidad de formar adecuadamente a constructores e instaladores para llegar a obtener edificios con un consumo de energía casi nulo.

Empresarios y gerentes del sector tienen una formación muy diversa, dependiendo del país de origen, edad y perfil personal. Muchos de ellos son trabajadores autónomos, que a menudo tienen que lidiar con nuevos materiales, métodos, etc, sin tener el conocimiento y las herramientas adecuadas. Por ello, es necesario proporcionar una formación flexible para promover la eficiencia energética de los edificios, especialmente para la generación de más edad, entendiéndose que estos conocimientos y habilidades sólo pueden ser adquiridos a través de la formación continua.

## 2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Siguiendo este criterio, el proyecto EnEf contempla, como objetivo específico, la creación de nuevas metodologías y módulos de formación conforme a las normas europeas relativas a la eficiencia energética en los edificios, a los que se puede acceder a través de una plataforma e-learning enriquecida con herramientas de simulación virtual y buenas prácticas sobre soluciones de ahorro de energía, de interés para el sector de la construcción.

Con la creación de la plataforma de aprendizaje EnEf se pretende crear un espacio europeo de formación permanente.

## 3 CONTENIDO DE LA PLATAFORMA DE APRENDIZAJE “EnEf”

Se pone a disposición de los usuarios siete módulos en los que se tratan diferentes áreas y aspectos de ahorro de energía en los edificios. Versan sobre la legislación aplicable en cada país socio y en Europa, así como, conceptos generales, marketing, aislamiento térmico de fachadas, acristalamiento, instalaciones y cubiertas planas.

Todos los módulos de aprendizaje están disponibles on line y también se pueden descargar para su uso off line.

Los módulos de formación se complementan con un test on line correspondiente a cada uno de ellos. En términos de auto evaluación, el alumno podrá realizar todas las pruebas de forma anónima y obtener una información detallada sobre su realización al final de la misma.

Todos los módulos y su respectiva prueba de evaluación están disponibles en los distintos idiomas de los países socios del proyecto: alemán, inglés, español, italiano, eslovaco, griego y búlgaro.

Además de los módulos de formación, la plataforma de aprendizaje proporciona materiales de apoyo al usuario para la ejecución de buenas prácticas, tales como guías, artículos, vídeos, etc, así como una herramienta de simulación en 3D..

## 4 MÓDULOS DE FORMACIÓN DESARROLLADOS POR LA CONSEJERÍA DE FOMENTO, VIVIENDA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y TURISMO

La Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo ha elaborado tres de los siete

módulos de formación: conceptos generales, acristalamiento e instalaciones, desde el punto de vista de la eficiencia energética en los edificios.

El resto de módulos de formación han sido desarrollados por la Cámara de Construcción de Bulgaria (Bulgarian Construction Chamber – BCC).

Asimismo, todos los socios han elaborado un listado de legislación en materia de eficiencia energética aplicable a su país respectivo.

### 4.1. Contenido de los módulos de formación

El objetivo principal de los módulos de aprendizaje es que el alumno obtenga de forma clara y concisa una idea general de los contenidos de los módulos de formación. Para ello, en los módulos de aprendizaje se desarrollan definiciones, conceptos básicos, una breve descripción de los sistemas y una descripción detallada de los conceptos más relevantes.

El texto de los módulos se acompaña de imágenes ilustrativas.

### 4.2. Conceptos Generales

En los tres apartados que configuran el módulo de formación de “Conceptos Generales” se tratan aspectos genéricos de eficiencia energética.

Estos tres apartados son:

- La energía como problema. Datos de partida,
- El edificio como consumidor de energía, y
- El equilibrio energético

En el primero de ellos, se citan las Cumbres y Conferencias Internacionales celebradas a partir del Informe Brundtland, del que nació el concepto de desarrollo sostenible, así como las Directivas Europeas en materia de limitación de emisiones de CO<sub>2</sub>, ahorro de energía y uso de energías renovables; asimismo, se expone la situación actual en Europa en cuanto a consumo de energía.

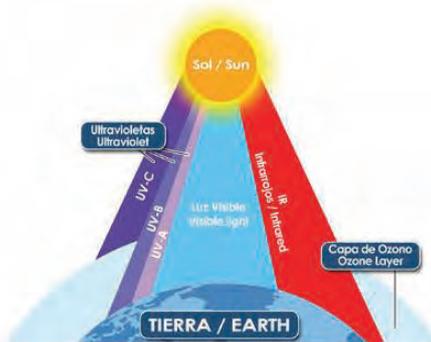
El segundo apartado trata el confort térmico, entendido como el mantenimiento de las condiciones térmicas interiores de bienestar. Dicho confort, cada vez más exigente, se encontraba condicionado por la normativa vigente en cada momento y la forma de construir según norma. Así, grandes superficies acristaladas requieren sistemas potentes de climatización. Estos sistemas exigen un gran consumo de energía, lo que nos lleva a diseñar edificios con una mínima demanda energética.

Por último, el tercer apartado, nos guía hacia un diseño de edificio solar pasivo, tal que en él se equi-

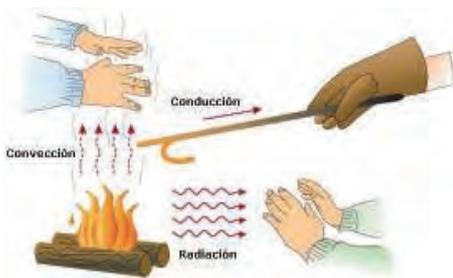
libren las cargas térmicas del mismo con las aportaciones energéticas convencionales mínimas, aprovechando las ganancias gratuitas de calor y las propiedades termofísicas de los materiales y de las soluciones constructivas.

### 4.3. Acristalamiento

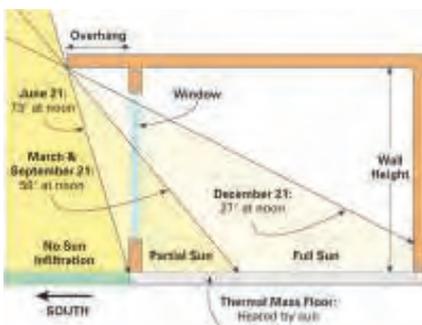
Antes de entrar a estudiar los huecos de fachada, este módulo de formación define una serie de conceptos previos a tener en cuenta a la hora de diseñar un edificio energéticamente eficiente. Se define la radiación solar (composición, efecto invernadero); la transmisión de calor en sus distintas formas: conducción, convección, cambio de estado (por evaporación o vaporización y por condensación o licuefacción) y radiación; el confort térmico; la ventilación natural; y la orientación geográfica, distinguiendo entre la Norte, la Sur y la Este y Oeste.



*Espectro de radiación solar [1]*

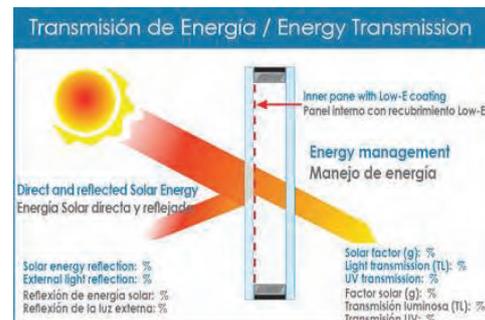


*Fenómenos físicos de transmisión de calor [2]*



### Ángulo de incidencia del sol en fachada Sur [3]

Respecto a los huecos de fachada, se definen tanto la transmitancia térmica como el factor solar de los mismos. Ambos dependen, en mayor o menor medida, de los materiales utilizados en el hueco. Estos materiales se estudian en los apartados de los componentes que forman los huecos (marco y vidrio).



*Transmisión de energía solar [1]*

Para ello, el marco se clasifica según el material con el que está fabricado, pudiendo ser metálico, metálico con rotura de puente térmico (RPT), de madera, de PVC o de otro material como mixto madera-aluminio, mixto aluminio-madera, poliuretano con núcleo metálico, metálico con RPT relleno de espuma aislante, etc.

En cuanto al vidrio, se definen sus dos configuraciones, según sea una única hoja de vidrio, vidrio sencillo (monolítico), o dos o más laminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, formando una unidad de vidrio aislante (UVA), conocida como doble o triple acristalamiento o vidrio con cámara.

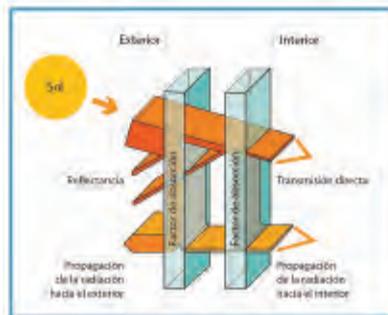


A

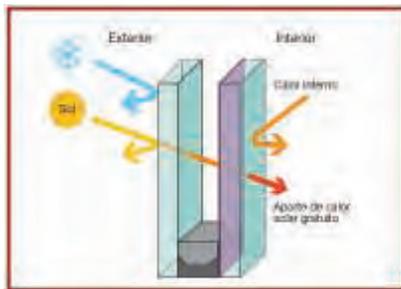
### UVA con doble acristalamiento [4]

Se estudian los distintos tipos de vidrio orientados al ahorro energético: vidrios de control solar, vidrios de baja emisividad (Low-E), vidrios selectivos (control solar + baja emisividad) y vidrios tintados.

En cada uno de ellos se tratan sus propiedades, fabricación, utilización, y las ventajas y desventajas de su uso.



Vidrio de control solar [5]



UVA de doble acristalamiento con una capa de recubrimiento «Low-E» [5]

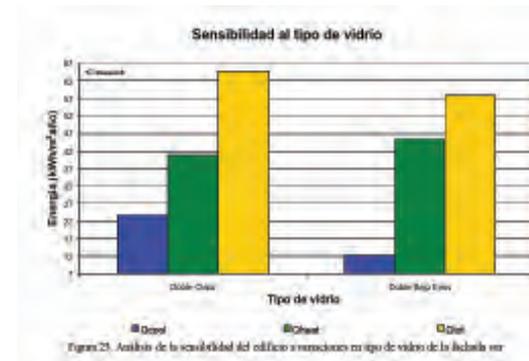
También se consideran otros procesos a tener en cuenta en los huecos de fachada, tales como las condensaciones superficiales y las infiltraciones de aire, que dependerán de lo energéticamente eficiente que sea o no el hueco.

Por último, el módulo de aprendizaje contempla las distintas soluciones de rehabilitación entre las

que se puede optar para intervenir sobre los huecos de un edificio, teniendo en cuenta que por sus características constructivas, fácil intervención y la repercusión que los huecos tienen sobre el aislamiento térmico de la envolvente del edificio, se considera como el primer elemento a valorar técnica y económicamente a la hora de realizar una intervención térmica en un edificio.

Se consideran tres tipos de intervenciones:

- \* Sustitución de vidrios (sustitución de un vidrio por otro de mejores prestaciones térmicas o ampliación del espesor de la cámara intermedia).
- \* Sustitución de carpinterías y vidrios (en función de los materiales del marco y del acristalamiento existentes y de los materiales que se utilizan en la rehabilitación se pueden obtener distintos porcentajes de ahorro de energía).
- \* Instalación de una segunda ventana, sin intervenir en la existente.



Resultados obtenidos en la simulación realizada en el proyecto EDEA Experimental Architecture, al sustituirse el vidrio doble claro por uno doble bajo emisivo en los huecos situados en la fachada sur [6]

#### 4.4. Instalaciones

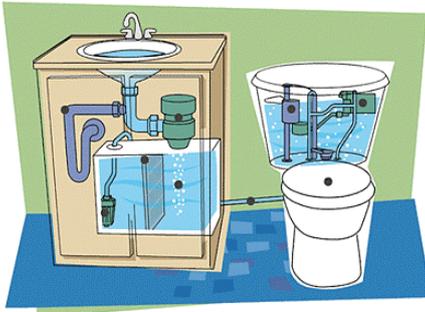
Dado que el consumo de energía en edificación está directamente relacionado con las instalaciones, este módulo de formación hace un recorrido por las distintas instalaciones que resultan elementales para conseguir adecuar las condiciones de confort en el interior de los edificios.

Se tratan las instalaciones de climatización, calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación, desde el punto de vista de la eficiencia energética.

En la introducción se define cada una de ellas, desarrollándose en los distintos apartados que componen el módulo de aprendizaje.

- Instalaciones de agua fría (AF) y agua caliente sanitaria (ACS)

Para las instalaciones de AF y ACS se contemplan dos medidas de ahorro: por un lado, la reducción del consumo de agua potable, mediante el uso de sistemas que optimicen el uso de este bien, y por otro, la producción de ACS a través de la captación térmica de energía solar.



Agua del lavabo para llenar la cisterna del inodoro

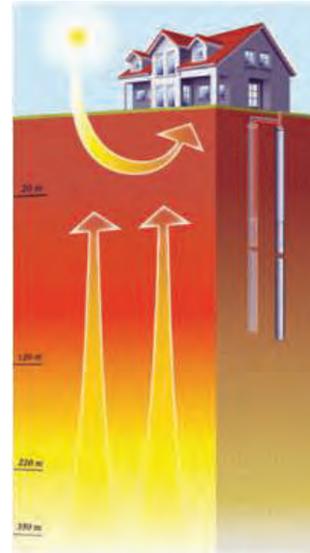


Esquema básico de una instalación solar de baja temperatura [7]

- Sistemas de calefacción: Sistemas activos en condiciones de invierno

Se describen sistemas eficientes en calefacción basados en energías renovables o de muy alto rendimiento, como son: la energía solar térmica, la geotermia de baja temperatura mediante intercambiador tierra-agua o intercambiador tierra-aire, calderas de biomasa, de combustibles fósiles optimizadas, de baja temperatura, de condensación, bombas de calor,

fraccionamiento de potencia, cogeneración y District Heating.



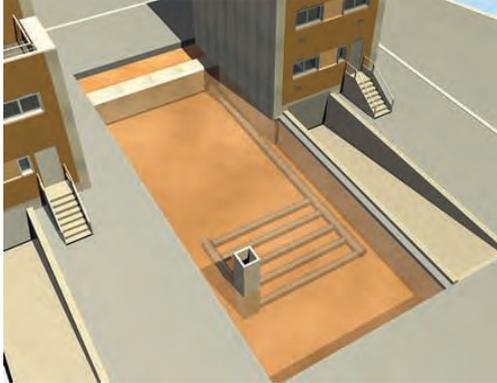
La radiación solar y las condiciones climáticas influyen sobre la temperatura del subsuelo sólo hasta una determinada profundidad [8]



Pellets de biomasa para su uso como combustible renovable en calderas [9]

- Sistemas de refrigeración: Sistemas activos en condiciones de verano

Se hacen mención a las siguientes estrategias activas en régimen de verano: máquina de absorción, geotermia de baja temperatura mediante intercambiador tierra-agua o intercambiador tierra-aire, bombas de calor de alto rendimiento, fraccionamiento de potencia, energía solar térmica, calderas de biomasa y sistemas de trigeneración.



Infografía del intercambiador tierra-aire del Proyecto EDEA [6]



Caldera de biomasa doméstica [10]

- Sistemas de generación de energía eléctrica

En este apartado se citan los dos sistemas siguientes: energía solar fotovoltaica y energía mini-eólica a través del uso de mini-aerogeneradores de pequeña potencia.



Energía fotovoltaica para autoconsumo e integrada en cubierta de edificio [11]

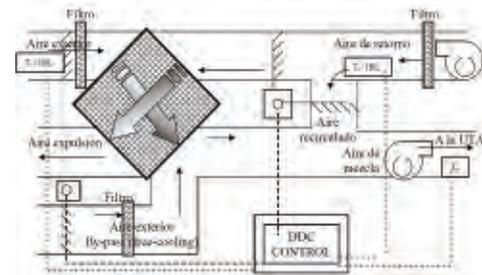


Mini-aerogenerador de eje vertical en un edificio terciario [12]

- Ventilación y calidad del aire

En este epígrafe se definen el concepto de “calidad del aire”, mediante el proceso de “renovación o ventilación”, así como las distintas formas de conseguir dicha ventilación, por medios naturales o mecánicos.

Las técnicas de ventilación más utilizadas para reducir el gasto energético son: los recuperadores entálpicos y el free-cooling o “refrigeración gratis”.



Esquema de funcionamiento de un recuperador entálpico

- Iluminación

Se describen en este epígrafe las partes que constituyen un sistema de iluminación: fuentes lumínicas, equipos auxiliares y luminarias.

Se estudian, asimismo, otros aspectos de eficiencia energética de los sistemas de iluminación, como son: el aprovechamiento de la luz natural para iluminación, teniéndose ésta en cuenta a la hora de realizar un diseño óptimo de la instalación de iluminación artificial; la iluminación artificial eficiente, mediante el empleo de sistemas eficientes energéticamente, que permitan alcanzar ahorros significativos asociados a la instalación de iluminación artificial; y la gestión y el mantenimiento energético,

factor determinante, este último, a tener en cuenta en la eficiencia energética de una instalación de iluminación, mediante la limpieza de luminarias, la sustitución de lámparas, la realización de revisiones periódicas, etc...

*Tecnología Microled [13]*



*Fluorescente compacto de bajo consumo [14]*



## 5 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN 3D

La plataforma de aprendizaje incluye, como aspecto innovador, una herramienta de simulación interactiva 3D de un edificio.

Este software, desarrollado por uno de los socios del proyecto, Vicomtech, ofrece información instantánea sobre la eficiencia de las medidas de ahorro de energía, que el alumno puede modificar de forma interactiva.

El edificio virtual es un complemento a los contenidos teóricos de los diferentes módulos de formación que proporciona un nuevo tipo de ilustración gráfica.

La simulación se presenta al usuario como un edificio virtual que se puede examinar de forma interactiva desde cualquier punto de vista y en el que se pueden eliminar o hacer transparentes sus diferentes partes para observar el interior.

Una vista de cerca puede mostrar las distintas capas de aislamiento en los cerramientos de las orien-

taciones Sur-Norte o Este-Oeste, así como de la cubierta.



*Vista general del edificio virtual en la herramienta 3D del proyecto [15]*

Actualmente, la plataforma se encuentra en fase de prueba, pudiendo tener acceso a la misma a través de la página web del proyecto EnEf ([www.enef-project.eu](http://www.enef-project.eu)) haciendo click en el enlace directo a los contenidos de formación de la pestaña de “plataforma de aprendizaje”.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] [www.euomater.com/vidrios](http://www.euomater.com/vidrios)
- [2] [www.beodon.com](http://www.beodon.com)
- [3] [www.solar-for-energy.com](http://www.solar-for-energy.com)
- [4] [www.sunguardglass.com](http://www.sunguardglass.com)
- [5] [www.glassforeurope.com](http://www.glassforeurope.com)
- [6] Proyecto EDEA: *Demostrados Experimentales. 1ª Fase Obtención de resultados de las simulaciones activas y pasivas del proyecto EDEA*. 2009 – 2010.
- [7] [www.energyfutur.com](http://www.energyfutur.com)
- [8] Géothermie. L'utilisation de la chaleur terrestre. Suisse énergie.
- [9] Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (Avebiom): [www.avebiom.org](http://www.avebiom.org)
- [10] [www.gruponovaenergia.com](http://www.gruponovaenergia.com)
- [11] Revista Energías Renovables: [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
- [12] [inhabitat.com](http://inhabitat.com)
- [13] [www.microplusgermany.es](http://www.microplusgermany.es)
- [14] Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía – IDAE.
- [15] [www.enef-project.eu](http://www.enef-project.eu)
- DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de Diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética en los edificios.
- DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).

## Valoración Energética Y De Sostenibilidad De Centros De Salud De La Comunidad De Extremadura

Antonio Ruíz, Ana M<sup>a</sup> Vizcaíno, Iría Bay, José Antonio Cruz

*Área de Máquinas y Motores Térmicos de la UEx, Escuela de Ingenierías Industriales, Badajoz, España*

Fernando López

*Agencia Extremeña de la Energía, Badajoz, España*

**RESUMEN:** Se presenta el trabajo realizado sobre la evaluación de sostenibilidad ambiental y energética de una muestra representativa de Centros de Salud existentes en la comunidad autónoma de Extremadura, dentro del marco del proyecto PROMOEENER. Después de establecer una serie de criterios para la selección de los centros sobre los que se realizará el estudio, el primer paso consiste en la descripción detallada de los edificios poniendo de manifiesto tanto las características estructurales y de uso como las propiedades de los equipos consumidores de energía. Tras la obtención de los datos de partida se introducirán las características relevantes de éstos en un software de simulación. Con la ayuda de la Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles, 'HADES', se obtienen unos indicadores de sostenibilidad inicial que caracterizan el estado actual de los edificios. Posteriormente se indican una serie de propuestas de mejora utilizando estrategias que minimicen el impacto ambiental. Estas medidas se evalúan con la misma herramienta extrayendo unos indicadores finales que cuantifican las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en el proyecto. Por otro lado se evaluará el consumo de energía obteniendo unos porcentajes de ahorro energético que se compararán con los porcentajes de reducción de impacto ambiental. Se concluye que con medidas de fácil aplicabilidad se consiguen grandes ahorros en el consumo energético del edificio y elevados aumentos del porcentaje de reducción de impacto ambiental, sin perturbar el confort de los usuarios y con unos costes asociados amortizables a corto plazo.

### 1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es una estrategia encaminada y válida para solucionar el problema de la escasez de fondos públicos y puede contribuir a disminuir los graves problemas de la energía y el clima. En este sentido el sector público debe predicar con el ejemplo en lo que se refiere a inversiones, mantenimiento y gestión energética de sus edificios, instalaciones y equipamiento.

En los últimos años, la consciencia sobre los límites económicos, sociales y ambientales que tienen los edificios insostenibles e ineficientes ha llevado a un interés creciente por incorporar criterios ambientales en la construcción de edificios, así como incorporar mejoras en las edificaciones ya existentes.

Es por ello que, con la necesidad de promocionar la eficiencia energética y las energías renovables en los edificios de la administración, nace el proyecto PROMOEENER-A. Como resultados específicos del proyecto se va a obtener la contabilidad energética histórica de 115 edificios públicos, así como un mapa geotérmico para climatización y generación eléctrica de las regiones objeto, junto a la realización de

19 auditorías energéticas de edificios públicos, con actuaciones en 10 de ellos.

La finalidad de este trabajo es valorar el estado de sostenibilidad y completar el análisis de evaluación del consumo energético actual de varios Centros de Salud (CS) existentes de la comunidad de Extremadura, discriminando dónde se produce dicho consumo y ofreciendo alternativas eficientes en el sentido de reducir tanto el consumo energético como aumentar la sostenibilidad de los mismos, todo ello sin renunciar a los niveles de confort actuales.

### 2 OBJETIVOS

El objetivo principal es impulsar la utilización de soluciones altamente eficientes y el desarrollo de energías renovables para calefacción y climatización de edificios públicos, y que estos sistemas vengán acompañados del desarrollo de un sector con servicios de gran valor añadido.

Las tecnologías sobre las que se enfocarán las propuestas son aquellas cuyos recursos son comunes a todas las regiones y pueden encontrarse en gran cantidad, como son el sol, la geotermia somera (bombas de calor geotérmicas BCG) y la biomasa. Además se

prestará especial atención a la optimización de estos recursos de forma pasiva, a través de la construcción bioclimática y la reducción de la demanda térmica.

Por lo tanto, la finalidad última del proyecto es promover la implantación de sistemas bioclimáticos, geotérmicos, solares y de biomasa en los Centros de Salud de la comunidad de Extremadura, que sirvan de escaparate y promoción de estas tecnologías, al tiempo que se incrementa el uso de recursos energéticos autóctonos y se disminuye la dependencia energética de los mismos.

### 3 METODOLOGÍA

La metodología seguida de forma general para la valoración energética y de sostenibilidad de los Centros de Salud, que identifiquen y cuantifiquen las posibilidades de mejora en materia de ahorro, eficiencia energética y utilización de energías renovables es la siguiente:

Datos de partida:

- Selección de una muestra representativa de CS y caracterización de los parámetros para la elección de actuaciones en producción de renovables.
- Análisis de los datos de partida necesarios para caracterizar los edificios y su entorno.
- Valorar el estado de sostenibilidad actual mediante la simulación con una Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles (HADES).

Resultados:

- Análisis de los resultados obtenidos del comportamiento de los edificios en su conjunto, haciendo especial hincapié en los puntos críticos.
- Estudio de posibilidades de mejora, tanto en régimen calefacción como en refrigeración, estimando los centros con mayor potencial de desarrollo.
- Valoración de sostenibilidad y ahorro energético con la implantación de medidas.
- Comparación de los índices de sostenibilidad iniciales y finales.

#### 3.1 Edificios seleccionados

A la hora de seleccionar una muestra representativa de CS, se han tenido en cuenta distintos parámetros: representatividad geográfica del territorio y de tipologías constructivas, encontrarse por encima de la media en ratios de consumos energéticos y acceso a información de datos históricos de consumos energéticos.

Se han preidentificado aquellos edificios que mostraron características favorables para implementar un sistema geotérmico o un sistema de biomasa para producción térmica, seleccionándose una muestra

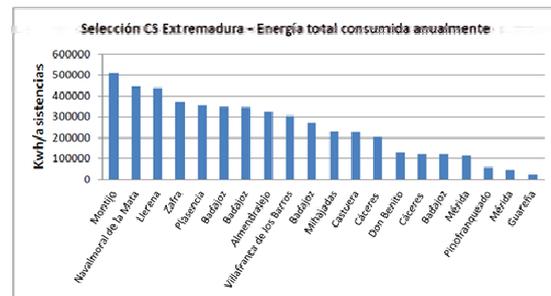
inicial de 45 centros. Además, se ha planificado la selección de edificios de especial representatividad por su singularidad y número de usuarios.

#### 3.1.1 Edificios seleccionados para tecnología geotérmica

En base a los ratios de consumo se han preseleccionado de la muestra inicial de 45 edificios los 20 Centros de Salud con mayor consumo; estos se muestran en el Gráfico 1.

Los 20 Centros han sido analizados en base a criterios de mínimos: disponibilidad de terreno para las perforaciones, sistemas de clima con agua como fluido caloportador y ratios de uso y consumo.

Gráfico 1: Centros de Salud con mayor consumo energético

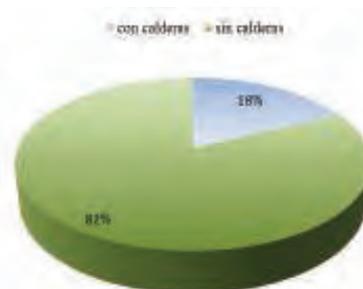


#### 3.1.2 Edificios seleccionados para tecnología biomasa

Para la selección de los centros más apropiados para la implantación de sistemas de tecnología biomasa se ha ampliado el número de centros estudiados de los 45 iniciales a 64, ya que el número de posibles actuaciones en esta tipología de edificación se reduce considerablemente al no ser las calderas de gasoil el sistema de calefacción más extendido.

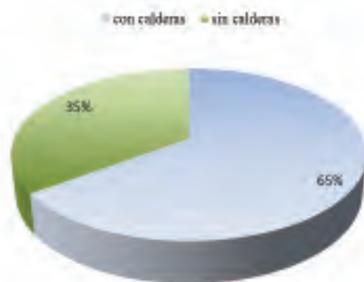
En los siguientes gráficos se muestra el porcentaje de CS con y sin calderas de cada una de las provincias de Extremadura.

Gráfico2: Centros de Salud de Badajoz



A

Gráfico3: Centros de Salud de Cáceres



Sobre la muestra de 64 centros finalmente se realiza una preselección con los que tienen calderas para calefacción, obteniéndose un número final de 26 centros preseleccionados.

### 3.1.3 Selección final

De los edificios anteriormente descritos se selecciona un listado final compuesto de 9 edificios representativos de los diferentes criterios. La Tabla 1 muestra los edificios seleccionados y el tipo de actuación para el que son propuestos.

Tabla 1: Selección final y tipo de actuación

Nombre del centro (población)	Tipo de actuación
CS Mohedas de Granadilla	Actuación en biomasa
CS Alburquerque	Actuación en biomasa
CS Losar de la Vera	Actuación en biomasa
CS Jaraíz de la vera	Actuación en biomasa
CS Fregenal de la sierra	Actuación en biomasa
C.S Montijo-Puebla de la Calzada	Actuación en geotermia
C.S. Navalmoral de la Mata	Actuación en geotermia
C.S. Llerena	Actuación en geotermia
C.S. Cáceres Centro	Actuación en geotermia

### 3.2 Datos de partida

Una vez definidos los edificios que serán objeto de estudio la primera fase es caracterizar la envolvente de los mismos y conocer todos los elementos de consumo energético, poniendo de manifiesto tanto las características estructurales y de uso de éste como las propiedades de los equipos consumidores de energía.

A partir de la información obtenida se procederá a simular los edificios con aquellas características que se consideren oportunas a valorar en cada simulación con la herramienta HADES.

### 3.3 Simulación energética

La simulación del estado de sostenibilidad se ha llevado a cabo del siguiente modo:

- Edificio cero: se simulan con la herramienta elegida los edificios patrón; se obtiene una valoración porcentual de reducción de impacto inicial para cada uno de ellos.
- Propuestas de mejora: sobre las “simulaciones cero” se establecen una serie de modificaciones que varían los correspondientes porcentajes de reducción de impacto tras la implantación de ciertas medidas.
- Valoración de resultados: análisis de las estrategias determinando la influencia sobre la reducción de impacto y sobre el consumo de energía de los edificios.

Para la evaluación de la sostenibilidad se hace uso de la Herramienta ‘HADES’, acrónimo de Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles.

Esta herramienta ha sido desarrollada por Green Building Council España (GBCe) en el marco de un convenio con la Secretaría General de Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Fomento. Está pensada para ayudar al proyectista cuantificando las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en un proyecto.

La puntuación se establece de 0% a 100% de reducción de impacto, donde 0% es el valor de referencia que corresponde al cumplimiento normativo o la práctica habitual y 100% corresponde a la mejor práctica posible con un coste aceptable.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Edificio cero

La realización de las simulaciones de los edificios con la herramienta ‘HADES’ en su estado actual revela la insostenibilidad de todos ellos. Todos ellos toman valores de reducción de impacto muy bajos, tres de ellos tienen valores de cero. Tan sólo uno de los centros supera ligeramente el 25% de reducción de impacto. Los porcentajes de reducción de impacto se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2: Porcentajes de reducción de impacto inicial

Nombre del Centro de Salud	Reducción de impacto inicial (%)
Alburquerque	14,55
Cáceres centro	14,36
Fregenal	0
Jaraíz de la Vera	6,6
Llerena	15,56
Losar de la Vera	0
Mohedas de Granadilla	0
Montijo	25,74
Navalmoral	10,01

## 4.2 Propuestas de mejora

- Aprovechamiento de las zonas libres de la parcela ocupándolas con zonas verdes.
- Se propone revisar las instalaciones de climatización para optimizar la demanda y eficiencia de los sistemas, implantando medidas según el caso concreto como: instalación de termostatos con tapas antimanipulación, temporizadores para el funcionamiento de la caldera, correcta zonificación, actuaciones sobre el correcto aislamiento de los huecos, instalación de relojes con programador de desconexión en los termos eléctricos etc.
- Sobre el consumo de energía eléctrica se proponen medidas como actuar sobre las lámparas existentes sustituyéndolas por otras de alta eficiencia tipo LED, sectorizar el control de iluminación, instalación de pulsadores temporizados y detectores de presencia, reducir los niveles de iluminación superiores a los recomendados o configuración del apagado de los equipos informáticos.
- Actuaciones sobre producción de renovables instalando los sistemas anteriormente indicados en el apartado 3.1.3 para cada edificio
- Reducción de sustancias foto-oxidantes de las calderas de combustión.
- Instalación de griferías y cisternas con control de consumo.
- Instalación de sistemas de recuperación y reutilización de aguas grises.
- Optimizar el aprovechamiento de la luz natural.
- Favorecer la ventilación natural.
- Una medida complementaria y siempre útil es la realización de una campaña de sensibilización para fomentar el uso racional del agua y la energía por parte de los responsables del centro.

## 4.3 Valoración completa de sostenibilidad

Con la implantación de las medidas que competan en cada caso la sostenibilidad de los edificios se ve aumentada, siendo los porcentajes de reducción de impacto finales los indicadores de dichas mejoras. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos para cada centro de salud:

Tabla 3: Porcentajes de reducción de impacto inicial y final

Nombre del Centro de Salud (población)	Reducción de impacto inicial (%)	Reducción de impacto final (%)	Aumento en sostenibilidad (%)
Alburquerque	14,55	56,13	41,58
Cáceres centro	14,36	46,69	32,33
Fregenal	0	49,46	49,46
Jaraíz de la Vera	6,6	52,03	45,43

Nombre del Centro de Salud (población)	Reducción de impacto inicial (%)	Reducción de impacto final (%)	Aumento en sostenibilidad (%)
Llerena	15,56	46,95	31,39
Losar de la Vera	0	44,11	44,11
Mohedas de Granadilla	0	45,16	45,16
Montijo	25,74	52,46	26,72
Navalmoral	10,01	47,79	37,78

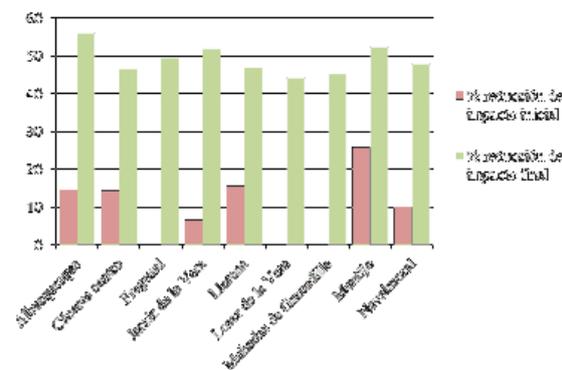
Todos los centros de salud consiguen un porcentaje de reducción de impacto final alrededor del 50%.

En general los porcentajes de reducción alcanzados son relativamente altos, todos superan el 44% y tres de ellos alcanzan más del 50%. Estos porcentajes, tomados de forma aislada, podrían parecer no demasiado elevados si los consideramos en una escala de 1 a 100. En la mayoría no se alcanza la mitad de reducción de impacto para ser considerado un edificio sostenible, sin embargo debemos tener en cuenta que al tratarse de edificios ya construidos no se pueden modificar ciertas condiciones de diseño, lo que supone que no se puede actuar sobre algunos de los criterios que considera la herramienta para evaluar la reducción de impacto.

Se observa que el centro de la localidad de Alburquerque es el que permite alcanzar una reducción de impacto mayor tras la aplicación de medidas llegando el porcentaje de reducción de impacto a más del 56%. Sin embargo, el centro de salud de Losar de la Vera apenas llega a un 44%.

Comparando los porcentajes de reducción inicial y final se observan las diferencias entre dichos valores en el Gráfico 4:

Gráfico 4: Reducción de impacto inicial y final



Haciendo un análisis por provincias se observan divergencias en los resultados de los centros de salud de Cáceres y Badajoz. Las siguientes tablas muestran los porcentajes de reducción de impacto para cada centro de salud y la media de estos porcentajes por provincias:

Tabla 4: Reducción de impacto inicial y final C.S. Badajoz

C.S. Badajoz	Reducción de impacto inicial (%)	Reducción de impacto final (%)	Aumento en sostenibilidad (%)
Albuquerque	14,55	56,13	41,58
Fregenal	0	49,46	49,46
Llerena	15,56	46,95	31,39
Montijo	25,74	52,46	26,72
media	13,96	51,25	37,29

Tabla 5: Reducción de impacto inicial y final C.S. Cáceres

C.S. Cáceres	Reducción de impacto inicial (%)	Reducción de impacto final (%)	Aumento en sostenibilidad (%)
Cáceres centro	14,36	46,69	32,33
Jaraíz de la Vera	6,6	52,03	45,43
Losar de la Vera	0	44,11	44,11
Mohedas de Granadilla	0	45,16	45,16
Navalmoral	10,01	47,79	37,78
media	6,19	47,16	40,96

Los centros de salud de la provincia de Badajoz se encuentran en mejores condiciones de sostenibilidad inicialmente obteniendo de media más de doble de reducción de impacto que los centros de la provincia de Cáceres. En cuanto a la situación final, tras imponer las medidas correctoras los centros de Badajoz obtienen un porcentaje de reducción de impacto medio ligeramente superior a los de Cáceres.

#### 4.4 Reducción de consumo energético vs reducción de impacto

El objetivo final de la aplicación de las medidas correctoras sobre los diferentes criterios no solo consiste en un aumento de la sostenibilidad del edificio, sino también una reducción de consumo energético implicando un ahorro económico.

De la valoración individual de cada uno de los edificios se extraen los resultados sobre el consumo energético actual y futuro por m2 de superficie útil. Los resultados de estos consumos se presentan en la siguiente tabla:

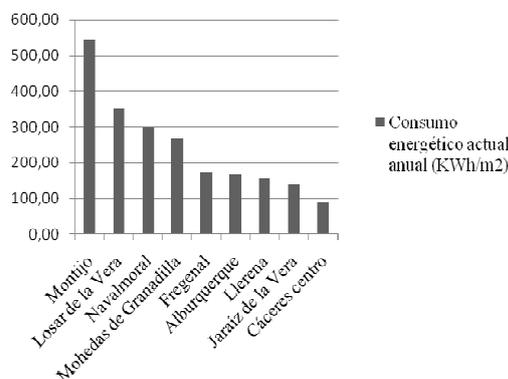
Tabla 6: Consumos energéticos C.S.

Nombre del CS	Consumo energético actual anual (kWh/m2)	Consumo energético futuro anual (kWh/m2)	Ahorro energético (%)
Albuquerque	168,96	65,86	61,02
Cáceres centro	87,62	54,35	37,98
Fregenal	173,94	166,58	4,23
Jaraíz de la Vera	142,64	126,87	11,06

Nombre del CS	Consumo energético actual anual (kWh/m2)	Consumo energético futuro anual (kWh/m2)	Ahorro energético (%)
Llerena	155,64	97,21	37,54
Losar de la Vera	353,67	342,22	3,24
Mohedas de Granadilla	269,56	262,56	2,60
Montijo	543,88	351,52	35,37
Navalmoral	299,98	226,15	24,61

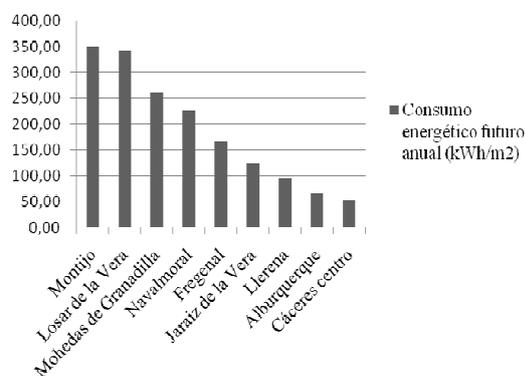
Los consumos energéticos de los CS en orden decreciente se presentan en los siguientes gráficos:

Gráfico 5: Consumos energéticos actuales C.S.



Inicialmente los centros de Montijo, Losar de la Vera, Navalmoral de la Mata y Mohedas de Granadilla presentan consumos energéticos muy elevados. Con la aplicación de las medidas propuestas en cada uno de los edificios para la mejora de su sostenibilidad se obtiene paralelamente una reducción del consumo energético que lleva a unos valores finales de consumo energético que se presentan en el siguiente gráfico:

Gráfico 6: Consumos energéticos futuros C.S.



Si se comparan los Gráficos 5 y 6 se observa que, a excepción de pequeños cambios, las reducciones de

A

consumo nos llevan a una ordenación similar de consumo energético. En el Gráfico 7 se representan los porcentajes de ahorro energético mostrados en la Tabla 6 en orden decreciente para los nueve Centros de Salud.

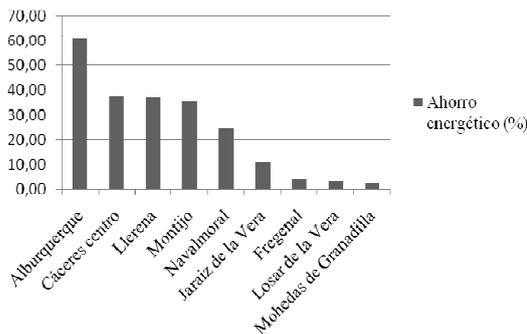


Gráfico 7: Ahorros energéticos C.S

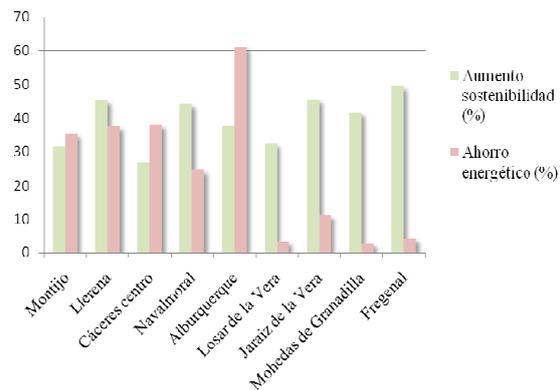
Los porcentajes de ahorro toman valores diversos que van desde apenas un 3% a un 61%. Esto se debe a que las medidas implantadas tienen una repercusión muy diferente sobre el consumo energético. Existen ciertas medidas, como son las realizadas sobre epidermis, clima e iluminación, que reducen el consumo energético en todos los casos elevando el porcentaje de ahorro. Sin embargo las medidas propuestas sobre producción de energías renovables tienen un efecto muy diferente dependiendo del tipo de tecnología a instalar; mientras que la tecnología geotérmica supone un ahorro de consumo energético muy elevado, la sustitución de la caldera instalada por otra de biomasa no implica una reducción de dicho consumo y por tanto no eleva el porcentaje de ahorro energético.

En el caso de los centros de Fregenal de la Sierra, Losar de la Vera y Mohedas de Granadilla los ahorros sobre el consumo energético son muy bajos. La principal causa de esta baja disminución del consumo de energía es que la medida implantada sobre producción de renovables es la sustitución de la caldera actual por otra de biomasa. Este cambio no reduce el consumo energético por contar ambas calderas con un rendimiento similar; no obstante, este cambio debe ser considerado puesto que no solo aumenta la sostenibilidad sino que también supone un ahorro económico en combustible considerable.

El CS de la localidad de Alburquerque presenta un ahorro energético superior al que cabe esperar. Pese a que la propuesta sobre energías renovables es la instalación de una caldera de biomasa, las medidas adoptadas sobre climatización consistentes en zonificación, control de temperatura y adecuación del periodo de funcionamiento, suponen un ahorro energético de un 55% sobre el consumo inicial lo que nos lleva en combinación con el resto de medidas a un ahorro final de un 61% sobre el consumo inicial.

El Gráfico 8 muestra los porcentajes finales obtenidos de reducción de impacto y ahorro energético total tras la implantación de las medidas propuestas para cada uno de los edificios. Se presentan en orden ascendente para la diferencia absoluta de los valores de dichos porcentajes.

Gráfico 8: Aumento de sostenibilidad total (%) vs ahorro energético total (%)



Se observa que aunque algunos de los edificios presentan porcentajes obtenidos similares de reducción de impacto y ahorro energético, en general no se puede establecer una relación directa entre ellos. Habitualmente la reducción de impacto ambiental se ve asociada a una reducción del consumo energético anual, pero no siempre implica dicho ahorro energético como ocurre en el caso de la sustitución de calderas por calderas de biomasa. Además, las medidas aplicadas no tienen la misma repercusión porcentual sobre el total.

Para evaluar correctamente la sostenibilidad se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales: impacto económico, impacto ambiental e impacto social. Por este motivo, al establecer la comparación "reducción de impacto vs ahorro energético", se observa que no existe entre ellos una relación exacta puesto que la responsabilidad económica, social y ambiental no se pueden considerar de forma aislada, sino en el conjunto de los tres pilares del desarrollo sostenible.

## 5 CONCLUSIONES

En los últimos años asistimos a una voluntad creciente de incorporar criterios ambientales en la construcción de edificios así como incorporar mejoras en las edificaciones existentes. Es por ello que se planteó el análisis de una muestra de edificios representativos del sector para proponer medidas correctoras sobre ellos, aumentando así su sostenibilidad y siendo ejemplo público de edificación sostenible.

El estudio detallado de los nueve CS seleccionados y las simulaciones pertinentes indican que éstos se en-

cuentran actualmente en condiciones de insostenibilidad con consumos energéticos elevados arrojando los siguientes resultados:

- los porcentajes iniciales de reducción de impacto toman valores desde 0 al 25% señalando la no sostenibilidad de los mismos.
- los consumos energéticos anuales van en aumento desde 87 kWh/m<sup>2</sup> indicando un potencial de ahorro por ser valores elevados.

Tras valorar la viabilidad técnica de las posibles medidas a aplicar y su aporte a la mejora en sostenibilidad y al ahorro energético, se extraen las siguientes conclusiones:

- Con la aplicación de medidas se logran aumentos en sostenibilidad de al menos un 26% en todos los casos.
- Los porcentajes de reducción de impacto finales toman valores entre 44 y 56%, apuntando una reducción de impacto ambiental amplia.
- El consumo energético de los centros de salud se ve reducido en todos los casos. Los porcentajes de ahorro anual van desde un 3% a un 61%.
- Las medidas sobre producción de energía renovable son las que aumentan en mayor medida la sostenibilidad ambiental de los edificios.
- La instalación de tecnología geotérmica implica una reducción de consumo energético muy elevada así como un aumento de sostenibilidad importante.
- La sustitución de la caldera existente por una caldera de biomasa no implica ahorro energético pero sí el aumento del porcentaje de reducción de impacto.
- Se deben considerar medidas sobre iluminación para reducir el consumo eléctrico. Las medidas sobre epidermis edificatoria y climatización implican una disminución de la demanda energética que contribuye a un mayor ahorro energético.
- Existe otro tipo de medidas sobre la parcela y el consumo de agua potable que deben ser consideradas por simplicidad y bajo coste aunque sólo implican ligeros aumentos de sostenibilidad.
- Los CS de Badajoz se encuentran actualmente en mejores condiciones de sostenibilidad obteniendo un porcentaje medio de reducción de impacto que duplica al obtenido por los centros de Cáceres. Finalmente los centros de Badajoz logran un porcentaje medio de reducción de impacto ligeramente superior al de Cáceres.

Se observa que existe una serie de medidas que aplicadas en su conjunto en cada uno de los edificios incrementa la sostenibilidad del edificio de forma importante sin perturbar el confort de los usuarios y

con unos costes asequibles y amortizables a corto plazo. De forma paralela, con la implantación de dichas medidas, el consumo energético anual de los mismos se ve disminuido reduciéndose así los costes asociados al consumo de energía.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Código Técnico de la Edificación, RD 314/2006, de 17 de marzo.
- Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. En <http://www.coiim.es>
- Directiva Europea 2009/28/CE
- Directiva 2010/31/UE
- Directiva Europea 76/93/CEE
- ENERCLUB, *Eficiencia Energética en la Península Ibérica 2007*.
- FENERCOM, *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*.
- Fundación Vida Sostenible. En <http://www.vidasostenible.org>
- Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMA), *Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramiento*, Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios.
- Green Building Council España. En <http://www.gbce.es>
- IDAE *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Resumen ejecutivo PAE4*.
- IDAE, *Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable*.
- MARM 2007, *Libro verde del Medio Ambiente Urbano*.
- Observatorio de la Sostenibilidad de España. En <http://www.sostenibilidad-es.org>
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RD 1027/2007 de 20 de Julio; RD 1826/2009 de 27 de noviembre)
- Construcción bioclimática*, Revista Sección. En <http://www.revistaseccion.com/portada/construccion-bioclimatica>
- Servicios de Consultoría en Edificación Sostenible y Green Building. En <http://www.asesoresgreenbuilding.com>
- XERTATU, Responsabilidad Social de las Empresas en Bizkaia, *Guía para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad*.

## Valoración Energética Y De Sostenibilidad De Un Edificio Dedicado A Investigación Situado En Cáceres

Antonio Ruíz, Ana M<sup>a</sup> Vizcaíno, Iría Bay, José Antonio Cruz

*Área de Máquinas y Motores Térmicos de la UEx, Escuela de Ingenierías Industriales, Badajoz, España*

Fernando López

*Agencia Extremeña de la Energía, Badajoz, España*

**RESUMEN:** Se presenta el trabajo realizado sobre la evaluación de sostenibilidad y de consumos energéticos, dentro del marco del proyecto PROMOEENER, del edificio del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, ubicado en el Campus Universitario de la ciudad de Cáceres. Tras examinar de forma detallada el edificio objeto de este estudio de simulación se ponen de manifiesto tanto las características estructurales y de uso como las propiedades de los equipos consumidores de energía. Después de la obtención y medida de los datos de partida se introducen las características relevantes del edificio en el software de simulación térmica. Con la ayuda de la Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles 'HADES' se obtiene un indicador de sostenibilidad inicial que caracteriza el estado actual del edificio y que sirve de referencia. Con posterioridad se hacen una serie de propuestas de mejora sobre el edificio utilizando estrategias que minimicen el impacto ambiental del mismo. Estas medidas se evalúan con la misma herramienta extrayendo unos indicadores finales que cuantifican las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en el proyecto. Se concluye que, con medidas de fácil aplicabilidad, se consiguen grandes ahorros en el consumo energético del edificio y elevados aumentos del porcentaje de reducción de impacto ambiental, sin perturbar el confort de los usuarios y con unos costes asociados amortizables a corto plazo.

### 1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es una estrategia encaminada y válida para solucionar el problema de la escasez de fondos públicos y puede contribuir a disminuir los graves problemas de la energía y el clima. En este sentido, el sector público debe predicar con el ejemplo en lo que se refiere a inversiones, mantenimiento y gestión energética de sus edificios, instalaciones y equipamiento.

En los últimos años, la consciencia sobre los límites económicos, sociales y ambientales que tienen los edificios insostenibles e ineficientes ha llevado a un interés creciente por incorporar criterios ambientales en la construcción de edificios, así como incorporar mejoras en las edificaciones ya existentes.

Es por ello que, con la necesidad de promocionar la eficiencia energética y las energías renovables en los edificios de la administración, nace el proyecto PROMOEENER-A. Como resultados específicos del proyecto se va a obtener la contabilidad energética histórica de 115 edificios públicos, así como un mapa geotérmico para climatización y generación eléctrica de las regiones objeto, junto a la realización de

19 auditorías energéticas de edificios públicos, con actuaciones en 10 de ellos.

La finalidad de este trabajo es valorar el estado de sostenibilidad y completar el análisis de evaluación del consumo energético actual del Instituto Tecnológico De Rocas Ornamentales Y Materiales De Construcción (INTROMAC), discriminando dónde se produce y ofreciendo alternativas eficientes en el sentido de reducir tanto el consumo energético como aumentar la sostenibilidad del mismo, todo ello sin renunciar a los niveles de confort actuales.

### 2 OBJETIVOS

El objetivo principal es impulsar la utilización de soluciones altamente eficientes y el desarrollo de energías renovables para calefacción y climatización de edificios públicos, y que estos sistemas vengán acompañados del desarrollo de un sector con servicios de gran valor añadido.

Las tecnologías sobre las que se enfocarán las propuestas son aquellas cuyos recursos son comunes a todas las regiones y pueden encontrarse en gran cantidad, como son el sol, la geotermia somera (bombas de calor geotérmicas BCG) y la biomasa. Además se

prestará especial atención a la optimización de estos recursos de forma pasiva, a través de la construcción bioclimática y la reducción de la demanda térmica. Por lo tanto, la finalidad última del proyecto es promover la implantación de sistemas bioclimáticos, geotérmicos, solares y de biomasa en el edificio público INTROMAC, que sirvan de escaparate y promoción de estas tecnologías, al tiempo que se incrementa el uso de recursos energéticos autóctonos y se disminuye la dependencia energética del mismo.

### 3 METODOLOGÍA

La metodología seguida de forma general para la valoración energética y de sostenibilidad del edificio INTROMAC, que identifique y cuantifique las posibilidades de mejora en materia de ahorro, eficiencia energética y utilización de energías renovables es la siguiente:

Datos de partida:

- Análisis de los datos de partida necesarios para caracterizar el edificio y su entorno.
- Conocer el estado de sostenibilidad actual mediante la simulación con una Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles (HADES).

Resultados:

- Análisis de los resultados obtenidos del comportamiento del edificio en su conjunto, haciendo especial hincapié en los puntos críticos.
- Estudio de las diferentes posibilidades de mejora en sostenibilidad y ahorro energético, tanto en régimen calefacción como en refrigeración.
- Cuantificar la mejora del estado de sostenibilidad con la implantación de medidas según criterios.
- Comparación de los índices de sostenibilidad iniciales y finales.

#### 3.1 Datos de partida

La primera fase es caracterizar la envolvente del edificio y conocer todos los elementos de consumo energético del mismo, poniendo de manifiesto tanto las características estructurales y de uso de éste, como las propiedades de los equipos consumidores de energía.

A partir de la información obtenida se procederá a simular el edificio con aquellas características que se consideren oportunas a valorar en la simulación con la herramienta HADES.

#### 3.2 Simulación energética

La simulación del estado de sostenibilidad con la herramienta seleccionada se ha llevado a cabo del siguiente modo:

- Edificio cero: se simula con la herramienta el edificio patrón; éste obtiene una valoración porcentual de reducción de impacto inicial.
- Propuestas de mejora: sobre la “simulación cero”, se establecen una serie de modificaciones que varían los correspondientes porcentajes de reducción de impacto tras la implantación de ciertas medidas.
- Valoración de resultados: análisis de las estrategias, determinando la influencia sobre la reducción de impacto y sobre el consumo de energía del edificio.

Para la evaluación de sostenibilidad, se hace uso de la Herramienta HADES, acrónimo de Herramienta de Ayuda al Diseño de Edificios Sostenibles.

Esta herramienta ha sido desarrollada por Green Building Council España (GBCe) en el marco de un convenio con la Secretaría General de Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Fomento. Está pensada para ayudar al proyectista cuantificando las mejoras ambientales al aplicar criterios de sostenibilidad en un proyecto.

La puntuación se establece de 0% a 100% de reducción de impacto, donde 0% es el valor de referencia que corresponde al cumplimiento normativo o la práctica habitual y 100% corresponde a la mejor práctica posible con un coste aceptable.

### 4 RESULTADOS

#### 4.1 Edificio cero

El edificio objeto de la presente memoria está dedicado a albergar las instalaciones del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción. También acoge algunos laboratorios de inspección de contadores de la Junta de Extremadura. Se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad de Cáceres en la carretera de Trujillo, dentro del Campus Universitario de dicha ciudad.

Destacan los siguientes aspectos negativos respecto a sus características constructivas y de equipos, destacables en la valoración con la herramienta de simulación:

- Escaso ajardinamiento de la parcela.
- Las medidas complementadas en el diseño no permiten obtener un edificio con calificación superior a D.
- No dispone de lámparas eficientes.
- No dispone de sistemas de producción de energía renovable.
- No cuenta con sistemas de ahorro de recuperación de aguas grises.

- En general no se tomaron medidas sobre la elección de materiales en el proceso de construcción.
- No cuenta con grifería eficiente.

Como aspectos positivos:

- No existen calderas de combustión, por tanto, no hay emisiones de sustancias foto-oxidantes.
- Cuenta con cisternas de doble descarga.
- Existe cierto aprovechamiento de luz natural.
- Existencia de placas de escayola prefabricadas en el falso techo.

La valoración inicial del edificio revela un estado de insostenibilidad del edificio, dándonos un porcentaje de reducción de impacto de tan sólo el 20,18%.

#### 4.2 *Propuestas de mejora sobre los diferentes criterios*

A continuación se valoran una serie de propuestas de mejora sobre cada uno de los criterios evaluados por la herramienta HADES, a través de la posible implantación de medidas correctoras.

##### 4.2.1 *Parcela y Emplazamiento (PE1): uso de plantas autóctonas*

El edificio INTROMAC cuenta con una extensa superficie acondicionada para zonas verdes; sin embargo, ésta está ligeramente ajardinada y la ocupación de plantas autóctonas y/o xerófitas es escasa. Se propone elevar el porcentaje de ocupación de plantas autóctonas por encima del 84%. Dicha ocupación se traduce en un aumento del porcentaje de reducción de impacto, siendo su valor tras aplicar esta medida del 23,35%.

##### 4.2.2 *Energía y Atmósfera (EA) 1: consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas*

Las características técnicas de diseño han demostrado ser insuficientes y el sistema centralizado de climatización, que debería asegurar el confort en todas las zonas del centro, no cumple dichas condiciones. Se propone sustituir los sistemas actuales de climatización por otros de mayor eficiencia y mejores características. Sobre la envolvente del edificio cabe la posibilidad de aminorar las cargas térmicas actuando sobre las ventanas exteriores con elementos de cubrición y asegurando la funcionalidad de las lamas instaladas en las ventanas, instalando una claraboya con posibilidad de ventilación regulable, revistiendo parte del perímetro interno del muro exterior y actuando sobre la cubierta de una de las naves incluyendo una capa de aislamiento. Aplicando estas propuestas, la calificación energética del edificio puede verse mejorada, llegando la reducción de impacto a un valor del 27,22%. Posteriormente se propondrá la instalación de un sistema

de producción de energía renovable, que en combinación con las oportunas medidas anteriores, mejorará la etiqueta obtenida, aumentando el porcentaje de reducción de impacto.

##### 4.2.3 *EA2 demanda de energía eléctrica en la fase de uso*

Los edificios de oficinas en general son espacios de uso público, de difícil control de los hábitos de los usuarios y de uso muy continuado. Estas características obligan en este tipo de edificios a la utilización de tecnologías que, por su propia implantación, garanticen un control de las cargas energéticas

Parte de los equipos consumidores de energía están relacionados con las tareas administrativas que se realizan en el edificio. Además existen otros consumos energéticos asociados a la maquinaria de los laboratorios y las instalaciones cuentan con algunos equipos de vending permanentemente conectados. Debido a la cantidad de estos equipos que existe en el centro, el consumo por "stand-by" asociado puede ser elevado. La simple desconexión de dichos equipos al final de la jornada laboral supondría una reducción importante de consumo eléctrico.

Por otro lado, en cuanto a los sistemas de iluminación, se propone: sustituir las lámparas actuales por otras de alta eficiencia tipo LED, adecuar los niveles de luminancia, incrementar el aprovechamiento de luz natural e instalar detectores de presencia en aseos y pasillos.

Aplicando las medidas anteriores, el porcentaje de reducción de impacto tomará un valor del 30,13%.

##### 4.2.4 *EA3 producción de energías renovables en la parcela*

Debido a que los requerimientos de ACS del edificio son muy bajos no se ha considerado viable la implementación de una instalación de energía solar térmica para ACS. Sí se ha evaluado la instalación de una pequeña planta fotovoltaica de conexión a red en las cubiertas del edificio INTROMAC.

Tras un estudio exhaustivo de las condiciones del edificio, equipo y parcela, se deduce la viabilidad de instalar un sistema de tecnología geotérmica. La implantación de este sistema, en cuanto a aumento de sostenibilidad, debemos considerarlo aplicado en combinación con otras medidas sobre epidermis y climatización para optimizar las mejoras obtenidas.

La producción de renovables supondrá un aumento de sostenibilidad y de la calificación energética obtenida por el edificio. Llegaremos a un porcentaje de reducción de impacto del 33,79%.

##### 4.2.5 *EA4 emisión de sustancias foto oxidantes por los procesos de combustión*

No existen calderas de combustión, por lo que no se aplican medidas en este aspecto.

#### 4.2.6 Recursos naturales (RN) 1: consumo de agua potable. RN2 recuperación y reutilización de aguas grises

El consumo es muy reducido y esporádico por lo que no se han considerado actuaciones sobre la acumulación de agua caliente.

El edificio dispone de cisternas de doble descarga, que se consideran altamente eficientes, sin embargo se propone la sustitución de los grifos existentes por otros de bajo consumo temporizados.

La instalación de un sistema de recuperación y reutilización de aguas grises, tanto para riego como para inodoros, supone un importante ahorro de agua aumentando la sostenibilidad del edificio.

Estas medidas se traducen en un porcentaje de reducción de impacto del 23,92%.

#### 4.2.7 RN3 impacto de los materiales de construcción. Reutilización y uso de materiales reciclados. RN4 desmontaje, reutilización y reciclado al final del ciclo de vida. Aspectos sociales y Económicos (EC) 1: coste de construcción

No se puede actuar sobre la elección de materias de construcción, puesto que el caso que nos ocupa se trata de un edificio ya construido. Se recomienda tener en cuenta estos criterios para futuras reparaciones o ampliaciones del edificio, eligiendo en ese caso materiales con bajos impactos durante su proceso de extracción y/o reciclados, así como promover un diseño que pueda facilitar el desembalaje de sus componentes a fin de que puedan ser reutilizados o reciclados al fin de su ciclo de vida.

#### 4.2.8 Ambiente interior (AI) 1: eficiencia de la ventilación en las áreas de ventilación natural

No se puede actuar sobre las condiciones de diseño para favorecer la ventilación natural, sin embargo un uso eficiente de la misma puede suponer una reducción de la necesidad de ventilación forzada. Para airear las dependencias basta con abrir las ventanas unos 10 minutos, además el periodo de aireación ha de coincidir con las paradas del servicio de climatización.

#### 4.2.9 AI2 iluminación natural

Un óptimo aprovechamiento de las condiciones disponibles puede suponer un ahorro energético en luz artificial y una mejora del confort visual del personal, aunque no se puede actuar sobre las condiciones de diseño.

Debe tenerse en cuenta la importancia del color de los paramentos interiores: éstos deben ser de color blanco o muy claro para una reflectancia superior a 0,6. La transmitancia de los vidrios no debe ser inferior a 0,7. Se propone la modificación de las estancias que no cumplan estas especificaciones

#### 4.3 Valoración completa

La primera medida que se debería considerar para su instalación en el edificio INTROMAC es la referida al sistema de tecnología geotermia, que en combinación con las medidas correctoras propuestas sobre climatización y epidermis, son las que nos darán un mayor aumento de sostenibilidad. Con esta implantación, el porcentaje de reducción de impacto puede llegar a un valor del 33,79%.

Tras imponer dicha medida, si se acompaña con el aprovechamiento de la superficie libre de la parcela con zonas verdes y la instalación de sistemas eficientes de riego y aprovechamiento de agua potable, el porcentaje de reducción de impacto podría subir hasta un 41,42%.

Sustituyendo las lámparas existentes por otras de alta eficiencia y propiciando el mayor aprovechamiento de la luz natural, además de un ahorro elevado en energía eléctrica, la reducción de impacto se verá mejorada, llegando a un valor final del 52,57%.

En la Tabla 1 se presenta el porcentaje de reducción de impacto añadido sobre el porcentaje inicial que se consigue para cada criterio por separado. Haciendo una valoración sobre la reducción de impacto final obtenida, tenemos los resultados de la Tabla 2, que nos muestra qué porcentaje de reducción de impacto aporta sobre el total cada criterio.

Tabla 1: Porcentaje de reducción de impacto por criterios

Criterios	Reducción de impacto (%)
PE1	3,17
EA1	7,04
EA2	9,95
EA3	13,61
EA4	0
RN1	0,74
RN2	3,74
RN3/RN4/EC1	0
AI1/AI2	1,2

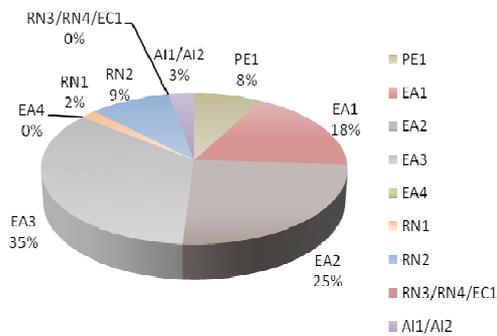
Tabla 2: Porcentaje de reducción de impacto aportado por cada criterio sobre el total

Criterios	Porcentaje aportado (%)
PE1	8
EA1	17,8
EA2	25,2
EA3	34,5
EA4	0
RN1	1,9
RN2	9,5

Criteria	Porcentaje aportado (%)
RN3/RN4/EC1	0
AI1/AI2	3
Total	100

Se observa que las medidas sobre producción de renovables son las que aportan mayor reducción de impacto ambiental (35%), seguidas de las medidas sobre demanda de energía eléctrica (25%) y de las medidas sobre consumo de energía no renovable (18%). En forma de gráfico:

Gráfico 1: Porcentaje de reducción de impacto aportado por cada criterio



Haciendo una evaluación global de la sostenibilidad del edificio en su estado actual y en la situación mejorada tras la aplicación de medidas correctoras, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3: Reducción de impacto inicial y final

Reducción de impacto inicial (%)	Reducción de impacto final (%)	Aumento en sostenibilidad conseguido (%)
20,18	52,57	32,39

El indicador de sostenibilidad del edificio ha pasado del 20 al 52% de reducción de impacto ambiental en el edificio INTROMAC, esto es, las medidas que se han propuesto, en su conjunto, elevan la reducción de impacto más de un 32% respecto a la situación inicial. La nota final obtenida, valorada en una escala del uno al cinco, es de 2,63 puntos obtenidos. Haciendo una valoración de los impactos ambientales se obtienen los resultados de la Tabla 4:

Tabla 4: Valoración de impactos

IMPACTOS	PESO	Impacto Reducido	Impacto Residual	Nota Relativa
1 Cambio Climático	27%	65,08%	34,92%	3,45
2 Numero de las radiaciones UV a nivel del suelo	2%	0,00%	100,00%	2,00
3 Pérdida de fertilidad	5%	55,03%	44,97%	2,75
4 Pérdida de vida acuática	6%	50,09%	49,91%	2,50
5 Emisión de compuestos foto-oxidantes	3%	96,38%	3,62%	4,00
6 Cambios en la biodiversidad	4%	100,00%	0,00%	5,00
7 Agotamiento de energía no renovable, energía primaria	2%	74,83%	25,17%	2,00
8 Agotamiento de recursos no renovable diferente de la energía primaria	9%	0,00%	100,00%	2,00
9 Agotamiento de aguas potables	10%	48,75%	51,25%	2,00
13 Generación de residuos no peligrosos	15%	0,00%	100,00%	2,00
16 Salud, bienestar y productividad para los usuarios	12%	15,00%	85,00%	1,00
19 Riesgo financiero e beneficios por los inversores-Coste del Ciclo de Vida	5%	47,70%	52,30%	2,00
Total	100%	52,57%	47,43%	2,63

Se observa que impactos como *cambios en la biodiversidad o agotamiento de energía no renovable, energía primaria*, inicialmente con un impacto reducido inicial del 25 y del 15% respectivamente, han sido reducidos en porcentajes elevados, por encima del 70%. Impactos como *cambio climático, pérdida de fertilidad, pérdida de vida acuática, agotamiento de aguas potables y riesgo financiero o beneficios por los inversores –coste del ciclo de vida*, se ven reducidos en porcentajes alrededor del 50%. Por debajo se encuentran los impactos de *generación de residuos no peligrosos y salud, bienestar y productividad para los usuarios*. Sobre los impactos *aumento de las radiaciones UV a nivel del suelo y agotamiento de recursos no renovables diferentes de la energía primaria* no se consigue ninguna reducción de impacto.

## 5 CONCLUSIONES

La primera conclusión importante que se extrae al realizar la simulación energética sobre el edificio de partida y analizar el porcentaje de reducción de impacto inicial, es que se encuentra en unas condiciones de sostenibilidad deficiente con unos consumos energéticos elevados, provocando un impacto ambiental negativo importante y siendo idóneo para un estudio exhaustivo de propuestas de mejora en sostenibilidad.

Con la evaluación de una serie de medidas y la realización de las correspondientes simulaciones sobre el edificio se observa que el porcentaje de reducción de impacto ambiental puede modificarse, siendo susceptible de un aumento porcentual de más de un 30%.

El análisis de los resultados generales arroja las siguientes conclusiones:

- La instalación de una bomba geotérmica elevaría el porcentaje de reducción de impacto del 20% inicial a un valor de casi el 34%.
- Acompañando la medida anterior con el acondicionamiento de la parcela, y la instalación de sistemas eficientes de riego y aprovechamiento de agua potable, el porcentaje de



reducción de impacto subiría por encima del 41%.

- Si además se consideran las medidas sobre iluminación, la reducción de impacto sube un 10% añadido.

El porcentaje final de reducción de impacto, el 52%, supone un valor de sostenibilidad satisfactorio tratándose de un edificio ya construido y sobre el que no se pueden introducir modificaciones en el diseño dada su no viabilidad técnica.

A modo de conclusión final se resuelve que existe una serie de medidas de fácil aplicabilidad que en su conjunto incrementan la sostenibilidad del edificio de forma importante sin perturbar el confort de los usuarios y con unos costes asociados amortizables a corto plazo. De forma paralela a dichas medidas el consumo energético anual del edificio se ve disminuido, reduciéndose así los costes relacionados con el consumo de energía.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Código Técnico de la Edificación, RD 314/2006, de 17 de marzo.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. En <http://www.coiim.es>

Directiva Europea 2009/28/CE

Directiva 2010/31/UE

Directiva Europea 76/93/CEE

ENERCLUB, *Eficiencia Energética en la Península Ibérica 2007*.

FENERCOM, *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*.

Fundación Vida Sostenible. En <http://www.vidasostenible.org>

Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMA), *Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramiento*, Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios.

Green Building Council España. En <http://www.gbce.es>

IDAE *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Resumen ejecutivo PAE4*.

IDAE. *Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable*.

MARM 2007, *Libro verde del Medio Ambiente Urbano*.

Observatorio de la Sostenibilidad de España. En <http://www.sostenibilidad-es.org>

Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RD 1027/2007 de 20 de Julio; RD 1826/2009 de 27 de noviembre)

*Construcción bioclimática*, Revista Sección. En <http://www.revistaseccion.com/portada/construccion-bioclimatica>

Servicios de Consultoría en Edificación Sostenible y Green Building. En

<http://www.asesoresgreenbuilding.com>

XERTATU, Responsabilidad Social de las Empresas en Bizkaia, *Guía para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad*.

A

A

## Impacto social y políticas de rehabilitación

## La formación para la rehabilitación energética de edificios: objetivos europeos para 2020.

González Martín Ana

Fundación Laboral de la Construcción, Madrid, España

### RESUMEN:

El objeto de esta ponencia es resumir los resultados del proyecto BUILD UP Skills Spain, que se enmarca dentro del programa Energía Inteligente Europa, cuyo objetivo principal es diseñar estrategias que permitan obtener suficiente mano de obra cualificada en eficiencia energética y energías renovables, dentro del sector de la edificación, para el año 2020.

Recientemente ha concluido la primera fase: un completo estudio de campo y analítico para determinar el “estado del arte” de la formación y eficiencia energética en España.

Actualmente, se trabaja en la creación de una plataforma nacional en la que participarán distintos los agentes relacionados con el sector y cuyo fin es establecer y acordar una hoja de ruta para desarrollar planes concretos de formación, con identificación de necesidades y prioridades, acciones de respaldo institucional y actividades de intercambio Europeo para alcanzar los objetivos de sostenibilidad energética para 2020.

La Fundación Laboral de la Construcción, promotora de la iniciativa, desarrolla el proyecto en colaboración con:

- Aidico (Instituto Tecnológico de la Construcción).
- Incual (Instituto Nacional de las Cualificaciones).
- Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda. Subdirección General de Innovación y Calidad de la Edificación.

### 1. INTRODUCCIÓN

*BUILD UP Skills Spain* es un proyecto que se enmarca dentro de la iniciativa europea *BUILD UP Skills*, incluida en el programa de la Comisión Europea Intelligent Energy Europe, cuyo objetivo principal es cualificar a los trabajadores del sector de la edificación en eficiencia energética y energías renovables (en adelante EE y EERR).

En este sentido, se pretende que la convocatoria *BUILD UP Skills* sirva para que cada país miembro disponga de suficiente mano de obra cualificada en los ámbitos citados para el año 2020. Por lo tanto y para conseguirlo, existe un proyecto por cada uno de los países pertenecientes a la Unión Europea.

El objeto fundamental del proyecto es iniciar procesos nacionales de reflexión, que permitan la implicación de todos los agentes interesados: empresas, trabajadores, colegios empresariales y otros entes relacionados con el sector; con el fin de identificar y cuantificar la necesidad de mano de obra cualificada en este ámbito.

Así, se tratarán de establecer y acordar hojas de ruta sobre cualificaciones nacionales para alcanzar los objetivos de sostenibilidad energética para el 2020 y desarrollar planes concretos de formación,

con identificación de necesidades y prioridades, que se elaborarán sobre las hojas de ruta establecidas.

En concreto, los principales elementos del proyecto son:

- Estudio del *status quo*, creación de una plataforma nacional de cualificaciones, establecimiento de la hoja de ruta, acciones de respaldo institucional y actividades de intercambio Europeo (objeto de convocatoria 2011).
- Puesta en marcha de la hoja de ruta (objeto de posteriores convocatorias).

El proyecto se inició en noviembre de 2011 y tiene una duración de 18 meses.

### 2. ANÁLISIS DEL STATUS QUO

Tras la constitución del consorcio que participa en este proyecto, la primera fase consistió en un estudio del estado del arte en España.

En esta fase se realizó un examen analítico apoyado y contrastado con un estudio de campo para determinar el estado actual de la formación y la eficiencia energética, articulado en torno a varios temas principales tales como: el estado actual y futuro del sector, la formación existente tanto reglada como no

reglada, los oficios y las competencias más demandadas en materia de eficiencia energética y energías renovables en las obras de edificación, las barreras y lagunas competenciales, etc.



La metodología utilizada en el análisis del status quo combina la consulta de fuentes primarias y secundarias.

Tras el análisis documental y experimental se realizó una validación técnica con los resultados obtenidos mediante un panel de expertos, en el que los expertos mostraron su grado de acuerdo con las conclusiones obtenidas. Finalmente, se desarrolló un estudio prospectivo basado en la ejecución de las fases anteriores, cuyo objetivo fue valorar el comportamiento futuro de diversos indicadores.

Los resultados de dicho estudio se han concretado en tres documentos:

- Reporte del análisis del “status quo”.
- Resumen ejecutivo del “status quo”.
- Informe sobre el análisis prospectivo “Horizonte 2020”.

### 3. PRINCIPALES RESULTADOS DEL ANÁLISIS. ESTADO ACTUAL DEL SECTOR

Respecto a la situación actual del sector cabe destacar cómo la incidencia de ciertos factores comúnmente descritos como factores de demanda, están influyendo de forma negativa en el sector de la edificación. Dichos factores están interrelacionados y se influyen mutuamente.



Disminución de los factores de demanda

Uno de los principales problemas para la recuperación del sector es el elevado *stock* de viviendas existente en la edificación residencial, que obstaculiza tanto la construcción de más viviendas como las actividades de rehabilitación.

Se puede estimar que el parque edificado español cuenta en la actualidad con más de 9,64 millones de edificios de uso principalmente residencial. Previsiblemente dicho parque no aumentará significativamente en los próximos años debido a la crisis económica y al limitado crecimiento de la población previsto en España.

La mayor parte de estos edificios son deficientes desde el punto de vista del consumo energético y generan una cantidad elevada de emisiones de CO<sub>2</sub>. Solo los edificios construidos a partir de 2007 cuentan con mejores prestaciones en cuanto a su eficiencia energética y, sin embargo, suponen un porcentaje muy pequeño dado que la actividad del sector de la edificación sufrió una contracción sin precedentes a partir de este año.

A pesar de ello, las principales medidas de aislamiento térmico que han adoptado los hogares españoles son, únicamente, la instalación de persianas o contraventanas (94,0% de las viviendas), el doble cristal en las ventanas (39,3%), el toldo (23,0%), los dispositivos de rotura de puente térmico (11,4%) y el montaje de cristales tintados o protectores solares (4,1%), según los datos de IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía).

A juicio de los expertos consultados, la ausencia de incentivos, los fallos en la gestión administrativa, la falta de control del cumplimiento de la normativa o la nula información a los usuarios y propietarios de los edificios son algunas de las barreras que obstaculizan la rehabilitación energética.

### 4. TENDENCIAS QUE SE EMPIEZAN A APRECIAR

A pesar de que el número de activos en el sector no ha dejado de disminuir desde el año 2007, junto con su contribución al PIB español y al número de personas que ocupa, se observan ciertos aspectos positivos en relación con la edificación como sector productivo.

Por un lado, en la producción de materiales se observa un salto cualitativo importante: se ha potenciado el I+D+I para el desarrollo de nuevos materiales

adaptados a la eficiencia energética, aunque sobre todo, el proveedor de material ha incorporado los productos de las renovables dentro de su catálogo de productos. Para ello, han tenido que renovar todos sus conocimientos técnicos y, en muchos casos, incorporar en su plantilla un técnico o gestor energético de mantenimiento.

Asimismo, se espera que el cambio normativo suponga una necesaria mejora de la cualificación de los profesionales del sector, ya que se producirá demanda de mano de obra especializada y, aunque a día de hoy no supone una ventaja competitiva para las empresas, lo será si se impulsa la EE y el uso de las EERR en la edificación.

Por el lado de la demanda, algunos sectores están apostando por la EE y EERR, sobre todo, la industria, la hostelería (hoteles) y el comercio (alimentación).

Asimismo cabe destacar que aunque el consumo del sector residencial está basado en dos terceras partes en combustibles, mayoritariamente productos petrolíferos y gas natural, las energías renovables adquieren cada vez más peso (en general), con una aportación a la demanda térmica aproximada a la de los productos petrolíferos en ciertas áreas de nuestra geografía.

## 5. LA FORMACIÓN DE LOS TRABAJADORES

En el sector existe una clara polarización de los trabajadores: por un lado, un pequeño grupo de trabajadores altamente cualificados y, por otro, una masa salarial sin cualificar.

En cuanto a los segundos no hay suficiente oferta formativa y cuando la hay no es la adecuada. Los primeros, sin embargo, conocen sus necesidades y saben dónde buscar la oferta formativa que más les conviene.

Por ello, es preciso motivar a los trabajadores de nivel 1 y 2 (técnicos auxiliares y técnicos de grado medio), es decir, aquellos con baja cualificación, para estimular la demanda de formación.

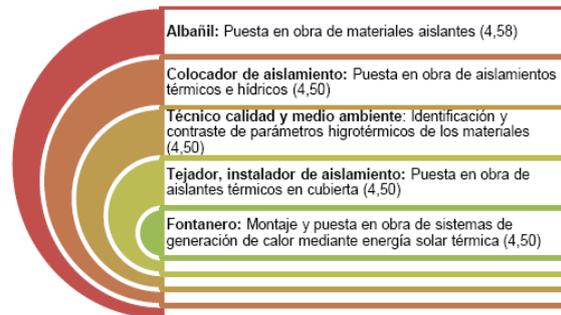
Asimismo, la Formación Profesional existente no aborda todas las competencias para la implementación de la eficiencia energética y energías renovables, principalmente porque no cubre todos los oficios de las obras de edificación relativos a EE y EERR.

En cuanto a la formación reglada en materia de eficiencia energética, cabe destacar que está dirigida hacia perfiles altos, de nivel 3 y 4. No existe la suficiente formación en esta materia que se dirija a los niveles 1 y 2, si bien los expertos consideran que no es necesaria una formación técnica específica amplia, sino que, posiblemente, sea conveniente proporcionar una visión más general focalizada en la aplicación a la actividad que desempeñan.

### *Lagunas competenciales entre la actual situación, necesidades y barreras*

Según los expertos consultados en el proyecto, son tres los principales puntos a observar para la detección de las nuevas competencias: la legislación, la clasificación de actividades económicas y de ocupaciones y las empresas innovadoras.

Para la determinación de las competencias emergentes, se pidió a los expertos que en base a su opinión y teniendo en cuenta los criterios que marca el CTE, trataran de identificar jerárquicamente las distintas necesidades competenciales de las ocupaciones existentes en las distintas fases de obra. La siguiente figura expresa el resultado de la consulta:



Del análisis de campo se obtuvo que el porcentaje de trabajadores que actualmente podría estar vinculado a la eficiencia energética y el uso de energías renovables, oscilará –en el mejor de los escenarios– entre el 25 y el 35%, aunque esta proporción podría incrementarse en un futuro si hubiese financiación y vigilancia sobre el efectivo cumplimiento de la norma.

Asimismo, en el sector de la construcción se identifica un importante déficit formativo si se compara con otros sectores. En general, las cifras son bajas si se tiene en cuenta que se prevé que para el año 2020 existirá en España una fuerza trabajadora de 20.309.000 personas, un 50% de las cuales deberán poseer un nivel medio de cualificación.

Como dato adicional, es preciso señalar que la edificación ha visto reducida el volumen de mano de obra afiliada a la Seguridad Social, especialmente en construcción de cubiertas y construcción de edificios residenciales con descensos superiores al 20%. Sin embargo, las instalaciones (eléctricas, fontanería, calefacción, aire acondicionado y carpintería), en las que los trabajadores poseen un perfil con una cualificación mayor, han soportado un ajuste menor (10%).

En cuanto a las barreras, son cuatro los bloques identificados para la cualificación de los trabajadores que podrían dificultar el logro de los objetivos 2020 en el sector de la edificación: económicas, administrativas, estructurales y culturales y educacionales.



## 6. INFORME SOBRE EL ANÁLISIS PROSPECTIVO “HORIZONTE 2020”

El objetivo principal de este informe es detectar si existen amenazas, de qué tipo y de qué magnitud, o por el contrario evidenciar las potenciales oportunidades para, de este modo, determinar las posibles alternativas de cara a lograr los objetivos energéticos previstos para 2020.

En cuanto a la metodología utilizada, para realizar el análisis prospectivo, se plantó la ejecución de un panel Delphi electrónico, formado por especialistas de las diferentes áreas relacionadas con el objeto de estudio: edificación, formación, cualificaciones, eficiencia energética y energías renovables.

Las conclusiones principales a las que se llegaron fueron las siguientes:

- La implementación de soluciones energéticas eficientes en la edificación no parece que vaya a contribuir de forma decisiva a la reducción de un 20% en las emisiones de efecto

invernadero, ni tampoco a alcanzar el 20% de producción energética con EERR; aunque sí que servirá para lograr un ahorro de un 20% del consumo de energía en el año 2020.

- La edificación de obra nueva se encuentra frenada por el actual contexto de crisis económica, por lo que la alternativa a contribuir a los objetivos del año 2020 pasa por la rehabilitación energética del parque residencial ya edificado.
- La implantación de medidas y soluciones energéticas en el futuro inmediato, dependerá, en gran medida, de la estrategia pública que se diseñe para impulsar estas medidas. Las subvenciones a la instalación y las ayudas fiscales a la actividad serán dos medidas que de producirse, tendrían un gran impacto en la edificación.
- Aunque no existe consenso respecto a la influencia positiva de la I+D+i en la mejora de los sistemas eficientes en la edificación, sí parece comúnmente aceptado que la innovación y la evolución tecnológica en el futuro requerirá de nuevos métodos de trabajo y de una mayor interacción entre los profesionales del sector.

En cuanto a las amenazas o barreras detectadas, cabe destacar las siguientes:

- El desarrollo de la eficiencia energética en la edificación se encuentra en el presente con importantes barreras, entre las que destaca el contexto de crisis económica y la descoordinación entre administraciones y agentes, que impide un adecuado crecimiento del sector en esta área.

La aplicación de una serie de medidas que permitan superar las barreras al desarrollo de la eficiencia energética en la edificación, servirá para acelerar la consecución de los objetivos 20/20/20 y contribuirá a incrementar la actividad del sector. Dos medidas se proponen como fundamentales para favorecer este crecimiento: aumentar la sensibilización de los usuarios de la edificación, mediante campañas de divulgación de los beneficios de utilizar una edificación energéticamente eficiente a corto, medio y largo plazo; y la obligatoriedad en la normativa energética y la supervisión para su cumplimiento.

- Además de las barreras que afectan a la propia actividad de edificación en eficiencia energética, existen barreras a la formación en este campo de trabajo. El análisis prospectivo

indica que algunas de estas barreras para la formación tendrán continuidad en el futuro, las más destacadas son: descoordinación entre agentes y administración, falta de tiempo y recursos, coyuntura económica y desconocimiento de la oferta formativa.

- Aunque con menor influencia, también se detecta la baja cualificación de los trabajadores como barrera al desarrollo y la formación de la eficiencia energética. El análisis prospectivo concluye que la implantación de sistemas para acreditar la cualificación de los trabajadores servirá como elemento para la superación de esta barrera.

En cuanto a la evolución de los sistemas de formación y de la oferta formativa existente, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Respecto a la oferta formativa existente y futura, los recursos formativos que ya existen no son del todo suficientes, ni su contenido es del todo aplicable para cubrir las necesidades de formación en EE y EERR. La evolución prevista consiste en que la oferta y la demanda de formación en este ámbito aumente en los próximos tres años al ritmo de desarrollo de la actividad de edificación en eficiencia energética.
- No se detecta que sea un sistema de formación específico el que deba canalizar la formación en EE y EERR sino que la previsión a futuro es que los tres tipos de formación se complementen en la mejora de la cualificación, con una posible especialización en función del nivel de competencias a adquirir.
- La formación continua y los certificados de profesionalidad proporcionarán una mayor adaptabilidad a las necesidades del mercado en EE y EERR, lo que implicará una potencial labor formadora de rápida respuesta y adaptada a técnicas innovadoras.
- La acreditación de la cualificación, como ya hemos observado anteriormente, constituye una alternativa de futuro a la superación de barreras, al mismo tiempo que supone un valor añadido al curriculum del trabajador y un factor de atracción a la contratación, por la garantía competencial que supone para las empresas.

## 7. PLATAFORMA NACIONAL DE CUALIFICACIONES Y ESTABLECIMIENTO DE LA HOJA DE RUTA.

En el momento actual, el proyecto se encuentra en la fase de creación de una plataforma nacional. Esta fase tiene como objetivo constituir una comunidad de trabajo colaborativo *on-line* sobre formación en eficiencia energética en construcción y otros aspectos relacionados con el tema, en la que participarán y colaborarán todas aquellas entidades interesadas en temas energéticos, de construcción y del sector educativo/formativo.

Asimismo, la plataforma será el punto de encuentro e interacción para el impulso y la consolidación de la fase de respaldo al proyecto y servirá como base para la creación de una hoja de ruta sobre las medidas a tomar para la cualificación de los trabajadores del sector así como el plan de acción para su implementación.

La información sobre la creación y las actividades de la plataforma, así como de la marcha del proyecto en general se puede consultar en la web: <http://spain.buildupskills.eu/en>

## Propuesta de Rehabilitación de una torre de viviendas construida en la década de los cincuenta en Valladolid, mediante Sistemas Pasivos y Activos para lograr un Consumo Energético “Casi Nulo”.

R De La Fuente, L. Llorente, G. Martín,  
 Valladolid, España

M. S. Camino  
 Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid, Valladolid, España

### RESUMEN

El objetivo de la Arquitectura en consumo energético es diseñar edificios con una demanda energética muy baja o casi nula, que pueda ser cubierta por fuentes de energía renovables. Este objetivo no solamente se debería aplicar a los edificios nuevos como señala la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo, sino también a los edificios existentes.

El objetivo principal de esta investigación es analizar una propuesta de intervención en la envolvente de una torre del barrio “4 de Marzo” de Valladolid, que por su tipología, su aceptable distribución y estado de conservación hace que sea rentable su rehabilitación energética, alargando su vida útil en condiciones de “consumo energético casi nulo”.

Esta propuesta de rehabilitación se ha definido teniendo en cuenta:

- la integración arquitectónica de los sistemas elegidos,
- conservar, en lo posible, la imagen cerámica característica del barrio,
- y que se pueda llevar a cabo sin que los inquilinos tengan que abandonar sus viviendas por lo cual la propuesta se refiere a actuaciones en la envolvente desde el exterior.

La actuación se centra en dos aspectos:

- en reducir la demanda de energía de refrigeración/calefacción/ACS, mediante medidas pasivas actuando en la envolvente,
- en el aprovechamiento de la energía solar, mediante paneles híbridos hasta conseguir igualar o incrementar la producción de energía respecto de la demanda.

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Contexto del estudio realizado.

Valladolid era en los primeros años de la década de los años 50 una ciudad con escaso crecimiento demográfico hasta el desarrollo industrial que se produjo a mediados de la década cuando se implantan diversas empresas como: FASA, SAVA, ENASA... Con este desarrollo industrial empiezan a llegar familias procedentes de áreas rurales en busca de trabajo en estas empresas y no hay viviendas como para satisfacer la demanda.

En este contexto social es en el que se enmarca las construcciones de “polígonos oficiales” de viviendas en esta década. Al norte del Casco Histórico de la ciudad se construyeron los polígonos de San Pedro Regalado, Leones de Castilla, XXV Años de Paz, 18 de julio y Solís Ruiz, sumando casi 3.000 viviendas. En la zona sur del Casco Histórico los polígonos del 4 de Marzo, José Antonio Primo de Rivera y también

diversos bloques de Casas Militares, con casi otras 3.000 viviendas, número similar a la zona norte, pero repartidas en solo tres barrios, destacando la magnitud del polígono 4 de Marzo, que con sus casi 2.000 viviendas, el de mayor número de viviendas de todos los construidos en la misma época.

De entre estos polígonos se ha elegido para hacer una propuesta de rehabilitación desde el punto de vista del consumo energético, al de mayor número de viviendas construidas, el polígono del “4 de Marzo”.

En este polígono se levantarán dos tipologías diferentes de edificios:

- las torres, aisladas, con viviendas de mayor superficie, que se destinaron a funcionarios de titulación superior y a oficiales del ejército.
- los bloques, alineados o en manzanas, de viviendas que se destinaron a albergar a funcionarios subalternos y modestos empleados de los servicios.



Figura 1. Imagen de una calle entre bloques del “4 de marzo”.

En lo referente a las características constructivas de las edificaciones, que son similares al resto de polígonos de promoción oficial construidos en la época, nos encontramos con: estructuras de muros de carga de 1 y ½ asta de ladrillo cara vista, en los bloques y estructura de pilares de hormigón con fachada de dos hojas ½ asta de ladrillo en las torres, de ladrillo cara vista la exterior, cubiertas a cuatro aguas de teja curva cerámica con cornisa de hormigón armado en los bloques y en las torres, en estas últimas también hay una zona de cubierta plana transitable y carpinterías de madera con vidrio sencillo, con hojas abatibles y huecos recercados con piezas prefabricadas de hormigón.

No hay aislamiento térmico ni cámara de aire en las fachadas y en las cubiertas hay una cámara de aire, no ventilada, por la ejecución de la formación de pendiente con tableros cerámicos sobre tabiques aligerados, sin material aislante.

Estas viviendas se construyeron antes de la entrada en vigor de la “NBE CT-79 Condiciones térmicas de los edificios” que es la primera norma que señala los valores máximos de los coeficientes de transmisión térmica de los cerramientos.

Para los cerramientos de las viviendas “de promoción pública” hay normativas de construcción anteriores a esta en las que se fijan valores límite de transmitancia, para viviendas. En el año 1954 se aprueba la Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de “viviendas de renta limitada” y en 1955, la orden de 12 de julio de 1955 sobre las Ordenanzas Técnicas y normas constructivas para viviendas de renta limitada. En la parte sexta relativa a normas sanitarias, la ordenanza 8ª se refiere al “aislamiento térmico”, divide España en dos zonas climáticas y fija el valor máximo de conductividad para muros y cubiertas. En el primer grupo (en el que está Valladolid) el de muros es 1,4 y el de las cubiertas 1,8, y si las cubiertas son planas o hay buhardillas habitables, el valor de la conductividad debe ser inferior a 1,4. Esto se conseguirá, en los muros, “por los espesores suficientes y en las cubiertas, por la elección de material de cubri-

ción y elementos aislantes”. Las soluciones constructivas que se adoptaron se basaron en el espesor en el caso de los muros de fachada con ladrillo perforado o macizo al exterior y ladrillo hueco al interior, y en cámaras de aire en cubiertas.

En cuanto a la población que ocupa el 4 de Marzo, actualmente, los mayores de 65 años suponen del 16 al 20% (García. 2000). Desde 1986 hasta 1996 la población disminuyó en el este barrio un 13,01% (García. 2000), y ha sido una tendencia constante de abandono de estas barriadas por los jóvenes en los últimos años. No obstante, el panorama actual y la mínima realización de obra nueva, nos abre los ojos ante lo absurdo de la situación, poniendo en valor estas viviendas, con buena distribución, buen estado de conservación, con relativa centralidad, en un barrio dotado de gran número de servicios. Por ello una rehabilitación que tuviera en cuenta la eficiencia energética sería una opción muy interesante para revitalizar la vida del barrio. Es por esta razón, y por ser un barrio representativo y un posible referente a otras zonas de similares características, se ha optado por realizar el estudio de rehabilitación energética sobre estas viviendas.

## 1.2 Ejemplo de rehabilitaciones energéticas realizadas en Valladolid.

Una de las intervenciones más recientes que se han llevado a cabo en Valladolid, desde el punto de vista del consumo de energía en calefactar un edificio, ha sido la rehabilitación de los polígonos “18 de Julio” y “XXV Años de Paz” en el Barrio de la Rondilla.



Figura 2. Fotografía del barrio de La Rondilla de Santa Teresa con edificios de ladrillo visto, sin rehabilitar, y edificios rehabilitados con la fachada enfoscada en diversos colores.

La solución constructiva adoptada en este caso ha sido de un trasdosado exterior con material aislante de 4cm de espesor y capa de acabado de mortero. La propuesta incluía el mantener la carpintería existente a haces interiores y reforzar con otra ventana coloca-

da a haces exteriores, pero en algunos casos no se llegó a colocar esta doble carpintería. Si bien la solución ha eliminado la mayor parte de los puentes térmicos existen y mejorado el aislamiento térmico de las fachadas la solución es evidentemente mejorable.

### 1.3 Objetivos

El objetivo de esta investigación consiste en estudiar una propuesta de rehabilitación energética con sistemas pasivos y activos en una torre del barrio "4 de Marzo" de forma que se pueda conseguir que el consumo energético del edificio sea "casi nulo".

Estas actuaciones de rehabilitación energética se elegirán de manera que se puedan llevar a cabo mientras que los inquilinos siguen habitando en sus viviendas, de forma que no haya que realojarlos. Además, se buscará una solución que permita mantener, en la medida de lo posible, la imagen de fachadas de cerámica de las edificaciones integrando los sistemas utilizados.

El mayor consumo que tiene este edificio es la climatización (calefacción). Para poder reducirlo se limitará la demanda de energía mediante medidas pasivas, actuando en su envolvente, fachadas, cubiertas, suelos y huecos.

Posteriormente, utilizando la energía solar se estudiará la instalación de paneles híbridos, hasta conseguir igualar o incrementar la producción de energía respecto de la demanda.

### 1.4 Síntesis de la metodología empleada

De forma resumida los pasos seguidos para realizar la rehabilitación son:

1- Obtener información del edificio a rehabilitar mediante documentación: planos, memoria y presupuesto del proyecto, y trabajo de campo: sistemas constructivos de cerramientos y climatización y otros relativos a la localización del edificio: clima, estudio de soleamiento, estudio de radiación solar y sombras.

2- Definir una propuesta de actuación mediante sistemas pasivos con la inclusión de una capa de aislamiento en los cerramientos, para satisfacer los valores de transmitancia que señala la "modificación del HE1" que se ha publicado.

3- Realizar un perfil informatizado de la demanda energética del edificio y sus emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante el programa CERMA, que nos permitirá comparar los datos del estado actual y reformado.

4- Estudiar la radiación solar, el coeficiente de sombras efectivas de cada fachada, el soleamiento y las horas exposición solar de la envolvente, se analizarán con el programa ECOTECT ANALISYS (versión de

prueba libre). El cálculo de la producción energética de sistemas fotovoltaicos mediante la versión libre del programa PVSYSY. La extrapolación y balance de la energía térmica producida por los paneles híbridos mediante tabla de datos de energía en función de la radiación.

5- Definir los sistemas y colocación de paneles fotovoltaicos e híbridos para satisfacer la demanda de energía del edificio en el estado reformado de los cerramientos.

## 2 ESTUDIO REALIZADO

### 2.1 Elección del edificio objeto de estudio.

El Barrio "4 de Marzo" está constituido por 1947 viviendas, cuatro grupos escolares, iglesia con casa parroquial y 23 locales comerciales. Todo el conjunto ocupa una superficie total de 164.611,52 m<sup>2</sup>, de los cuales se destinan a superficie construida de viviendas 36.518,21 m<sup>2</sup>.

Dentro de este elenco de construcciones nos encontramos con dos tipologías diferentes de vivienda, tipología de torre de B+10 y tipología de bloque de vivienda de B+5.

En la presente investigación se ha optado por estudiar únicamente la tipología de torre. El motivo es claro, puesto que, después de realizar un estudio aproximado de las horas de sol que recibía cada edificio de viviendas, se llega a la conclusión, bastante obvia por otro lado, que es la tipología de torre es la que más radiación solar va a recibir, no solo porque la superficie de su envolvente sea mayor al resto de las tipologías, sino que, además, ésta es la que se presenta libre de obstáculos, puesto que duplica su altura con respecto a las edificaciones colindantes.



Figura 3. Estudio de soleamiento del barrio 4 de Marzo. (Obtenida con ECOTECT ANALISYS versión de prueba)

Las torres son iguales excepto en la situación y orientación. Se va a analizar en primer lugar la torre para la que se obtienen mejores resultados con los sistemas activos, según un estudio previo realizado, la torre 1, y luego se compararan los con resultados de la otra torre seleccionada, la torre 2.



Figura 4: Situación de las torres objeto de estudio objeto de estudio.

Las torres se distribuyen en planta baja con dos locales comerciales y portal de acceso al edificio, 10 plantas de viviendas, con dos viviendas simétricas por planta y un pequeño torreón en planta de terraza. El bloque ocupa una superficie en planta de 280m<sup>2</sup> construidos. Cada vivienda tiene una superficie total construida de 106,29m<sup>2</sup> y consta de: cocina, comedor-estar, despacho, cuatro dormitorios, cuarto de baño, aseo de servicio, despensa, una pequeña terraza-tendedero y balcones a fachada. En total, hay seis torres con 120 viviendas.



Figura 5: Alzados y plantas de la torre objeto de estudio (Dibujos de los autores a partir de la documentación del Proyecto del Archivo Histórico Provincial de Valladolid)

Las principales características constructivas del edificio, según la documentación del proyecto de ejecución de las viviendas de promoción pública del barrio "4 de Marzo" (Archivo Histórico Provincial de Valladolid), son las siguientes:

- Cimentación del edificio de zapatas aisladas de hormigón ciclópeo de 150 kg de cemento.

- Estructura de pilares de hormigón armado y forjado de ladrillo armado y viguetas pretensadas.
  - Cerramientos al exterior en planta baja, a modo de zócalo de todo el edificio, de muro de piedra caliza trasdosada con 1 asta de galletera. En el resto de las plantas doble muro de 1/2 asta de caravista al exterior y galletera al interior y en las zonas de terraza murete de 1/2 asta de caravista. En el interior del edificio, para separar las zonas comunes de los locales comerciales en planta baja se usará muro de 1/2 asta de caravista trasdosado con 1/2 asta de hueco doble, y en las plantas superiores este muro de separación con las viviendas es de de 1/2 asta trasdosado con panderete de hueco sencillo.
  - Carpintería de madera con vidrio sencillo y vier-teaguas de hormigón armado.
  - Cubierta plana en terraza de baldosín catalán sobre la que se levanta el ático con una cubierta inclinada a cuatro aguas de teja curva a canal y cobija, con cornisa de hormigón armado.
- En cuanto a las instalaciones, no hay una solución centralizada de sistemas de acondicionamiento térmico, sino que cada vivienda incorpora soluciones puntuales, siendo en su mayoría los sistemas de calefacción individuales conectados a la red urbana de gas natural, en la actualidad.

## 2.2 Valoración del consumo energético del estado actual.

En primer lugar se han calculado los valores de transmitancia de los cerramientos del edificio según el sistema de cálculo Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HE "Ahorro de Energía". Estos valores de transmitancia de los paramentos de la envolvente están por encima de los valores límites correspondientes a la zona D2, Valladolid.

La calificación energética obtenida por el edificio en estado actual según el programa CERMA, es inferior a la E. En la figura 6, se aprecian las emisiones de CO<sub>2</sub> y pérdidas a través de los cerramientos del edificio. En calefacción hay grandes pérdidas y la mayor parte de éstas y de sus emisiones de CO<sub>2</sub> se producen a través de los cerramientos opacos (43,35%). También son importantes las pérdidas producidas a través de los huecos (15,53%), y los puentes térmicos (13,07%).

En cuanto a la demanda sensible de energía del edificio en la actualidad, realizados los cálculos con la aplicación CERMA se obtienen unos valores de: 181,6 KWh/m<sup>2</sup>año para calefacción, 4,4 KWh/m<sup>2</sup>año para refrigeración y 13,3 KWh/m<sup>2</sup>año para ACS, que son muy elevados. En cuanto a las emisiones totales kg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> los valores son: 22,07 cerramientos opacos, 8,05 cerramientos semitransparentes, 11,4 ventilación, 6,78 puentes térmicos 3,08 ACS y 0,33 carga interna.

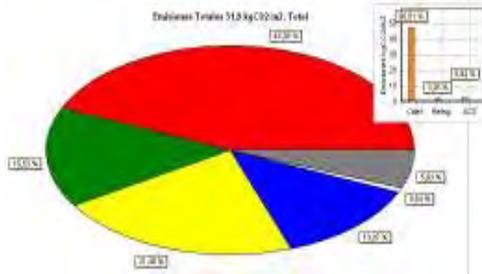


Figura 6: Pérdidas a través de los cerramientos en el estado actual calculados con CERMA.

### 2.3 Análisis de soleamiento del estado actual.

En primer lugar se va a estudiar la torre 1 por ser la más idónea para la solución que se propone, para luego comparar los datos con los de la torre 2.

En cuanto al estudio realizado sobre la captación solar y el sombreado del edificio, no toda la envolvente del edificio se va a comportar de la misma forma a la hora de producir energía. La mayor radiación es recibida, como es lógico, en la cubierta, concretamente en la vertiente sur de la misma, con una incidencia de 614,38 Wh/m<sup>2</sup>, sin pérdidas por sombras. Por tanto, será una de las superficies decisivas a la hora de colocar un sistema activo.

Dentro de la envolvente vertical es en la fachada sur donde debemos centrar nuestra atención primordial, con una radiación media de 350 Wh/m<sup>2</sup> y un sombreado del 16%, se convierte en el segundo candidato ideal para la obtención de energía procedente del sol.

En tercer lugar, las fachadas oeste y este, con una incidencia de radiación solar de 315 y 170 Wh/m<sup>2</sup>, y un sombreado del 59 y 51%, respectivamente, pueden ser consideradas susceptibles de recibir algún sistema de producción de energía de manera puntual.

Cabe destacar que aunque el porcentaje de sombras en la fachada oeste es mayor que en la este, debido a la posición y altura del sol durante el año, la radiación que recibe es bastante mayor y constante en toda la superficie del paramento. Este hecho tiene su explicación en que, el edificio escogido sobre el que se está realizando el estudio, al oeste no tiene objetos cercanos que interfieran en la llegada de radiación solar. Por consiguiente, resulta una muy buena oportunidad que se deberá tener en cuenta en la colocación de los sistemas activos de producción de energía, incluso la radiación incidente en el paramento oeste supera a la radiación que recibe la fachada sur en su zona inferior.

Por último, en lo que respecta a la envolvente norte, con una radiación media de 130 Wh/m<sup>2</sup> y un sombreado 94%, resulta absurdo plantear cualquier tipo de sistema de producción de energía solar, puesto que, por muy altas prestaciones que éste ofreciese, no resultaría eficiente.

Orientación	Radiación Wh/m <sup>2</sup>	Sombreamiento %
Sur	350	16
Oeste	315	59
Este	170	51
Norte	130	94

Tabla 1. Radiación y sombreado de las fachadas según la orientación

### 2.4 Actuaciones llevadas a cabo en la rehabilitación

#### 2.4.1 Mecanismos de rehabilitación Pasivos

Los puntos principales de la actuación se proponen con el fin de obtener unos valores de transmitancia de los cerramientos inferiores o iguales a los que se fijan en “la modificación del Documento Básico DB-HE”, en su apéndice E2, y se centrarán en los siguientes aspectos:

- Incrementar el aislamiento térmico de las fachadas disponiendo 10 cms de material aislante por el exterior y una hoja que protege al material aislante formada por un sistema de fachadas ventiladas con placas cerámicas con una estructura auxiliar fijada a la hoja de fábrica de ladrillo. Ello proporcionaría, además, una mayor impermeabilidad a las fachadas y eliminaría los puentes térmicos de los cantos de forjado, pilares y contorno de huecos. En la planta baja la hoja exterior sería de chapas de piedra caliza para mantener la imagen del edificio.

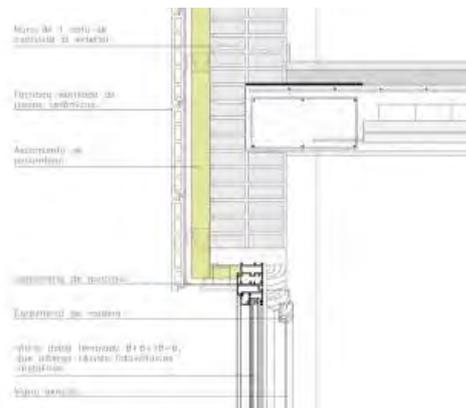


Figura 7: Detalle de rehabilitación de fachada.

- Rehabilitación de la cubierta inclinada y mejora de su aislamiento térmico, eliminado la formación de pendiente actual y sustituyéndola por una estructura metálica de formación de pendiente, de forma que se pueda colocar una capa de 14 cm aislamiento continua sobre el forjado de la última planta y conseguir una cámara muy ventilada para mejorar el acondicionamiento en verano. En la cubierta plana se colocará una capa de 14 cm aislamiento y se ejecutará un pavimento elevado sobre plots.

- Incorporación de 10cm de aislamiento sobre la solera (la planta baja será necesario desalojarla para

A

ejecutar la solución de aislamiento sobre la solera y bajo el pavimento).

- Conservación de carpinterías de madera existentes, y colocación de una carpintería de aluminio con ruptura de puente térmico mayor de 20 mm y
- Colocación de un sistema de calefacción individual de gas natural en las viviendas donde aún no se haya instalado este sistema y sustitución de las calderas existentes de bajo rendimiento por otras de mayor rendimiento.

### 2.4.2. Mecanismos de rehabilitación Activos

La elección de los sistemas de producción energética se hace desde el punto de vista de la integración arquitectónica:

- Se procederá a la sustitución de las actuales protecciones de los balcones por una estructura metálica que soporte paneles híbridos y que sirva de protección. Esta actuación, en el edificio escogido para el estudio, resulta una buena oportunidad puesto que la mayor superficie de terraza posee una orientación sur. El módulo fotovoltaico utilizado como parte frontal de los paneles híbridos que formaran los balcones es el módulo YE6180M Black, fabricado por la empresa Yohkon Energía. Este mismo sistema se coloca formando una fachada ventilada al oeste y al sur, aprovechando la subestructura de fachada ventilada propuesta como sistema pasivo.

- En el paño sur de la cubierta se procede a la colocación del panel EPVL 144, de la casa Uni-Solar. Se trata de un panel flexible de fácil colocación sobre las tejas cerámicas, integrándose completamente en la cubierta del edificio.

Para aumentar el rendimiento de este sistema se plantea una modificación de cubierta, cambiar la pendiente de la cubierta para conseguir un faldón al sur con una inclinación de ángulo óptimo de 30°, y a su vez aumentar la superficie del faldón con un desplazamiento de la cumbre a 2/3 del sur.

### 2.5 Análisis y evaluación de las propuestas de mejora y resultados obtenidos

En cuanto a las transmitancias (U) de cada uno de los paramentos de la envolvente, vemos en la tabla 1 la gran diferencia entre los valores del estado actual y los obtenidos en el estado reformado.

U (w/m <sup>2</sup> .k)	Estado actual	Estado reformado	Valores modificación HE
Fachada de ladrillo	1,80	0,26	0,27
Fachada de piedra	1,16	0,26	0,27
Cubierta de teja	1,62	0,22	0,22
Cubierta plana	1,76	0,21	0,22
Suelo	0,60	0,34	0,34
Huecos	5,33	1,36	1,60

Tabla 2. Comparación de los valores de transmitancia

Al disminuir la transmitancia de los paramentos de la envolvente reducimos en primer lugar la demanda energética de la edificación, que en el estado reformado pasa a ser de: 39,2 KWh/m<sup>2</sup>año para calefacción, 3,1 KWh/m<sup>2</sup>año para refrigeración y 13,3 KWh/m<sup>2</sup>año para ACS. El porcentaje de ahorro obtenido respecto del estado actual es del 78% en calefacción y del 29% de refrigeración.

Emisiones Calef. 47,1 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Total

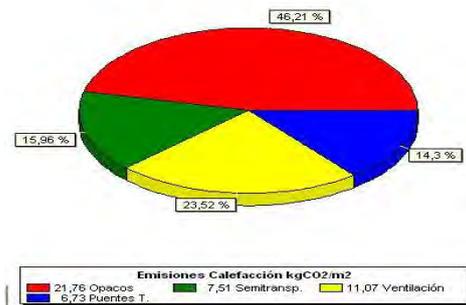


Figura 8: Pérdidas a través de los cerramientos del estado actual (CERMA)

Emisiones Calef. 9,3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Total

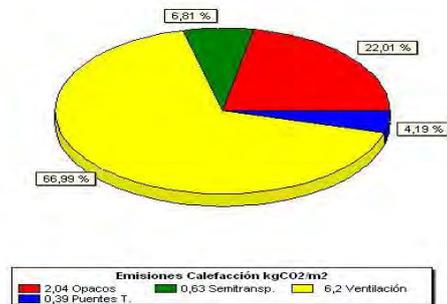


Figura 9: Pérdidas a través de los cerramientos del estado reformado (CERMA)

En segundo lugar, reducimos las pérdidas a través de los cerramientos y sus correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub> en un total del 74%.

La calificación energética del edificio reformado mejora notablemente al introducir únicamente sistemas pasivos, pasando a ser de categoría energética C.

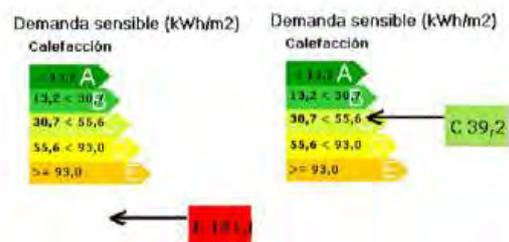


Figura 10: Calificación energética del estado actual y reformado (CERMA)

La energía que genera el edificio a través de los mecanismos solares es de dos tipos, la energía eléctrica, que producirán todos los sistemas activos fotovoltaicos colocados en la envolvente del edificio, y la energía térmica, que obtendremos de los paneles híbridos colocados en los balcones y la fachada ventilada.

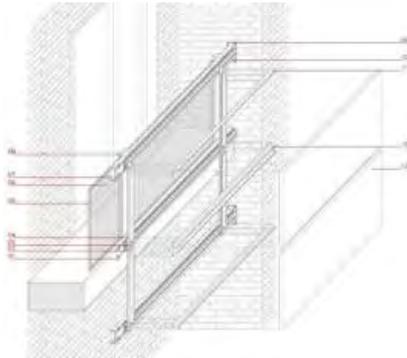


Figura 11: Detalle de colocación de panel híbrido en balcones.

Los sistemas de producción eléctrica generan:

<u>Balcones duplicados</u>		
-Sur	14.162 kWh	} += 24.042 kWh
-Oeste	5.340 kWh	
-Este	4.540 kWh	
<u>Vidrios</u>		+
-Sur	4.155 kWh	} += 7.437 kWh
-Oeste	1.762 kWh	
-Este	1.520 kWh	
<u>Cubierta</u>		+
-3ª opción	4.903 kWh	
<u>Fachada ventilada</u>		
-Sur	20.770 kWh	
-Oeste	17.580 kWh	
<b>TOTAL</b>	<b>74.732 kWh</b>	

Considerando el 100% de cobertura la demanda eléctrica de 67.890 kWh, el % que conseguimos cubrir con energía fotoeléctrica es del 110%

En cuanto a la producción de energía térmica por parte de los paneles híbridos, obtenemos:

<u>Balcones duplicados</u>		
-Sur: 120 módulos = 154 m2	79,25 kW·h	} += 116,76 kW·h
-Oeste: 40 módulos = 52 m2	24,24 kW·h	
-Este: 20 módulos = 52 m2	13,27 kW·h	
<u>Fachada ventilada</u>		
-Sur: 156 módulos = 187 m2	96,33 kW·h	} += 183,51 kW·h
-Oeste: 156 módulos = 187 m2	87,18 kW·h	
<b>TOTAL</b>	<b>300,18 kW·h</b>	

Considerando el 100% de cobertura la demanda de ACS y calefacción de 305,76 kW·h, el % que conseguimos cubrir con energía termosolar es del 98,17%.



Figura 12. Imagen del edificio con distintos sistemas de captación solar.

### 2.6 Resultados de la combinación de las medidas pasivas y activas

Analizando los resultados obtenidos, comprobamos que utilizando únicamente las medidas pasivas conseguimos reducir las pérdidas a través de la envolvente, disminuyendo la demanda energética de calefacción en un 78%, con una demanda final de 305,76 kWh. Por otro lado, las emisiones de CO<sub>2</sub>, se ven reducidas en un 74%, consiguiendo una categoría energética C en el estado reformado.

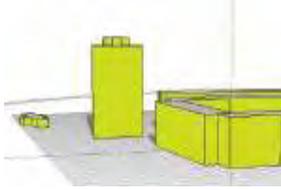
Con la aplicación de los sistemas activos producimos una energía térmica final de 300,18 kWh. Por tanto tenemos una cobertura de la demanda de ACS y calefacción de un 98,17%. El edificio necesitaría un suministro de energía exterior de 5,58 kWh, que podríamos considerar "Casi Nulo".

### 3 EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS

El objeto del estudio anteriormente expuesto consistía en una de las torres de viviendas del "4 de Marzo" que se consideró, por su orientación y soleamiento, la más idónea para realizar la rehabilitación energética. Aplicamos a continuación las mismas estrategias seguidas anteriormente en una segunda torre con peores condiciones de orientación, según el estudio previo.

En esta segunda torre de viviendas se produce un cambio en las orientaciones, el mayor porcentaje de huecos se encuentra ahora al oeste, siendo la fachada sur una de las más cerradas. Estamos ante un edificio cercado por bloques de 5 alturas, en contraposición con el primer caso que contábamos con tres fachadas exentas, lo cual se verá reflejado en un aumento del porcentaje de sombras y una disminución de la radiación solar incidente.

Objeto de estudio 1



Objeto de estudio 2

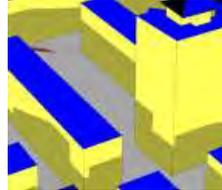


Figura 13: Soleamiento de fachadas sur en enero

Realizado todo el análisis previo que conlleva el edificio se llegan a las siguientes conclusiones:

- En cuanto a la rehabilitación con medidas pasivas, no se producen grandes diferencias en el ahorro de la demanda energética con el edificio objeto de estudio 1, siendo del 78% en calefacción y del 76% de ahorro de emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

- En lo que respecta a medidas activas, utilizando los mismos sistemas que en el caso anterior, a excepción de los vidrios fotovoltaicos, puesto que al tener la mayor parte de los huecos orientados al este no resulta eficiente la inversión, llegamos a una cobertura de la demanda eléctrica del 76,56% y de energía térmica del 72%. Valores muy por debajo de los conseguidos en el supuesto primero.

Con esto se comprueba que la extrapolación de sistemas no es posible, puesto que cada edificio requiere un estudio previo individualizado. No obstante, se puede asumir un sistema generalizado de paneles de producción de energía solar térmica y eléctrica que se integren en las 6 torres del barrio. En cuanto a los bloques de B+5 no resultaría preceptivo colocar sistemas de captación solar en fachada, puesto que estas tienen un elevado porcentaje de sombras, sin embargo, si se podrían aprovechar los faldones de cubierta orientados al sur que, como ya se ha visto, con una inclinación adecuada pueden generar una parte importante de la energía demandada.

#### 4 CONCLUSIONES

1. La envolvente térmica de un edificio constituye el principal parámetro sobre el cual se puede incidir, para optimizar el ahorro de energía y la eficiencia energética de un edificio. El diseño poco eficiente de los cerramientos supone un derroche de energía, pues se aumenta el consumo debido a la sobreutilización de los sistemas térmicos para compensar las pérdidas y de este modo satisfacer las necesidades de confort de los usuarios.

2. Rehabilitar edificios de viviendas en un estado aceptable de conservación es viable desde el punto de vista constructivo. En Valladolid, las viviendas construidas entre los años 1951-1980, suponen casi un 60% del parque edificado. Estas viviendas fueron construidas antes de la entrada en vigor de la NBE-CTE 79 Norma básica de la Edificación sobre Condi-

ciones Térmicas en los Edificios (1979) por lo que el estudio de propuestas de rehabilitación desde el punto de vista energético es necesario. Con los resultados obtenidos con esta propuesta de rehabilitación se ha demostrado que se puede la demanda de energía en un 78%, y sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un 74%, únicamente mediante sistemas pasivos, con sistemas con los que se podría rehabilitar la mayor parte de las viviendas de los años señalados.

3. Se pone de manifiesto a la hora de colocar los sistemas activos la importancia de un estudio previo de radiación solar y sombreadamiento, puesto que se ha comprobado que un mismo tipo de sistema activo colocado en orientaciones diferentes puede ver reducido su rendimiento en un 50%. De aquí deriva la dificultad en la extrapolación.

4. La transformación, en este caso, de la imagen del barrio 4 de Marzo al colocar sistemas activos y pasivos resulta inevitable. Sin embargo, se han realizado propuestas en las que estos cambios produzcan el menor impacto. Hay que valorar que aspecto es más importante, si preservar la imagen original del edificio y cubrir el 50% demanda energética del mismo o modificar la estética para alcanzar el concepto de "Consumo de Energía casi Nulo".

#### 5 BIBLIOGRAFÍA

- Archivo Histórico Provincial de Valladolid.  
Documento Básico HE, sección HE1 limitación de la demanda energética y su propuesta de modificación.  
García Cuesta, J. L., 2000, *De la urgencia social al negocio inmobiliario. Promoción de viviendas y desarrollo urbano en Valladolid (1960-1992)*, Valladolid, Ayuntamiento de Valladolid, Universidad de Valladolid.  
Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de "viviendas de renta limitada" y en 1955, la orden de 12 de julio de 1955 sobre las Ordenanzas Técnicas y normas constructivas para viviendas de renta limitada.  
Luxán M., Gómez G., 2006, *Dos bloques de viviendas y locales comerciales en San Cristóbal de los Ángeles*, Madrid, Informes de la Construcción, Vol. 58 (502), 5-16.  
Martín Chivelet, N.; Fernández Solla, I., 2007, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura. Criterios de diseño y aplicaciones*, Barcelona, Reverté S.A.  
Matín Montes, M. A.; Martínez Sapena, P.; Burrieza Sánchez, J.; Marcos del Olmo, C., 2004, *Una historia de Valladolid*, Valladolid, Ayuntamiento de Valladolid.  
Pérez, D., Cervantes, V., Mozetic, L., Morell, A., Martín, M., 2011, *Evaluación del potencial de energía solar térmica y fotovoltaica derivado del cumplimiento del Código Técnico de Edificación, Estudio Técnico PER 2011-2020*, Madrid, IDAE.  
Wadel G., López F., Sagraera A., Prieto J., 2011, *Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca*, Informes de la Construcción, Vol. 63 (EXTRA), 89-102. doi: 10.3989/ic.11.067.

## Metodología para la evaluación energética en viviendas tradicionales de Cascos Históricos protegidos

M<sup>a</sup> Isabel. Sardón de Taboada & Daniel. García de Frutos  
*Universidad Alfonso X el Sabio, Madrid, España.*

### RESUMEN:

Las viviendas tradicionales que forman el tejido urbano de los Cascos Históricos españoles requerirán, en los próximos años, acometer acciones de rehabilitación que garanticen por un lado el máximo ahorro en su consumo energético, para su sostenibilidad económica, y por otro, una mejora clara en las condiciones de habitabilidad de un tipo de edificación que no ha gozado, desde su origen, de los avances técnicos en materiales y sistemas.

Esta circunstancia nos plantea la creación una Metodología de evaluación energética específica para estas viviendas, que recoja en sus fases, además de las pautas generales de una evaluación tipo, las singularidades de una arquitectura “delicada”, por sus sistemas constructivos en desuso y la presencia de oficios tradicionales que requieren actuaciones “sencillas”, que reviertan en la mejora de sus consumos energéticos y condiciones de confort.

Un enfoque presente en las fases propuestas de la Metodología: Antecedentes previos, Trabajo de Campo, Análisis de Gabinete, Elaboración del Informe y Propuestas de Actuación.

El futuro de la rehabilitación energética debe de plantearse también para este tipo de arquitectura “difícil” por el grado de consolidación urbana que presenta y su precariedad económica, pero que constituye el corazón de nuestros Cascos Históricos, reflejo urbano de la sociedad.

### 1 LOS OBJETIVOS 2020

#### 1.1 Pasos para el cumplimiento.

De todos es conocido que el protocolo de Kioto supuso el inicio de un camino hacia el compromiso con la sostenibilidad que mucho consideran irrealizable en el marco de la coyuntura económica actual. No obstante, los pasos dados a nivel europeo son relevantes e intensos en el sector de la edificación: entre los objetivos más importantes, en Europa, ya en 2005 en el libro Verde sobre Eficiencia energética se proponía una reducción del consumo de energía primaria del 20%. La nueva Directiva<sup>1</sup> recientemente aprobada con los votos en contra de España y Portugal dónde establece el objetivo de que el consumo de energía de la Unión en 2020 no ha de ser superior a 1474 Mtep de energía primaria o a 1078 Mtep de energía final, conforma el marco actual y el horizonte que moviliza el resto de las actuaciones normativas.

En el artículo 4 habla de la renovación de edificios y especifica que los Estados miembros establecerán una estrategia a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación del parque nacional de edificios residenciales y comerciales, tanto pública como privada y que dicha estrategia comprenderá:

- a) un panorama del parque inmobiliario nacional basado, según convenga, en un muestreo estadístico;
- b) una definición de enfoques rentables de renovación en relación con el tipo de edificio y la zona climática;
- c) políticas y medidas destinadas a estimular renovaciones exhaustivas y rentables de los edificios, entre ellas renovaciones profundas por fases;
- d) una perspectiva de futuro destinada a orientar las decisiones de inversión de las personas, la industria de la construcción y las entidades financieras;
- e) un cálculo fundado en datos reales, del ahorro de energía y de los beneficios de mayor radio que se esperan obtener.

<sup>1</sup> Parlamento Europeo, Directiva sobre eficiencia Energética. Sept 2012

Destacamos por tanto que se deben estimular las renovaciones exhaustivas y rentables de los edificios y que puedan aplicarse por fases.

## 2 LA NORMATIVA ACTUAL

Obviamente el conjunto de normativas vigentes va a sufrir en breve, con la futura aprobación del Nuevo Real Decreto sobre el procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios, un nuevo giro entre los que destaca la inclusión de los edificios existentes como objeto de la misma, cosa que no sucedía en el RD.47/2007 que se centraba en la nueva edificación y que dejaba fuera la inmensa mayoría del Patrimonio construido. Este asunto detectado por la Comisión Europea fue objeto de reprobación y denuncia en 2011 al Estado español. En la futura norma se transpone además parte de la Directiva 2010/31/UE. para alinearse con el objetivo de 31 de Diciembre de 2020 de que los edificios construidos sean de consumo de energía casi nulo.

Hay que decir que, la imposición del certificado busca el establecimiento de una competencia en el mercado en las Prestaciones energéticas de los edificios, obligando a la información objetiva de la misma. Se hecha de menos, por tanto, que el objetivo incluya la “obtención de datos relevantes de aspectos energéticos para el propietario que le permitan tomar decisiones de inversión y renovación”.

Por otro lado, tenemos el RD 8/2011 que hace obligatoria la realización de Inspección Técnica de edificios en todos los municipios de más de 25.000 habitantes ( unos 300), ocasión que han aprovechado en algunos ayuntamientos como el de Madrid<sup>2</sup> para revisar el informe y ampliar la información con las condiciones de accesibilidad y comportamiento térmico del edificio.

## 3 LOS CÁSCOS HISTÓRICOS DE ESPAÑA

España posee la peculiaridad de contar con una enorme cantidad de ciudades, que siendo actualmente, grandes metrópolis, ciudades medianas o pequeños pueblos, nacieron de núcleos urbanos creados en diversos momentos de su variada y rica historia y que actualmente son considerados los Cascos Históricos de las mismas. Éstos Cascos, distribuidos por todo el territorio, constituyen la riqueza urbana y arquitectónica de España y hacen de éste país uno de los lugares del mundo con mayor cantidad de Patrimonio Arquitectónico y Urbano del mundo: 12 ciudades declaradas Patrimonio Histórico de la Humanidad, de Ávila a Toledo, grandes metrópolis

<sup>2</sup> Ayuntamiento de Madrid. Ordenanza de Conservación, Rehabilitación y Estado Ruinoso de las edificaciones. Oct 2011.

europeas como Madrid, Barcelona o Bilbao, ciudades con la carga histórica de Sevilla, Burgos o Granada e infinidad de “ciudades con encanto”, que en algún momento albergaron acontecimientos relevantes de la historia de este país, como Toro, Soria o Cádiz. Todas esta variedad de ciudades comparten una característica común: son ciudades que conservan aún sus Cascos Históricos completos, en los que además de la presencia de los monumentos declarados bienes de interés cultural, podemos observar un tejido de arquitectura residencial que continúa ejerciendo como tal y que da la vida al resto del Casco. Es la presencia de esas viviendas lo que hace de estos recintos, lugares vivos y no espacios urbanos muertos tan sólo conservados para el deleite de sus visitantes. Y la arquitectura que perfila las calles, plazas y rincones de ese tejido histórico. Además, cada uno de éstos edificios y todos en conjunto, aportan a su ciudad, una tipología residencial característica: “la corrala madrileña” en el caso de Madrid, la “casa-patio andaluza”, en Sevilla o Córdoba, etc. Por ello el tratamiento de estos edificios plantea un reto especial y difícil: cómo lograr la convivencia adecuada entre el respeto por las características singulares de esta arquitectura con las mejores condiciones de habitabilidad que requieren sus habitantes actuales, y en las que el tema energético es tan importante. Analizaremos por ello, las características de estos edificios.



Fotografía 1: Corrala madrileña. I.Sardón

## 4 LOS EDIFICIOS DE REFERENCIA

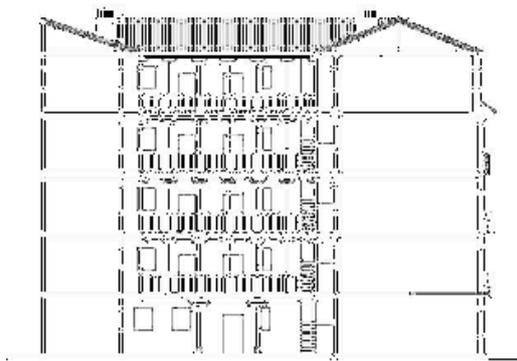
### 4.1 La tipología arquitectónica:

Aunque la tipología arquitectónica de las viviendas populares de los Cascos Históricos, presentan variaciones debidas al clima y los antecedentes culturales, no se puede negar que son todas hijas de la casa patio romana. Por eso para la creación de la Metodología propuesta nos centraremos en describir sólo una de ellas, entendiendo que finalmente la Metodología podrá aplicarse a todas.

Así describiremos la Vivienda Popular de Madrid, conocida como “La Corrala”: “Es el tipo de vivienda más usado en el siglo XIX, la casa de corredor o “Corrala”. Consta de 2 partes muy diferenciadas.

- 1.- Fachada formada por doble crujía.
- 2.- Parte posterior o zona de corredores.

Normalmente constaban de 4 o 5 plantas aunque existían también de más o menos altura. El tipo más frecuente es el aquí representado como “cerrado en U”.

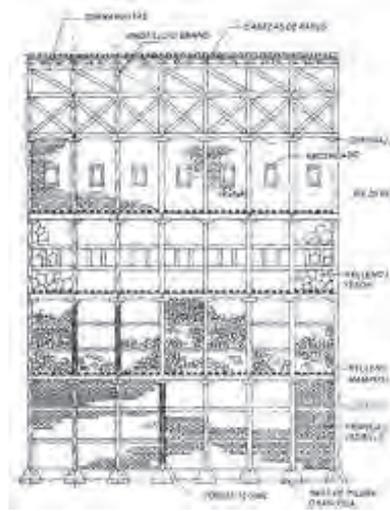


Imágen 1: Sección tipo de corrala madrileña.<sup>3</sup>

#### 4.2 Elementos constructivos:

- a) CIMENTACIÓN: Zanja corrida a base de mampostería o piedra en rama enripiada y colocada por tongadas.
- b) SOTANO: Si existían, siempre se resolvían en bóveda de cañón.
- c) FACHADAS: Fábricas de ladrillo 28x14x3,5 cm tomado con mortero de cal y variable por plantas su espesor, a esto se le denomina “a favor de obra”.
- d) MEDIANERIAS: Resueltas con “telar” es decir entramado de madera relleno con fábrica.
- e) ESTRUCTURA: Arranque de los pies derechos resueltos con “botón y botonera”. Distancia entre pies derechos de aproximadamente 2 metros. Sobre la cabeza de los pies derechos se coloca una contrapata que sirva de sujeción a la carrera sobre la que apoyará el forjado. Las uniones horizontales se realizan a media madera y la clavazón del nudo con “clavo bellote”.
- f) SOLADOS: En los patios canto rodado.
- g) CERRAMIENTO INTERIOR: Con revocos y revestimientos exteriores tendidos de yeso negro rayado y pintado con cal y adición de sal.
- h) TABIQUERÍAS: De panderete.
- i) FORJADOS: Con el sistema “hueco por macizo” en cualquiera de sus variantes.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Úbeda, Pascual. *Arqueología Urbana*.2011.Madrid



Imágen 2: Muro tipo de entramado de madera.<sup>3</sup>

## 5 LOS INSTRUMENTOS Y EXPERIENCIAS PREVIAS PARA UNA NUEVA METODOLOGIA.

### 5.1 Sellos Verde GBCe y –Leed 2009.

Parece lógico que al pensar en un tipo de edificio y querer evaluar su sostenibilidad nos centremos en sellos que estén reconocidos tanto a nivel nacional (VERDE<sup>4</sup>) como internacional (LEED<sup>5</sup>). Ya que ambos intentan conseguir una valoración ponderada de todos los aspectos que influyen en el impacto ambiental final contemplando todo el ciclo de vida. No obstante nos encontramos que ambos sistemas no priorizan la intervención en edificios existentes de uso residencial, aunque GBCe tiene a punto su nueva herramienta Verde RH, y USGBC como desarrollador de LEED tiene alguna herramienta más adaptada como es LEED O+M. No obstante, como herramienta de evaluación es más coherente al sistema normativo español, como es lógico por otra parte, el desarrollado por Green Building Council España, ya que utiliza un edificio de referencia para su evaluación y no solamente se basa en la acumulación lineal de puntos (credits).

### 5.2 LIDER Y CALENER.

La valoración mediante programas de simulación, tanto de la Demanda de energía (LIDER) como aquel que incluye la eficacia de las instalaciones (CALENER VYP) es especialmente interesante.

<sup>4</sup> Green Building Council España, Distintivo de Edificios Sostenibles VERDE.2010

<sup>5</sup> United States Green Building Council. Distintivo de Edificios Sostenibles LEED.2009

Presentan una característica crucial que es la definición geométrica del edificio y su representación en tres dimensiones que permite un seguimiento coherente de los cambios que vayamos proponiendo. Como inconvenientes tenemos que, sólo contempla el aspecto rendimiento energético, su manejo requiere cierta pericia y es un sistema bastante opaco para la obtención de datos parciales y descompuestos. Otra dificultad añadida es la introducción de sistemas y materiales poco convencionales en la actualidad.

### 5.3 CE3 y CE3X.

Ya están reconocidos como procedimiento simplificado para la certificación de edificios existentes los programas desarrollados por APPLUS Norcontrol (CE3) y la UTE MIYABI-CENER (CE3X) siendo métodos que presentan un índice de coincidencia con la letra asignada al edificio en el CALENER de en torno a un 70 %. Y por lo tanto son suficientemente fiables y convierten en menos arduo el trabajo de evaluación ya que nos evita la introducción gráfica de las viviendas.

### 5.4 Otras experiencias y programas.

Destacamos aquí las experiencias de Madrid y Valencia, que han dado un valor añadido a las Inspecciones Técnicas de edificios incluyendo los aspectos energéticos en la valoración final.

Madrid, por su parte, incorpora en la ficha de inspección una recopilación de datos de las instalaciones y sobre todo de la envolvente, basándose en valores de transmitancia. Su objetivo es buscar las pérdidas de energía totales y relativas con respecto a un edificio que cumpla estrictamente el CTE.

Para ello, se recomienda el uso de unas fichas de evaluación<sup>6</sup> que además servirán como justificación de cumplimientos necesarios para la adjudicación de ayudas a la rehabilitación energética. De este sistema cabe destacar la prolifera enumeración de sistemas tradicionales muy comunes a las tipologías constructivas de los cascos históricos, sirvan como ejemplo los forjados de madera o los muros de entramado.

Valencia, por su parte amplía tanto el concepto de inspección que incluso lo denomina ICE (Informe de Conservación y evaluación energética) que establece una toma de datos y un volcado de información en una aplicación que tiene un motor de cálculo energético basado en el programa CERMA-R<sup>7</sup>, que pese a ser un método simplificado, se aproxima bastante a las condiciones de simulación del comportamiento energético del edificio.

<sup>6</sup> De Luxán de Diego, Margarita. 2010

<sup>7</sup> ATECYR. Valencia. 2011

Estas dos experiencias trazan un puente entre las distintas obligaciones que deben cumplir los propietarios de viviendas, dejando muy fácil la adaptación al cumplimiento del nuevo real decreto de certificación energética de Edificios existentes aportando una información sobre los inmuebles que podría ser reutilizada muchos años después. Esto es especialmente útil cuando hay cambios normativos o se desbloquean los problemas financieros y se dispone de información (a revisar, claro está) pero útil y de calidad.

## 6 METODOLOGÍA PROPUESTA.

El escenario para la evaluación energética de los edificios del casco histórico presenta todo el conjunto de variables que nos permiten considerar tanto los aspectos comunes a muchos tipos de construcción como gran cantidad de los singulares (índice de ocupación, estado de mantenimiento, renta per cápita de los usuarios, relación usuario/propietario, posibilidad de adecuación a normativa vigente,.....), nos permitimos, por tanto establecer una metodología que recoja las características especiales de este tipo de edificios.



Fotografía 2: Corrala rehabilitada para Posada. I.Sardón

Para el proceso de selección de una metodología se han tomado como guía estos aspectos:

1. Unidad de acción: coherencia
2. Transparencia.
3. Relevancia de actuación: explicación, opciones, importancia de participación. incluso constructora.



**RESULTADO FINAL**

Esquema 1. D. García de Frutos

## 1. Unidad de acción.

Es importante unificar las acciones para que los usuarios no vean estos actos como un continuo "sacadineros". Para ello será necesario investigar la vigencia de la Inspección Técnica de edificios y el mantenimiento de las Instalaciones térmicas e intentar que bajo un paraguas de auditoría Técnica y energética se haga una inspección completa. Aunque por la edad de las construcciones en circunstancias normales no dispondremos de Manual de uso y mantenimiento, proponemos que sea un servicio añadido del técnico. El objetivo es sacar el mayor provecho posible a las visitas de toma de datos.

## 2. Transparencia:

Debemos dejar claro que aunque el inicio sea un requerimiento administrativo o una inspección obligatoria, su interés y el nuestro debe ser conocer la verdad de la situación del edificio y conforme a esto tomar las mejores decisiones. Nos encontraremos con diversos tipos de comunidades de propietarios, personas mayores y enfermas que les será difícil entender, por ello la información debe llegar muy bien explicada en reuniones y también por escrito.

## 3. Relevancia

Tenemos que ordenar jerárquicamente las acciones que habría que emprender con una valoración muy clara de cuales son acciones inexcusables, prioritarias, importantes, convenientes con un cálculo de costes lo más fiable posible que incluya un análisis de la inversión.

### 6.1 Recopilación de Información y elaboración de fichas a cumplimentar

La mayor parte de la información la debemos conseguir vía telemática. A destacar:

- Sede virtual del catastro.
- Fichas Plan General de Urbanismo.
- Herramientas Google. para realizar alzados
- Visualizadores de información geográfica

Con esta información previa a la visita elaboraremos tres documentos previos:

Dibujos previos en soporte informático editables en tablet o similar para evitar los errores, olvidos o incoherencias que puedan surgir en el gabinete.

Ficha de la geometría para confirmación de datos in situ, sobre todo lo referido a las distribuciones por planta.

Solicitaremos a la comunidad:

- Los datos de Administrador, Presidente y Vicepresidente de la comunidad,
- las cuotas de participación por vivienda para valorar la viabilidad económica de las soluciones.
- Los datos de las compañías suministradoras de servicios a la comunidad, de esa manera será sencillo conseguir por ejemplo la potencia del motor del ascensor u otros datos.
- La información de las compañías en cuanto a los consumos en los contadores comunes de los últimos 12 meses al menos que debería tener también el presidente y/o administrador.
- Se podrá solicitar un dossier fotográfico a la comunidad con objeto de llevar mejor elaboradas las fichas de campo.

### 6.2 Trabajo de Campo.

El técnico o el equipo de campo rellenarán fichas de datos con el menor número de palabras posible y si es posible con una persona que facilite el acceso pero que no intervenga demasiado.

El diseño de las fichas será personalizado y se llevará impreso con dos copias.

Se revisará y acotarán los documentos gráficos reelaborados, esta labor es fundamental puesto que en una segunda visita se llevará toda la información gráfica impresa.

Se harán las calas y pruebas necesarias: calas para averiguar composición de la envolvente (Valores U), pruebas de estanqueidad, test Blower door, etc... Todo ello siguiendo con el principio de Unidad de acción irá unido a la colocación de testigos de yeso, galgas u otras pruebas orientadas a otros aspectos del edificio.

Se revisará el funcionamiento de la caldera.

En el caso que nos ocupa realizaremos un estudio Termográfico completo, que incluirá tanto un análisis de cerramientos, cubierta e instalaciones. Este estudio buscará en concreto la detección de puentes térmicos en fachada, infiltraciones de aire, carencia de aislamiento en instalaciones, e incluso fugas y reparaciones preexistentes.

### 6.3 Análisis de Gabinete.

Lo primero será verificar la integridad de la información, es decir qué cantidad de espacios no han podido ser inspeccionados y si la cantidad de información es suficiente.

Con las pruebas y resultados, dirimir si hay que hacer alguna actuación urgente por seguridad (esta decisión puede tomarse preventivamente en la fase de visita).

Se analizarán los cumplimientos de las exigencias del CTE, en especial los requisitos de ahorro de

energía (rendimientos de caldera incluidos), este grado de cumplimiento será uno de los instrumentos para priorizar mejoras.

Para todo este proceso, si es posible, se recomienda el utilizar sistemas BIM ( Building information modelling) para hacer levantamientos tridimensionales que cumplirán una doble misión : hacer el estudio más comprensible (transparencia) y utilizar la composición de los elementos para simulaciones energéticas (unidad de acción) . Aunque todavía no están suficientemente desarrollados, esto permitirá hacer las mediciones y presupuestos de forma semiautomática en el futuro. Para ser más concretos, lo mejor es llevaremos al edificio al CALENER con la dificultad de tener que introducir adecuadamente los espacios como patios, medianeras y sistemas constructivos como forjados poco habituales. Otras combinaciones podrían ser Sketch-up + energypius por ser un proceso más amigable pero con el problema de no tener correspondencia con otras normas españolas.

#### 6.4 Elaboración del Informe.

Los informes serán del calado que el cliente elija pero para el método propuesto deben aportar: Reproducción fidedigna de la situación actual del inmueble: por lo tanto para la el estado de la fachada se recomienda un levantamiento fotogramétrico y para el resto, fotografías referenciadas a planos con indicación del lugar que se tomó y la dirección. Como hemos dicho anteriormente sugerimos un modelo BIM o al menos un modelo en tres dimensiones básico.

Diagnóstico: A la luz de la documentación recopilada y considerando los resultados de las pruebas realizadas, la simulación del modelo, y la comparación de consumos previsibles con los documentados, se elaborará un informe específico y además emitiremos nuestra opinión en cuanto a las causas de las deficiencias en Estructura, fachadas, muros, suelos, cubiertas, instalaciones, accesibilidad y otros aspectos comprometidos por el Código Técnico de la edificación.

Se añadirán como anexo las pruebas efectuadas, lo estudios de comportamiento térmico y la documentación recopilada de lecturas de contadores.

Si es solicitado, este informe irá completado con un Manual de Uso y Mantenimiento del edificio que se revisará al tomar la decisión sobre las obras a realizar.



Esquema 2. D. Garcia de Frutos

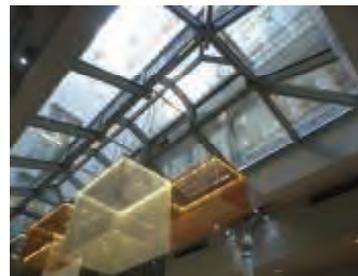
#### 6.5 Propuestas de actuación.

A la luz del diagnóstico del informe se harán tres propuestas de actuación

1. La primera será aquella que es imprescindible iniciar por obtener un resultado desfavorable de I.T.E o por incumplir alguna norma vigente, incluirá una valoración de costes y el estudio financiero puede incluir un supuesto de ruina o accidente en la vía pública por desprendimientos así como las posibilidades de ayudas públicas.
2. La segunda propuesta será una propuesta que no sea excesivamente costosa pero que maximice los resultados de una función que incluya varios aspectos: por ejemplo si tenemos una cubierta que nos genera problemas de estanqueidad, podemos aprovechar para dar una solución que aporte más aislamiento y que además nos lleve a estándares similares a una construcción que cumple el CTE en su parte de Ahorro de energía
3. La tercera propuesta será un poco más costosa e incluirá actuaciones que se encaminen a dar un salto en las prestaciones y rentabilidad de edificio. En este sentido pueden ir incluidas mejoras en la accesibilidad como la instalación de ascensor o sustitución de ventanas, ambas medidas suponen a medio plazo beneficio económico y a corto una mejora del confort de los ocupantes.

Se hará una propuesta extra de actuación basándose exclusivamente en Mejoras de Ahorro de Energía para de esa manera dar cumplimiento a las indicaciones del Real Decreto sobre certificación energética de edificios. Es evidente que en los casos que nos ocupan, la transmisividad del hueco es un aspecto que sólo afectará parcialmente a la hora de elegir una carpintería, ya que las restricciones estéticas son de una relevancia más determinante dentro de un casco histórico.

Estas propuestas deberán establecerse siempre con la consideración de la tipología de propietarios: su edad, su nivel económico, su compromiso con la mejoras en la habitabilidad (no habitual si no la ocupan), conflictos previos y sobre todo buscando el máximo beneficio para usuarios, requisito imprescindible para buscar su compromiso con el buen uso del edificio.



Fotografía 3: Edificio rehabilitado para Hotel. I.Sardón

## 7 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES NO ENERGÉTICOS:

### 7.1 Económicos.

“El mercado de la rehabilitación juega un papel muy importante en el sector construcción español generando actualmente más del (50%) de la producción total. Cabe recordar también que la rehabilitación es el sub-sector que genera más valor en países de la importancia de Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido. Pero la rehabilitación no es sólo un mercado de gran volumen, sino que además cuenta con unas perspectivas de crecimiento, si no espectaculares, ciertamente muy sólidas y aparentemente desligadas de los ciclos que se hacen manifiestos en la edificación residencial y no residencial de nueva planta.

Durante los últimos años se ha profundizado en la estructura interna del mercado de la rehabilitación. Como punto de partida se han distinguido tres escalas de intervención –desde la rehabilitación integral hasta las operaciones puntuales de algún elemento concreto del edificio- dentro de las cuales se han caracterizado cuestiones tales como el volumen que generan, el tipo de empresa que las lleva a cabo, el grado de acceso a subvenciones públicas o el tipo de exigencias legales que les aplican, en cada uno de los países de la Unión Europea, y específicamente de España.

Las conclusiones apuntan a que hay que valorar en su justa medida el papel de las pequeñas intervenciones, puesto que representan prácticamente la mitad del valor generado, y pese a que en general las diferentes administraciones son poco proclives a subvencionarlas. Los mayores flujos de dinero público están dirigidos a la rehabilitación de escala mediana –comunidades de vecinos que reparan fachadas, cubiertas o instalaciones y particularmente a aquellas que tienen como objetivo el ahorro energético, la mejora de la accesibilidad o aquellas que se efectúan en entornos de prioridad social.

También ha quedado demostrado que la rehabilitación es un mercado donde la pequeña y mediana empresa se desenvuelve particularmente bien: se estima que unos dos tercios de todo el valor generado se han producido a través de PYMEs, repartidos en proporciones muy parecidas entre empresas generalistas de construcción y empresas especializadas en rehabilitación. De nuevo, hay que hacer otra llamada de atención hacia el papel de las intervenciones de menos calado que se manifiestan a través del brico-

laje, que ya ocupa un 15% del total del valor del mercado de rehabilitación.

A nivel europeo, se ha hecho balance de la “labor pendiente” de rehabilitación, es decir, se ha evaluado la antigüedad del parque residencial y no residencial intentando ver hasta qué punto ya se ha intervenido en él o si por el contrario será inminente hacerlo en los próximos años. Las perspectivas a medio plazo son favorables casi sin excepciones, y es que más de 150 millones de viviendas en toda Europa tienen 25 años o más, y lo mismo puede decirse de casi dos tercios de la superficie del parque no residencial.”<sup>8</sup>

Lo cuál nos da una medida de la repercusión económica que esta actividad puede llegar a tener, y que no sólo aborda el mantenimiento y ahorro energético de estos edificios, sino, incluso, de su explotación eco-nómica, apostando con ello por la sostenibilidad futura del conjunto de los propios Cascos Históricos.



Fotografía 4: Rehabilitación para explotación económica. I.Sardón

### 7.2 Sociales

Rehabilitar implica, además, la recuperación de muchos puestos de trabajo en la construcción, dada la coyuntura actual de la actividad constructiva de nuestro país. Se convierte en una actividad mucho más completa en el aspecto social, que beneficiando el medio ambiente y reduciendo el gasto energético, podría llegar a generar entre 110.000 a 130.000 empleos estables y de calidad, de acuerdo al Informe: “Una visión-país para el sector de la edificación en España”, elaborado por un conjunto de expertos en rehabilitación. Por lo que el Gobierno trabaja, actualmente, una Ley de Rehabilitación para impulsar la actividad y el empleo en este sector”.<sup>9</sup>

Los sectores profesionales implicados también trabajan en este aspecto, un ejemplo de ello fue la propuesta del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE) que lanzó al

<sup>8</sup> Informe de EUROCONSTRUCT 2005, Barcelona.

<sup>9</sup> Diario Veinte Minutos del 14 de marzo de 2012.

Gobiernos la propuesta del “Sello básico de los edificios”, que garantice la habitabilidad, accesibilidad y eficiencia energética y seguridad jurídica de los edificios, de cara a este proyecto de Ley.

### 7.3 Urbanos.

El cambio a nivel urbano también será trascendente, ya que una mejora en el gasto energético de cada vivienda supone un ahorro a nivel exponencial en el caso de una zona urbana. En el caso específico de los Cascos Históricos, también será una contribución significativa en el mantenimiento futuro de las edificaciones pues una gran parte de las humedades que causan el inicio del deterioro de las mismas, comienzan con temas de condensación y filtraciones, por lo que la búsqueda en pos del ahorro energético repercutirá también en el futuro mantenimiento y conservación de las mismas. Por otro lado, y ya con la ITE se notaba claramente un cambio, el tema de la habitabilidad implicará una mayor detección de posibles infracciones urbanísticas y condiciones de infravivienda, tan frecuentes en estos Cascos, por la antigüedad de sus edificios.

## 8 CONCLUSIONES

Como conclusiones debemos enunciar que:

- a) Es posible generar modelos que resuelvan la generalidad de los casos , pero conviene situarse en un escenario complejo como es el de los cascos históricos para contemplar todas la variables;
- b) Es necesario un trabajo previo y de coordinación que incluye administraciones y suministradoras para elaborar un documento completo.
- c) Es muy difícil para el técnico coordinar bajo disposiciones normativas dispares según los ayuntamientos o comunidades autónomas y con una continua modificación regulatoria;
- d) Se ha de revisar que el voto para las decisiones de mejora de aspectos que afecten al confort de los ocupantes paradójicamente dependa del propietario que no disfrutaría del mismo;
- e) Pese a que se están haciendo esfuerzos desde varias administraciones (catastro, censos, registro de inspecciones técnicas, etc,..) parece claro que se tienen que insistir en que el volcado de los datos del edificio sea a través de procedimientos informatizados, que permitirá elaborar mapas de actuaciones y reducir fuertemente la elaboración del estado previo ;
- f) Se debe incentivar y premiar a las comunidades con iniciativas voluntarias en la

línea de mejorar las condiciones globales del edificio;

- g) Las herramientas de valoración de la sostenibilidad son fundamentales como compendio de diferentes aspectos, puesto que contemplan también la utilización de materiales sostenibles ( la utilización de materiales tradicionales es abundante en los cascos históricos ) , la gestión del agua , la calidad del aire o la gestión de residuos entre otros;
- h) La propuesta de integrar el certificado de eficiencia energética en la ITE es fundamental para aprovechar un recorrido en la implantación de su obligatoriedad en grandes municipios, ya que parece más sencillo ampliar un documento obligatorio que generar una nueva obligación.
- i) Todo este panorama requiere de una formación específica que debe de ser abordada por las universidades que forman a los profesionales relacionados con el tema, a nivel de postgrado.
- j) Por otro lado, los Colegios Profesionales correspondientes también deben de implicarse en el reciclaje de sus colegiados, en este aspecto.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- ATECYR, 2011, *Programa Cerma-R*, Valencia
- Ayuntamiento de Madrid, Octubre 2011, *Ordenanza de Conservación , Rehabilitación y Estado Ruinoso de las edificaciones*. Madrid
- De Luxán de Diego, Margarita, 2010, *Fichas rehabilitación energética*. Madrid .
- Green Building Council España, 2010. *Distintivo de Edificios Sostenibles VERDE*, Madrid.
- Informe de EUROCONSTRUCT 2005, Barcelona.
- Parlamento Europeo, *Directiva sobre eficiencia Energética*. Septiembre 2012
- Úbeda de Mingo, Pascual, 2011, *Arqueología Urbana*, Madrid, Proiescon S.L.
- United States Green Building Council, 2009 *Distintivo de Edificios Sostenibles LEED*. U.S.A.
- S, R, 2012, *La Rehabilitación es el futuro*, Veinte Minutos, Página 16, Madrid.

A

A

# Rehabilitación de la envolvente térmica

## Caracterización térmica de fachada mediante ensayo dinámico no destructivo

G. Martín, R De La Fuente  
*Valladolid, España*

L. Llorente  
*Valladolid, España*

M. S. Camino  
*Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Valladolid, Valladolid, España*

### RESUMEN:

En los próximos años será necesario rehabilitar energéticamente gran parte de los edificios construidos con el objetivo de reducir los consumos de energía y las emisiones de gases contaminantes. Se está produciendo un gran desarrollo de los procedimientos de simulación térmica, que permiten optimizar el funcionamiento de los nuevos edificios manteniendo las condiciones de confort que demanda la sociedad.

Sin embargo, muchos de estos procedimientos y algunas normativas, no valoran adecuadamente el papel de la inercia térmica. Considerar su influencia en los procesos de transferencia de calor tiene importantes repercusiones tanto en la eficiencia energética como en el confort térmico. En este trabajo se propone un método de ensayo no destructivo, basado en el procedimiento de cálculo de la norma UNE-EN ISO 13786, que permite la caracterización térmica de cerramientos en edificios existentes y en condiciones climáticas naturales.

A través de este método se puede comprobar el intercambio de energía real que se produce en la envolvente del edificio y predecir el funcionamiento de sus posibles modificaciones, retomando su tradicional adaptación al clima y al uso. La adecuada combinación de transmitancia e inercia térmica efectiva mejora la adecuación de los cerramientos a cada situación, garantizando el éxito de cualquier rehabilitación.

En esta comunicación se recoge el ensayo realizado durante el mes de junio de 2012 en la fachada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid y los resultados obtenidos. El método que se propone supone una interesante herramienta de análisis previo a la intervención en cualquier tipo de edificio.

### 1 INTRODUCCIÓN

Los cerramientos constituyen nuestra segunda piel, protegiéndonos de los rigores del clima. Así lo han hecho a lo largo del tiempo, evolucionando mediante una suerte de selección natural a la que han sobrevivido las soluciones que mejor se han adaptado. Sin embargo, el desarrollo tecnológico y la disponibilidad de energía han permitido sustituir la búsqueda de la mejor adaptación con los medios disponibles por cómodos sistemas de acondicionamiento.

Desde las primeras regulaciones se han definido, cada vez de forma más precisa, las propiedades que deben cumplir los cerramientos para adaptarse al clima. La demanda social de mejoras de eficiencia energética se plasma, en nuestros días, en la normativa de ahorro energético y en los procedimientos de calificación energética, que cuantifican el ahorro de energía y la reducción de emisiones contaminantes.

A pesar de lo dicho, hay que recordar que también se debe exigir a los cerramientos que procuren las mejores condiciones de confort en el interior. Su composición afecta a la diferencia de temperatura entre unas zonas y otras de la estancia y a la velocidad a la que ésta cambia de temperatura.

LEYENDA DE SÍMBOLOS Y UNIDADES		
LETRAS LATINAS		
SÍMBOLO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$c_e$	J/kg°C	Capacidad térmica específica
$d$	m	Espesor de la capa de material
$p$	kg/m <sup>2</sup>	Peso de la capa de material
$q$	W/m <sup>2</sup>	Densidad de flujo de calor
$R$	m <sup>2</sup> °C/W	Resistencia térmica
$T$	h	Periodo de variaciones
$U$	W/m <sup>2</sup> °C	Transmitancia térmica
$Y_{mn}$	W/m <sup>2</sup> °C	Admitancia térmica
$Y_{mn}$	W/m <sup>2</sup> °C	Transmitancia térmica periódica
$Z$		Matriz de transferencia térmica
$Z_{mn}$		Elemento de la matriz de transferencia
LETRAS GRIEGAS		
SÍMBOLO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
$\theta$	°C	Temperatura
$\theta$	°C	Temperatura
$\lambda$	W/m°C	Conductividad térmica de diseño
$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad
$\varphi$		Amplitud
$\psi$		Desfase
$\omega$		Frecuencia
ÍNDICES		
SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
$e$		Exterior
$e$		Exterior
$i$		Interior
$m,n$		Relativo a las zonas térmicas
$ex$		Experimental
$se$		Relativo a la superficie exterior
$si$		Relativo a la superficie interior
$th$		Teórico
$ee$		De ambiente a ambiente
$T$		Total
OTROS SÍMBOLOS		
SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
$\hat{\phantom{x}}$		Amplitud compleja
$\sim$		Valor transitorio
$\bar{\phantom{x}}$		Valor medio
$ \phantom{x} $		Módulo de un número complejo

Tabla 1 Leyenda de símbolos y unidades

## 2 LA INERCIA TÉRMICA Y SU INFLUENCIA

### 2.1 La inercia térmica

Los materiales que forman los cerramientos ofrecen cierta resistencia a la transmisión de calor, lo que permite asignar al conjunto un valor de transmitancia térmica. Pero además de esta resistencia a la transmisión, también ofrecen cierta resistencia a cambiar de temperatura, debido a la capacidad que tienen de almacenar energía. La inercia térmica de

un cerramiento está condicionada por la combinación de su resistencia térmica y su capacidad de acumulación.

Dependiendo del ritmo al que cambia la temperatura del entorno se puede definir una inercia térmica efectiva (Neila, 2004) condicionada por la cantidad de masa térmica que interviene en el proceso de transferencia de calor. Por lo tanto, para lograr soluciones adecuadas a cada caso es necesario combinar la transmisión y la acumulación, de las que dependen el consumo de energía y el confort térmico.

El aprovechamiento de la inercia térmica como medio para incrementar la eficiencia energética de los edificios es un amplio campo de investigación. El desarrollo de los sistemas geotérmicos o la inclusión de los materiales de cambio de fase en los materiales de construcción (Oliver, Neila y García, 2011) demuestran esta afirmación.

### 2.2 El clima y el uso

Además de las propiedades de los materiales que componen los cerramientos, es necesario estudiar cómo influyen en su funcionamiento las condiciones a las que están expuestos.

La cara exterior está expuesta a las variaciones propias del clima, influida principalmente por la temperatura del aire y la radiación solar.

La temperatura varía continuamente, afectada por diferentes ciclos. Cuando la temperatura exterior varía cíclicamente, el intercambio de energía a través del cerramiento da lugar a dos efectos en el ambiente interior: el desfase y la amortiguación de la onda térmica (Fig. 1).

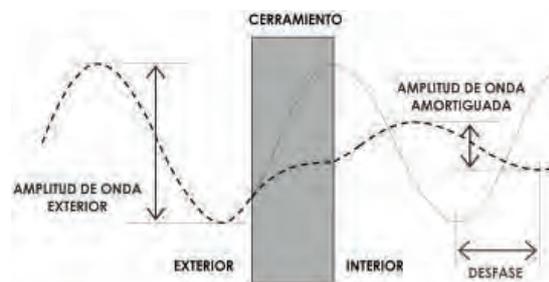


Fig. 1 Desfase y amortiguación de la onda térmica

El desfase de la onda térmica retrasa la repercusión de los valores máximos y mínimos de la temperatura exterior sobre el ambiente interior. La amortiguación, debida al reflejo de parte de la energía térmica hacia el exterior, reduce las variaciones de temperatura en el ambiente interior.

Además de la temperatura del aire exterior, la radiación que incide sobre la superficie del cerramiento provoca un sobrecalentamiento. Para considerar este

sobrecalentamiento se utiliza un valor ficticio, denominado temperatura sol-aire (ASHRAE, 2001) que aglutina los dos factores, corrigiendo la temperatura del aire con el efecto que provoca la radiación.

Del mismo modo, las variaciones de temperatura del ambiente interior también influyen en el cerramiento (ATECYR, 2008). En función del régimen de las variaciones interiores y exteriores, se debe establecer cuál es la proporción adecuada entre la resistencia y la capacidad de acumulación de la envolvente (Watson, 1979).

Las propiedades de los materiales que forman los cerramientos y el orden en el que se disponen las diferentes capas definen tanto la resistencia como la acumulación. La transmitancia térmica, considera solamente la resistencia térmica. Es necesario tener en cuenta también la inercia térmica efectiva, que además de considerar resistencia y capacidad de acumulación, depende de las condiciones, tanto interiores como exteriores, a las que está expuesto.

La proporción entre resistencia y acumulación es un factor determinante en el consumo energético de los edificios y sus condiciones de confort.

### 2.3 Las propiedades térmicas dinámicas

La norma UNE-EN ISO 13786 especifica las características relativas al comportamiento térmico dinámico de los componentes de los edificios. También proporciona el método de cálculo de dichas características cuando el componente está sometido a condiciones de contorno armónicas, como son el flujo de calor o la temperatura variable en una o dos de sus caras (Fig. 2).

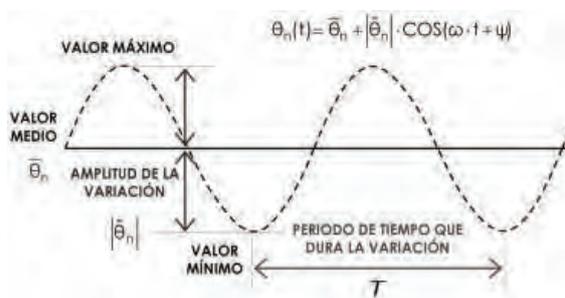


Fig. 2 Variación armónica de temperatura

Para emplear el método de cálculo de la norma es necesario conocer las propiedades de los materiales que componen las diferentes capas del cerramiento, sus espesores y el orden en el que están dispuestas. También es necesario conocer la amplitud y el periodo de tiempo que duran las variaciones de las condiciones de contorno.

Mediante el procedimiento de cálculo se obtienen los elementos de la matriz de transferencia térmica de cada una de las capas que componen el elemento (1). La matriz relaciona el flujo térmico y la temperatura a ambos lados de la capa.

$$\begin{pmatrix} \hat{\theta}_2 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{q}_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

La matriz que define las propiedades de todo el componente (2) es el resultado del producto de tantas matrices como capas contenga el elemento, considerando también las cámaras de aire y las capas límite interior y exterior.

$$Z = Z_{se} \cdot Z_n \cdot Z_{n-1} \cdot \dots \cdot Z_3 \cdot Z_2 \cdot Z_1 \cdot Z_{si} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Sustituyendo la matriz resultante (2) en la ecuación (1) se obtiene la relación entre el flujo térmico y la temperatura de los dos ambientes que separa el componente. A partir de los elementos de la matriz de transferencia de calor se obtienen las características térmicas dinámicas, entre ellas la admitancia térmica y la transmitancia térmica periódica. Estos parámetros permiten determinar la amplitud de las variaciones de flujo térmico en las caras del componente debidas a las condiciones a las que están expuestas.

### 2.4 Comparación entre cerramientos de la misma transmitancia

Como ejemplo de la importancia de la consideración de estos parámetros se puede comparar la variación de flujo térmico que provoca la variación de temperatura exterior sobre la cara interior de tres cerramientos diferentes, pero con el mismo valor de transmitancia térmica.

Se parte de un cerramiento muy extendido en los barrios construidos en algunas ciudades de España a mediados del siglo XX: una fachada formada por una hoja de 25 centímetros de espesor de fábrica de ladrillo perforado. En caso de que se quisiera intervenir en el edificio se podría plantear, entre otras soluciones, la mejora de las propiedades térmicas mediante la intervención sobre una de sus caras. De este modo se consiguen dos soluciones diferentes (una por cada cara), compuestas en ambos casos por una capa de material aislante protegida por un trasdosado ligero. Considerando ambas soluciones sin cámaras de aire intermedias, al incluir los mismos materiales pero en distinto orden, se obtienen los mismos valores de transmitancia para ambos cerramientos rehabilitados.

También se podría plantear una tercera solución alternativa, compuesta por un cerramiento ligero que sustituyera a la fábrica, compensando su resistencia térmica con un aumento de espesor del aislamiento.

Las propiedades de los materiales y la transmitancia de las tres soluciones se recogen en las siguientes tablas 2, 3 y 4.

	d m	p kg/m <sup>2</sup>	λ W/m°C	ρ kg/m <sup>3</sup>	c <sub>e</sub> J/kg°C	R m <sup>2</sup> C/W
EXTERIOR	-	-	-	-	-	0,040
Revoco	0,015	30,00	1,800	2000	1000	0,008
Fabrica LP	0,250	250,00	0,610	1000	1000	0,410
Aislamiento	0,060	2,40	0,041	40	1000	1,463
Guarnecido	0,015	17,25	0,570	1150	1000	0,026
INTERIOR	-	-	-	-	-	0,130
<b>R<sub>T</sub></b>						<b>2,078</b>
<b>U (W/m<sup>2</sup>C)</b>						<b>0,48</b>

Tabla 2 Transmitancia de cerramiento con aislamiento interior

	d m	p kg/m <sup>2</sup>	λ W/m°C	ρ kg/m <sup>3</sup>	c <sub>e</sub> J/kg°C	R m <sup>2</sup> C/W
EXTERIOR	-	-	-	-	-	0,040
Revoco	0,015	30,00	1,800	2000	1000	0,008
Aislamiento	0,060	2,40	0,041	40	1000	1,463
Fabrica LP	0,250	250,00	0,610	1000	1000	0,410
Guarnecido	0,015	17,25	0,570	1150	1000	0,026
INTERIOR	-	-	-	-	-	0,130
<b>R<sub>T</sub></b>						<b>2,078</b>
<b>U (W/m<sup>2</sup>C)</b>						<b>0,48</b>

Tabla 3 Transmitancia de cerramiento con aislamiento exterior

	d m	p kg/m <sup>2</sup>	λ W/m°C	ρ kg/m <sup>3</sup>	c <sub>e</sub> J/kg°C	R m <sup>2</sup> C/W
EXTERIOR	-	-	-	-	-	0,040
Revoco	0,015	30,00	1,800	2000	1000	0,008
Aislamiento	0,077	3,08	0,041	40	1000	1,878
Guarnecido	0,015	17,25	0,570	1150	1000	0,026
INTERIOR	-	-	-	-	-	0,130
<b>R<sub>T</sub></b>						<b>2,083</b>
<b>U (W/m<sup>2</sup>C)</b>						<b>0,48</b>

Tabla 4 Transmitancia de cerramiento ligero

Se considera una variación diaria (periodos de 24 horas) de temperatura exterior de 20 °C, siendo la temperatura media diaria exterior de 15 °C. La temperatura interior se supone constante, debido al sistema de acondicionamiento, manteniéndose a lo largo de todo el día en 21 °C.

Aplicando el método de cálculo de la norma UNE-EN ISO 13786, se obtienen los valores recogidos en la tabla 5.

	Aislamiento Interior	Aislamiento Exterior	Solución Ligera
Transmitancia Térmica Estacionaria U (W/m <sup>2</sup> C)	0,48	0,48	0,48
Transmitancia Térmica Periódica Y <sub>12</sub> MÓDULO (W/m <sup>2</sup> C)	0,13	0,10	0,47
DEFASE: (h)	-9,51	-8,93	-1,31

Tabla 5 Transmitancia térmica de los tres cerramientos

A pesar de que se obtienen tres cerramientos con la misma transmitancia térmica estacionaria, se observan grandes diferencias en la transmitancia térmica periódica. El peor valor se obtiene con la solución ligera. La solución de aislamiento térmico interior supone una mejora, para estas condiciones, del 72,34% respecto a la ligera, mientras que la solución de aislamiento por la cara exterior se corresponde con el mejor valor, que mejora un 78,72% respecto a dicha solución ligera.

Como consecuencia de estas diferencias, el régimen de la variación de flujo que atraviesa la cara interior del cerramiento es diferente en cada caso (gráfico 1). Este valor corresponde al aporte de energía que debe hacer el sistema de acondicionamiento térmico, por cada metro cuadrado de cerramiento, para mantener la temperatura de la estancia constante.

A diferencia de las dos soluciones pesadas, con la solución ligera, al producirse una variación de flujo mayor, hay periodos en los que el flujo térmico tiene sentidos contrarios. Durante un mismo día hay pérdidas y ganancias térmicas a través del cerramiento. Esto significa que el sistema de acondicionamiento debe aportar más energía en algunos momentos, exigiendo equipos más potentes, y que parte de esa energía puede tener que emplearse para refrigerar en días en que la temperatura media es inferior a la de confort, cuando sólo se debería necesitar calefactar la estancia.

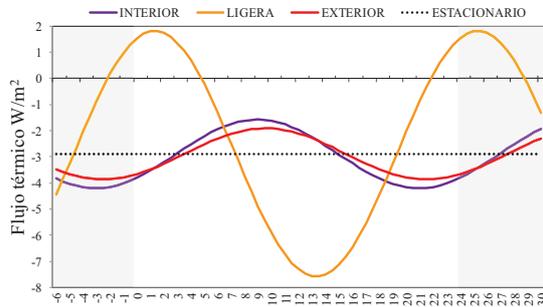


Gráfico 1 Flujo en la cara interior de los tres cerramientos

### 3 MÉTODOS DE ENSAYO

Existen diferentes tipos de ensayo para determinar las características de los cerramientos, pero la mayor parte están pensados para llevarse a cabo en laboratorios. Estos ensayos se realizan en condiciones estacionarias y omiten muchos de los factores que condicionan las soluciones reales de una obra.

Entre los ensayos de campo, el más utilizado es el análisis termoflujométrico, que consiste en observar las condiciones de temperatura a ambos lados de un cerramiento y la respuesta que provocan sobre el elemento que se estudia. La respuesta se obtiene midiendo el flujo de calor en la cara interior mediante un termoflujómetro. A través del procedimiento definido en la norma ISO 9869 se obtiene su transmitancia térmica.

El flujo térmico también se puede obtener mediante la medición de la temperatura superficial interior y la temperatura del ambiente interior, aplicando la fórmula que relaciona dichas temperaturas con la resistencia térmica superficial interior (3). A partir de este valor se puede seguir el procedimiento del análisis termoflujométrico.

$$q_2 = \frac{\theta_{i2} - \theta_{is2}}{R_{s2}} \quad (3)$$

El principal problema de ambos métodos es que su aplicación está condicionada a que las temperaturas se mantengan estables durante el ensayo y con la máxima diferencia entre ambos lados. Si no se dan esas condiciones no se consigue alcanzar un resultado estable. Como consecuencia las posibilidades de realizar el ensayo, en la mayor parte de los climas del sur de Europa se reducen a un periodo muy breve del año. Durante muchos meses, la temperatura diaria fluctúa notablemente, aproximándose en algún tramo del día a la temperatura interior.

El análisis termográfico también es de gran utilidad para abordar el estudio de los cerramientos (EN 13178). Sin embargo, su aplicación está condiciona-

da por varios factores que hacen difícil obtener valores cuantitativos precisos. Por todo ello, se considera necesario desarrollar otro método, que permita obtener más información acerca del funcionamiento térmico real de los cerramientos.

### 4 MÉTODO PROPUESTO

Se ha realizado un estudio con el objetivo de desarrollar y validar un método de ensayo que permita avanzar en el conocimiento del intercambio de energía a través de la envolvente en condiciones naturales. A través del ensayo, se pretende evaluar la adecuación del cerramiento a las necesidades de cada edificio y el modo de mejorar dicha adecuación.

Partiendo de la teoría de la conducción de calor y mediante el método de cálculo de la norma UNE-EN ISO 13786, se obtiene la relación entre las condiciones a las que está expuesto el cerramiento y las respuestas térmicas que provocan.

Para poder aplicar el método de cálculo y definir las características térmicas dinámicas, es necesario conocer las propiedades de los materiales y establecer la hipótesis de que las condiciones a las que se expone el cerramiento son periódicas. Por ello es necesario analizarlas de forma independiente. Por una parte, se calcula el flujo térmico que provoca la variación de la temperatura exterior, y por otra, el flujo que provoca la variación de la temperatura interior. Del mismo modo, mediante un proceso inverso de identificación, se realizan hipótesis de diferentes cerramientos hasta obtener la que provoca la respuesta teórica más aproximada a la obtenida de forma experimental.

#### 4.1 Medios materiales

Para realizar el ensayo se propone utilizar una sonda de temperatura del aire en el exterior, protegida de la radiación y las precipitaciones; un piranómetro; una sonda de temperatura del aire en el interior y una sonda de temperatura superficial en la cara interior del cerramiento.

Se pueden emplear otros métodos para completar la información, como el análisis de fotografías, termografías, temperatura superficial exterior o pruebas destructivas.

#### 4.2 Toma de datos

Se ha realizado el estudio de la aplicación del método sobre una de las fachadas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid (Fig. 3). Se ha seleccionado una zona ciega, que delimita un almacén situado en la segunda planta del edificio.



Fig. 3 Vista exterior de la fachada de estudio

En primer lugar se analizan las posibles discontinuidades (Fig. 4), para posteriormente implantar los instrumentos de medición. Se realizan mediciones a lo largo del mes de junio de 2012. Se recopilan los datos de la temperatura sol-aire, de la temperatura interior y del flujo térmico en la cara interior del cerramiento.

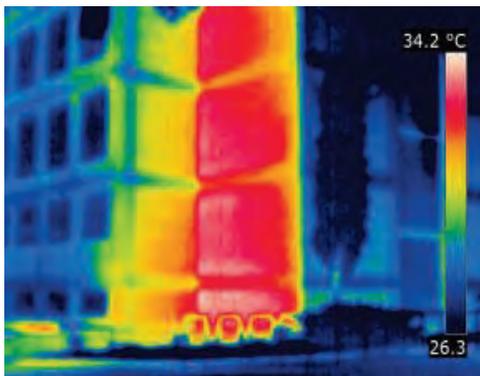


Fig. 4 Termografía exterior de la fachada de estudio

Los datos de las condiciones exteriores se han obtenido de los instrumentos situados en la estación de Agencia Estatal de la Meteorología en Valladolid capital (AEMET, 2012). La estación se encuentra aproximadamente a 1500 metros de distancia de la Escuela de Arquitectura. A pesar de que esta distancia puede provocar cierta variación con los datos de la cara exterior del elemento estudiado, se han considerado suficientemente precisos para realizar una primera aproximación al método de ensayo.

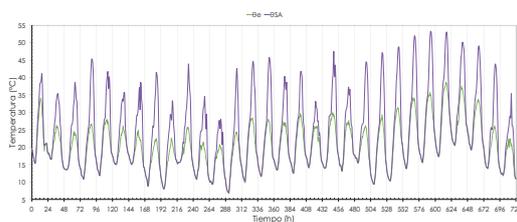


Gráfico 2 Temperatura sol-aire durante el mes de junio de 2012

Para obtener los datos de las condiciones interiores se ha empleado un Termohigrómetro de la casa Testo, modelo 435, con una sonda de temperatura superficial y una sonda de temperatura interior.



Fig. 5 Sondas de superficie (A) y de temperatura interior (B)

Se obtienen así los datos de temperatura interior (gráfico 3) y flujo térmico (gráfico 4) en la cara interior del cerramiento durante todo el mes.

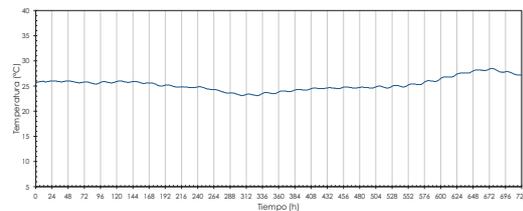


Gráfico 3 Temperatura interior durante el mes de junio de 2012

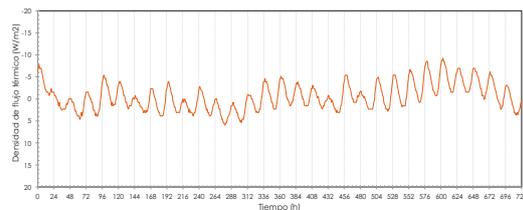


Gráfico 4 Flujo interior durante el mes de junio de 2012

### 4.3 Cálculo de parámetros

Partiendo de las series de datos que definen las condiciones exteriores e interiores, se realiza una aproximación matemática, mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT). En el gráfico 5 se comparan las aproximaciones con los datos experimentales a lo largo de un día. La aproximación se realiza para poder aplicar el método de cálculo de la norma UNE-EN ISO 13786. La función (4) se adapta a la serie de datos con mayor precisión a medida que se aumenta el número de sumandos empleados. Cada sumando es una función periódica adecuada al método de cálculo de la norma.

A

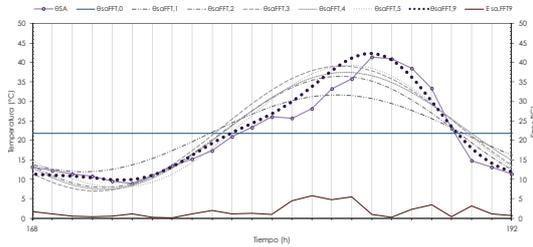


Gráfico 5 Aproximación mediante series de Fourier

$$\theta(t) = \sum_{k=0}^9 \varphi_k \cos(\omega_k t + \psi_k) \quad (4)$$

Por otra parte, partiendo de los datos disponibles en cada caso, se elabora una hipótesis de composición de cerramiento, definiendo los materiales, sus propiedades y sus espesores. A partir de la hipótesis de cerramiento, mediante el método descrito en la norma UNE-EN ISO 13786, se calculan sus propiedades térmicas dinámicas teóricas: la transmitancia térmica periódica ( $Y_{12}$ ) y admitancia térmica ( $Y_{22}$ ).

Una vez conocidas las propiedades térmicas dinámicas, se calcula el flujo térmico que provocarían en el cerramiento supuesto, las condiciones de temperatura exteriores e interiores. Este flujo corresponde con la suma del flujo provocado por la diferencia de temperatura estacionaria, es decir, la diferencia de temperaturas medias a lo largo del periodo considerado, y el flujo provocado por la diferencia transitoria debida a cada una de las funciones armónicas obtenidas de la aproximación matemática. La respuesta teórica a las condiciones de temperatura medida durante el ensayo se obtiene sumando las respuestas a las condiciones interiores (5) y exteriores (6).

$$q_{2B}(t) = \bar{q}_{2B} + \tilde{q}_{2B,FFT}(t) \quad (5)$$

$$q_{2A}(t) = \bar{q}_{2A} + \tilde{q}_{2A,FFT}(t) \quad (6)$$

$$q_{2th}(t) = q_{2A}(t) + q_{2B}(t) \quad (7)$$

Se compara el flujo térmico obtenido de forma teórica ( $q_{th}$ ), resultado de la ecuación (7), con el medido de forma experimental durante el ensayo ( $q_{ex}$ ). Las posibles discrepancias se pueden reducir efectuando nuevas hipótesis y repitiendo el proceso de cálculo hasta obtener la precisión deseada.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el ensayo realizado se ha comparado la respuesta teórica de la fachada, obtenida a través de cuatro

hipótesis de cerramientos, con la respuesta experimental.

Al igual que en muchos de los posibles casos de aplicación de este método, las hipótesis consistirán, en determinar la existencia o no de aislamiento y considerar un valor de espesor y de conductividad. En este caso las capas que componen las diferentes hipótesis son, de exterior a interior: una hoja de fábrica de ladrillo caravista, una cámara de aire rellena o no de aislamiento, una hoja interior de fábrica de ladrillo hueco doble y un guarnecido y enlucido interior. Las hipótesis cuyos gráficos de composición se corresponden con las figuras 6 y 7, se diferencian esencialmente en que la primera hipótesis H01 no contiene material aislante en la cámara, mientras que en la segunda hipótesis H02 contiene 50 milímetros de lana de roca (LR). La H03 contiene 55 milímetros de poliestireno expandido (EPS) y la H04 contiene el mismo espesor de dicho material pero con una conductividad térmica inferior.

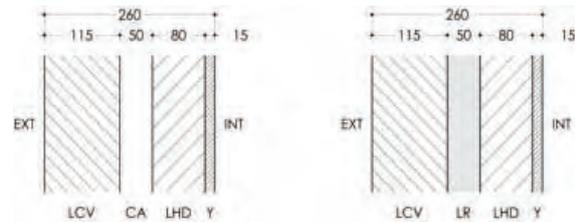


Fig. 6 Hipótesis de cerramiento H01 y H02.

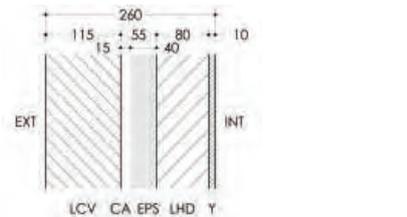


Fig. 7 Hipótesis de cerramiento H03 y H04.

Para facilitar el cálculo se ha dividido el mes en seis series de cinco días. Se ha obtenido un error medio, para los seis periodos, inferior al 25% de la variación de flujo térmico. En los siguientes gráficos se aprecia la comparación a lo largo de una semana (gráfico 6) y a lo largo de un día (gráfico 7)

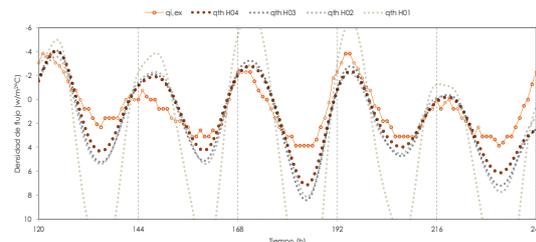


Gráfico 6 Comparativa de respuestas durante una semana

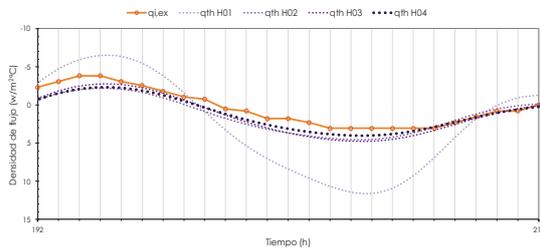


Gráfico 7 Comparativa de respuestas durante un día

## 6 CONCLUSIONES

Es necesario optimizar el funcionamiento térmico de las envolventes analizando los fenómenos físicos que intervienen en el proceso de intercambio térmico. Se han revisado los métodos de ensayo existentes llegando a la conclusión de que ninguno de ellos ofrece la información suficiente para definir su funcionamiento en condiciones reales. Finalmente, se ha propuesto un nuevo método de ensayo, y se ha comprobando su utilidad mediante su aplicación en un caso real. De todo lo expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha demostrado que además de las características térmicas estacionarias, que habitualmente se regulan en la normativa, es imprescindible tener en cuenta las características térmicas dinámicas, actualmente relegadas a procesos intuitivos no regulados.
- La solución térmica óptima de cada caso depende de las condiciones a las que se expone, es decir, del clima y del uso. La consideración de la inercia térmica efectiva puede reportar importantes mejoras en el confort térmico, mejorar la eficiencia energética y reducir la emisión de gases contaminantes.
- Se ha desarrollado un nuevo método de ensayo, que permite su aplicación en cualquier tipo de condiciones climáticas durante todo el año.

Se ha efectuado un ensayo siguiendo el método propuesto. El ensayo se ha desarrollado con éxito, a pesar de las grandes oscilaciones de temperatura entre el día y la noche, de la notable influencia de la radiación sobre el cerramiento estudiado, y de la continua variación del sentido del flujo térmico, con valores muy próximos a cero. Sin embargo, se aprecia una importante divergencia entre los valores obtenidos de forma teórica y experimental. Esta divergencia se debe al error de precisión derivado de la aproximación matemática realizada y a la falta de precisión en la toma de datos de las condiciones exteriores.

En cuanto a la aproximación matemática se puede conseguir mayor precisión aumentando el esfuerzo

en el cálculo. Respecto a la toma de los datos exteriores, es necesario disponer instrumentos propios que tengan en cuenta posibles fenómenos locales que han podido pasar inadvertidos. Los datos utilizados proceden de instrumentos que no se encuentran en el entorno de la cara exterior del cerramiento estudiado, donde se pueden dar gradientes de temperatura y radiación reflejada ligeramente diferentes a los del entorno.

- Se han obtenido datos reales del intercambio de energía, que pueden resultar de gran utilidad para diseñar sistemas de acondicionamiento y evaluar el consumo energético del edificio.

Por todo lo expuesto, se ha demostrado que el método no sólo constituye una valiosa herramienta de análisis previo para la intervención en edificios existentes, sino que también lo es para la evaluación de las posibles mejoras que se propongan en casos de rehabilitación.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- AEMET, 2012. Agencia Estatal de Meteorología. <<http://www.aemet.es>> [Acceso 31 de julio de 2012].
- ASHRAE, 2001. 2001 ASHRAE handbook: fundamentals. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
- ATECYR, 2008. Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Madrid: IDEA.
- EN 13178:1998 Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos.
- ISO 9869:1994 Thermal insulation - Building elements - In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- NEILA, F.J., 2004. Arquitectura bioclimática: en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería.
- OLIVER, A., NEILA F.J., GARCIA A., 2011. PCM inclusion in gypsum boards for thermal energy storage through latent heat: thermal characterization with DSC. Informes de la Construcción, 63(522), pp. 61-70.
- UNE-EN ISO 13786:2011 Prestaciones térmicas de los productos y componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo.
- WATSON, D., 1979. Energy conservation through building design. New York: MacGraw-Hill.

## PREI, PROYECTO PILOTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA INTEGRAL en EDIFICIO DE VIVIENDAS.

José Carlos Greciano Merino.

*Ingeniería edificación y arquitectura -ANERR Asociación Nacional Empresas Rehabilitación y Reforma, Madrid, España.*

### RESUMEN:

Proyecto piloto con el objetivo de poner en práctica y conocer cual es el límite en la eficiencia energética a la que se puede aspirar en una rehabilitación integral de un edificio existente, evaluar la viabilidad económica de las actuaciones y desarrollar un método de evaluación y cuantificación de la calidad de la rehabilitación tanto en la planificación, ejecución, comprobación de reducción del consumo y aumento del confort de los usuarios. Todo ello de forma real no sólo teórica.

Se propone desarrollar una batería de soluciones para aumentar la Eficiencia Energética del Edificio y reducir su consumo de energía.

Se trata de una actuación de rehabilitación integral en la que se van a afrontar todos los puntos y elementos susceptibles de mejora para la obtención de un edificio con un consumo de energía casi nula partiendo de un edificio existente en una situación técnica muy desfavorable.

A partir de un edificio típico de los años 60, en este caso Madrid (zona climática D3 IV).

Se trata de un edificio con uso comercial y viviendas en plantas altas.

Las ACTUACIONES PROPUESTAS afectan a:

- ENVOLVENTE
- INSTALACIONES TÉRMICAS.
- INSTALACIÓN ELÉCTRICA.
- INSTALACIONES HIDRÁULICAS
- DOMOTICA
- RENOVABLES

## PROYECTO PILOTO DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA INTEGRAL. EDIFICIO DE VIVIENDAS.



Gestor del proyecto: José Carlos Greciano Merino.  
ANERR-Ingeniae.

### OBJETIVOS.

Los objetivos de este proyecto piloto son poner en práctica y conocer cual es el límite en la eficiencia energética a la que se puede aspirar en una rehabilitación integral de un edificio existente, evaluar la viabilidad económica de las actuaciones y desarrollar un método de evaluación y cuantificación de la calidad de la rehabilitación tanto en la planificación, ejecución, comprobación de reducción del consumo y aumento del confort de los usuarios.

Se pretende cuantificar los costes de rehabilitación y los ahorros producidos tras la misma, pudiendo compararse y obtener el periodo en que se recupera lo invertido.

Todo ello de forma real no sólo teórica.

Se trata de una actuación integral en un edificio existente cuyo objetivo es una reducción drástica de consumo que ya se está produciendo y cada día que

se demora la actuación el derroche de energía y recursos se está produciendo, no como en el caso de edificios nuevos en los que se prevé dotar de un funcionamiento inicial de bajo consumo.

Pretende el proyecto llevar a la práctica las soluciones y tecnologías existentes para conseguir una reducción de los consumos de energía y cuantificar sus resultados de forma real. Con ello se podrá valorar el coste de las actuaciones y su repercusión en los gastos del edificio.

### LAS PARTES DEL PROYECTO.

1. AUDITORÍA Y MONITORIZACIÓN.
2. ESTUDIO DETALLADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. CALIFICACIÓN.
3. APLICACIÓN DE SOLUCIONES. EJECUCIÓN.
4. SEGUIMIENTO DE RESULTADOS. CERTIFICACIONES.
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Se propone desarrollar una batería de soluciones para aumentar la Eficiencia Energética del Edificio y reducir su consumo de energía.

Se trata de una actuación de rehabilitación integral en la que se van a afrontar todos los puntos y elementos susceptibles de mejora para la obtención de un edificio con un consumo de energía casi nula partiendo de un edificio existente en una situación técnica muy desfavorable.

## EDIFICIO OBJETO DE LA ACTUACIÓN.

Edificio de viviendas en bloque. Ubicado en Madrid, barrio de Fuencarral.

A partir de un edificio típico de los años 60 construido en las ciudades, en este caso Madrid (zona climática D3 IV), se pretende hacer una actuación en la que se mejore la eficiencia energética del edificio.

Se trata de un edificio con planta baja de uso comercial dedicada actualmente a taller de vehículos, dos plantas de vivienda y planta de cubierta transitable accesible. Con dos fachadas orientadas a Norte y Oeste

La tipología edificatoria cuenta con cerramiento sin ningún tipo de aislamiento ni elemento que haga esta función o proporcione a la envolvente además de cerramiento y defensa física un aislamiento y defensa térmica. No tenido en cuenta de ninguna forma en su construcción y diseño.

Dotado de instalaciones de climatización y refrigeración no existentes en el edificio en su construcción, se le han dotado con posterioridad.

Las instalaciones carecen de sistema de control y disponen de funcionamiento de encendido y apagado.

Tipología de vivienda muy extendida lo que permite ser una prueba piloto muy representativa.

La combinación en el edificio del uso residencial en plantas altas con el comercial en Baja permite chequear también sistemas complementarios no tan aptos para viviendas y si para otros usos.



## ACTUACIONES PROPUESTAS:

### - ENVOLVENTE

Fachada. Aislamiento.  
Puentes Térmicos. Eliminación.  
Suelos. Aislamiento  
Primer Forjado. Aislamiento.  
Cubierta. Aislamiento.  
Huecos, ventanas y puertas. Mejora de acristalamientos y carpinterías. Protección solar.  
Aumento de Inercia.  
Estanqueidad.

### - INSTALACIONES TÉRMICAS.

Calefacción, producción. Mejora de la eficiencia.  
Climatización, producción. Mejora de la eficiencia.  
Sistema emisión. Suelo Radiante.  
Ventilación. Recuperación de calor.  
ACS. Equipos de altas prestaciones  
Regulación, temporización.  
Aislamiento de conducciones.

### - INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Protección mando y maniobra.  
Iluminación: detección de presencia y bajo consumo.  
Electrodomésticos.  
Optimización del contrato de suministro.

### - INSTALACIONES HIDRÁULICAS

Mejora de la eficiencia.  
Control de consumo.  
Reutilización de aguas.

### - DOMOTICA.

Control y monitorización climatización.  
Control iluminación  
Monitorización consumo eléctrico.  
Telecomunicaciones

### - RENOVABLES

Iluminación. Natural,  
Autogeneración eléctrica.  
Solar Térmica.  
Punto de carga, coche eléctrico.

## TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS.

- Termografía.
- Monitorización de consumos.
- Test Blowerdoor
- Herramientas de pre-estudio y estimación de ahorros previstos.
- Modelización.
- Calificación energética del edificio.

## AUDITORÍA Y MONITORIZACIÓN.

Permitirá conocer la situación actual del edificio respecto a su uso de la energía y su coste asociado e identificar y caracterizar los factores que afectan al consumo de energía.

Mediante:

- Análisis de Suministros Energéticos y contratos, evolución del consumo, coste de las facturas, potencia de los equipos consumidores y análisis del perfil de uso de los usuarios. Obteniendo la Curva de Carga del Edificio.
- Análisis de las Instalaciones. La identificación de los equipos por cantidad de consumo.

Realización de la Contabilidad Energética. Antes de calcular el potencial de cada una de las medidas de ahorro a recomendar se debe entender el consumo energético, es decir, se ha de saber qué se consume, cuánto se consume y dónde se consume. Para ello se realizará el balance energético del edificio.

## ESTUDIO DETALLADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. CALIFICACIÓN.

Definición y evolución de las soluciones, respecto de su ahorro energético, ahorro económico y coste de la inversión. Análisis y desarrollo con cálculos de la propuesta de mejoras.

Evaluación de medidas que reducen la demanda, la potencia y el tiempo de uso así como medidas que aumentan el rendimiento.

Cada propuesta de mejora, será cuantificada y comparada, según su Ahorro económico, Ahorro energético, Ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, Inversión y Periodo de retorno simple.

Incluirá la simulación energética mediante un software para predecir los resultados.

El cumplimiento de normativa estará en el ámbito de eficiencia energética por encima de los mínimos requeridos (CTE, RITE, Calificación,...etc)

Se obtendrá para el edificio la certificación mediante alguno de los estándares reconocidos.



## EXPERIENCIA EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA Y ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO REY PELAYO DE GIJÓN

L. Jorge Noval Muñiz

*Jorge Noval Estudio de Arquitectura, Gijón, España*

José A. Almagro Medialdea

*Director Técnico ESFER Construcciones y Proyectos, Oviedo, España*

### 1 PALABRAS CLAVE:

REHABILITACIÓN SOSTENIBLE / EFICIENCIA ENERGÉTICA / REFUERZO ESTRUCTURAL / FACHADA VENTILADA / AISLAMIENTO.

### 2 RESUMEN GENERAL

La Rehabilitación del Edificio Rey Pelayo ha consistido en un trabajo ímprobo de soluciones constructivas en fase de arquitectura, reducción del impacto visual que el edificio causaba en el entorno (Casco Histórico de Gijón), rehabilitación estructural de zonas con severos problemas de corrosión y mejora de la transmitancia térmica (U) tanto en cerramientos opacos como traslucidos (cumplimiento del CTE).

Todo este trabajo se ha llevado a cabo desde junio 2010 a octubre 2011, habiendo conseguido: estabilidad estructural; el perfecto anclaje de una nueva piel (Fachada Ventilada – Muro Cortina – Carpintería) que garantiza un nuevo periodo de uso del edificio en óptimas condiciones; la mejora de la transmitancia (U) de la envolvente en un 45%; y el tratamiento artístico de unas fachadas de medianería que causaban un enorme impacto negativo en el entorno (el edificio en cuestión tiene 15 plantas y los colindantes 4 plantas).

### 3 DATOS DE LA OBRA

- Importe de Ejecución de Obra 2.044.789,50 euros
- Superficie de actuación de envolvente opaca 2.500m<sup>2</sup>
- Superficie de actuación de envolvente traslucida 1.330m<sup>2</sup>
- Plazo de Ejecución 15 meses
- N° medio de RR.HH. 12 personas

### 4 MEMORIA ARQUITECTÓNICA Y SOLUCIÓN ADOPTADA.

El edificio está situado en la Plaza del Marqués núm. 10 de Gijón, frente al puerto deportivo y en pleno casco histórico. Fue proyectado en el año 1967 por los arquitectos D. Enrique Alvarez Sala y D. José Díaz Canteli. El uso principal es de vivienda entre las plantas segunda y decimocuarta, oficinas en la planta primera y comercial en planta baja. Ocupa una superficie en planta de 412 m<sup>2</sup>.

El Edificio presentaba un deterioro de la estructura metálica de las terrazas con pérdidas de sección, debido al fenómeno de la corrosión, que en este caso se ve favorecido por el ambiente marino, muy agresivo, al que está expuesto el inmueble. Existían también otros factores que favorecían la oxidación, como eran la falta o escasa pintura de protección de los perfiles metálicos, la permeabilidad del hormigón que los recubría y la deficiente impermeabilización, también se detectó un acelerado envejecimiento de la cara exterior de la fachada motivado por la malla colocada en anterior rehabilitación, desprendimientos de gresite en la fachada posterior y grandes pérdidas térmicas de la envolvente motivadas por su exposición a los agentes climatológicos, debido a su emplazamiento y altura. Además el edificio disponía de elementos – repertorio- importados de otras culturas como por ejemplo las terrazas situadas al norte, desde todo punto impropias en ese lugar.

Con lo expuesto la rehabilitación de la fachada tenía que resolver la patología –daños en la estructura y en el revestimiento- para mantener el edificio en las debidas condiciones de seguridad y ornato. También se quería poner en valor otro repertorio formal que diera respuesta al lugar y restaurara la dignidad de sus trazos, convirtiendo las terrazas en modernas galerías acristaladas creando una cámara de aire entre el exterior agresivo y los espacios interiores.

Por otra parte, dado el gran impacto visual del edificio desde la playa o desde la Plaza Mayor, se diseñaron las fachadas traseras con una textura que intentaba fundirlo con la atmósfera, mediante un efecto de cielo pixelizado.

Se propone una solución constructiva – fachada ventilada de hormigón polímero- consistente en incorporar un aislamiento térmico y acústico sobre el soporte existente, dejando una cámara de aire entre éste y el nuevo revestimiento, también se sustituyen las carpinterías de balcones por sistema de muro cortina y las carpinterías de ventanas, como opción más conveniente para eliminar los posibles desprendimientos y se mejoran considerablemente los aspectos de confort.

En cuanto al proceso de reparación de zonas de terrazas, las actuaciones a realizar son las siguientes:

- Saneado del ala inferior de las viguetas IPN que presentan un leve estado de oxidación.
- Sustitución de las viguetas que presenten un estado de oxidación grave en su parte inferior.
- Sustitución o saneado de los angulares de atado.
- Reparación de la impermeabilización con el fin de garantizar la durabilidad de las viguetas y evitar humedades en pisos inferiores.
- Saneado de las vigas perimetrales que sirven de alero a los laterales de las terrazas y reposición de las piezas de revestimiento correspondientes.

Desde el punto de vista de la rehabilitación energética la colocación de la fachada ventilada y la sustitución de las carpinterías eliminan las radiaciones directas, la exposición al ambiente marino o las inclemencias meteorológicas sobre muros y forjados,

protegiéndoles de las patologías que afectan a los edificios construidos con sistemas tradicionales.

## 5 CALCULOS ENERGÉTICOS DE MEJORA

### 5.1. Planteamiento del muro. Estado Original

La envolvente original se encontraba con el siguiente muro como cerramiento exterior

- A.- Prefabricado de Piedra 2 cm,  $\lambda = 1,20 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- B.- Fábrica de Ladrillo 14,5 cm,  $\lambda = 0,60 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- C.- Cámara de aire de 5 cm,  $\lambda = 0,18 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- D.- Poliestireno Proyectado 3 cm,  $\lambda = 0,34 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- E.- Enfoscado 2 cm,  $\lambda = 1,20 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- F.- Fábrica de Ladrillo hueco 7 cm,  $\lambda = 0,42 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- G.- Enlucido de yeso 2 cm,  $\lambda = 1,20 \text{ W/m} \cdot \text{k}$

#### 5.1.1.- Análisis del Coeficiente de Transmisión del Cerramiento ORIGINAL.

El comportamiento del cerramiento del muro original debe ser analizado para conocer los datos de partida. En estos cerramientos verticales, existe un flujo horizontal, por tanto tomaremos como valor de conductancia exterior:

- Conductividad cerramiento exterior =  $1/h_{ext} = 0,07 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$
- Conductividad cerramiento interior =  $1/h_{int} = 0,13 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k} = R_{Si}$

Calcularemos a continuación el valor del Coeficiente de Transmisión de Calor del Cerramiento:

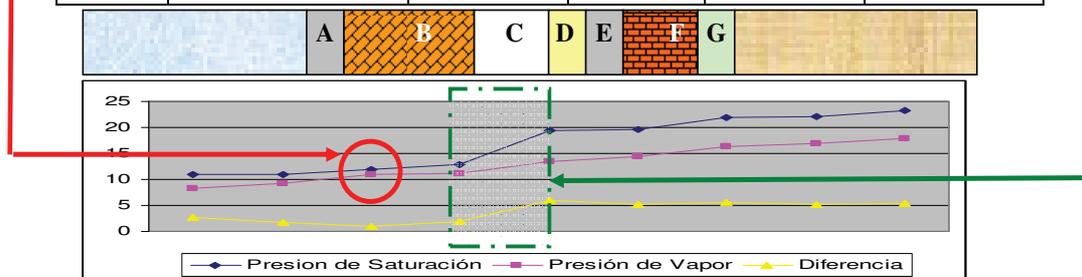
$$C = 1/h_{ext} + \Sigma (1/h_i) + 1/h_{int}$$

$$C = 1 / K = 0,07 + (0,02 / 1,20) + (0,145 / 0,60) + (0,02 / 1,20) + (0,03 / 0,034) + 0,18 + (0,07 / 0,42) + (0,02 / 1,20) + 0,20 \text{ [W/m} \cdot \text{k]} = 1 / 1,7907$$

$$C = 0,558 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

### 5.1.2.- Comparación de las presiones de vapor y saturación en cada una de las capas

Capas	Material	Presión de Saturación (mbar)	Presión de Vapor (mbar)	Diferencia	Resultado
P <sub>e</sub>	-	10,90	8,29	2,61	Ok
P <sub>1</sub>	Prefabricado Piedra	10,95	9,20	1,75	Ok
P <sub>2</sub>	Ladrillo macizo	11,90	10,96	0,94	Ok - ¿?
P <sub>3</sub>	Cámara de aire	12,92	11,08	1,84	Ok
P <sub>4</sub>	Aislamiento	19,47	13,45	6,02	Ok
P <sub>5</sub>	Enfoscado	19,62	14,36	5,26	Ok
P <sub>6</sub>	Ladrillo hueco	21,87	16,35	5,52	Ok
P <sub>7</sub>	Enlucido de yeso	22,04	16,94	5,1	Ok
P <sub>i</sub>	-	23,36	17,98	5,38	Ok



### 5.1.3.- Conclusiones.

No se producen a priori condensación en las capas interiores del cerramiento, aunque en la capa número 2 (ver recuadro rojo en gráfico), ladrillo macizo, la diferencia entre la presión de vapor y la presión de saturación es  $< 1$  mbar lo que representa un alto riesgo de condensación si las condiciones fueran muy adversas, y en el caso de que se produzcan condensaciones éstas se darán en la cámara de aire interior, es decir, el peor sitio posible ya que no apreciaremos su aparición hasta que la condensación se transforme en gotas de agua y den lugar a humedades tanto en el exterior de la fachada como en el interior de las viviendas.

Es importante también destacar que la mayoría de los aislamientos, sobre todo los proyectados como la espuma de poliuretano, se descomponen al estar en contacto con el agua por lo que éste tipo de condensaciones pueden llevar a la completa desaparición del aislamiento existente en el muro.

Otra observación es que claramente la mayor diferencia de presiones se produce en la zona de cámara de aire y aislamiento

(ver recuadro rojo en gráfico), por lo que es evidente que estos elementos aire y aislamiento, son los que dan aislamiento al muro.

### 5.2.- Aplicación del Sistema de Fachada Ventilada al Muro Original.

#### 5.2.1.- Análisis de la mejora de la Conductancia con el Sistema de Fachada Ventilada.

Dadas las condiciones del edificio, y una vez analizada su calidad climática interior, proponemos la colocación de un sistema de Fachada Ventilada que mejore las condiciones del edificio.

El sistema de Fachada Ventilada que se propone no altera para nada la estructura del cerramiento actual, simplemente lo mejora, creando una nueva capa de cerramiento, y sustituyendo de este modo la fachada actual por una nueva fachada, una nueva piel del edificio. El sistema de Fachada Ventilada que estudiaremos propone la colocación de una estructura metálica (aluminio extruido) anclada al cerramiento actual del edificio.

A

En las superficies del cerramiento actual no ocupado por la subestructura de aluminio que portará la Fachada Ventilada se colocará una capa de aislamiento, que bien puede ser lana mineral (lana de roca).

Por tanto, y pasando a la realización de los cálculos de mejora de conductancia, al cerramiento anterior incorporaremos en su capa más exterior los siguientes elementos:

- 1.- Hormigón Polímero 1,1 cm,  $\lambda = 1,05 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- 2.- Cámara de aire 15 cm,  $\lambda = 0,16 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
- 3.- Lámina aislante lana de roca 5 cm,  $\lambda = 0,034 \text{ W/m} \cdot \text{k}$

La conductancia exterior e interior es la misma, por tanto únicamente incorporaremos al cálculo anterior los valores de las nuevas capas

- $\Sigma (1/h_i) \rightarrow$  valores de transmisividad del cerramiento Original
- $\Sigma (1/h_{FV}) \rightarrow$  valores de transmisividad de los elementos de la Fachada Ventilada

$$C' = 1/h_{ext} + \Sigma (1/h_i) + 1/h_{int}$$

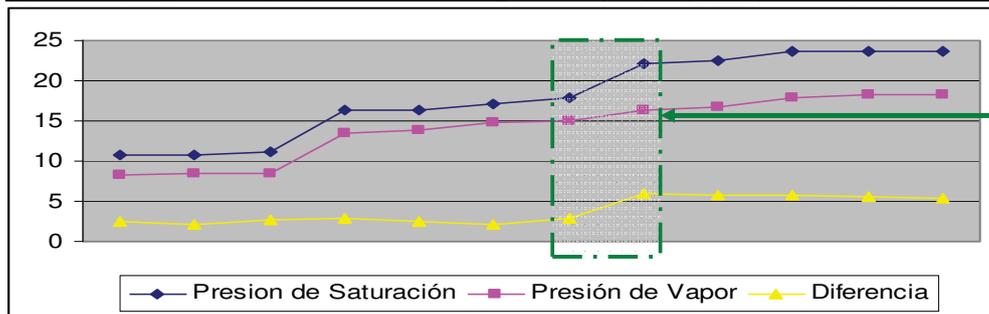
$$C' = 1 / K' = 0,07 + (0,011 / 1,05) + 0,16 + (0,05 / 0,034) + (0,02 / 1,20) + (0,145 / 0,60) + (0,02 / 1,20) + (0,03 / 0,034) + 0,18 + (0,07 / 0,42) + (0,02 / 1,20) + 0,20 \text{ [W/m} \cdot \text{k]} = 1 / 3,4308$$

$$C' = 0,292 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

(Mejora del 45 % respecto a la conductancia del muro modelo)

### 5.2.2.- Comparación de las presiones de vapor y saturación, con Fachada Ventilada.

Capas	Material	Presión de Saturación (mbar)	Presión de Vapor (mbar)	Diferencia	Resultado
$P'_e$	-	10,70	8,24	2,46	Ok
$P'_1$	Hormigón Polímero	10,72	8,52	2,20	Ok
$P'_2$	Cámara de aire	11,19	8,52	2,67	Ok
$P'_3$	Aislamiento Lana Roca	16,34	13,39	2,95	Ok
$P'_4$	Prefabricado Piedra	16,40	13,90	2,50	Ok
$P'_5$	Ladrillo macizo	17,09	14,88	2,21	Ok
$P'_6$	Cámara de aire	17,88	14,95	2,93	Ok
$P'_7$	Aislamiento	22,20	16,27	5,93	Ok
$P'_8$	Enfoscado	22,52	16,78	5,74	Ok
$P'_9$	Ladrillo hueco	23,63	17,89	5,74	Ok
$P'_{10}$	Enlucido de yeso	23,71	18,22	5,49	Ok
$P'_i$	-	23,71	18,25	5,46	Ok



A

### 5.2.3.- Conclusiones.

La mejora es del todo apreciable ya que la diferencia entre la presión de saturación y la presión de vapor es mayor y constante (ver línea amarilla del gráfico) en el caso del Cerramiento con Fachada Ventilada que con el Cerramiento Original, lo que confiere más garantías ante situaciones climatológicas adversas o puentes térmicos entre materiales y, en ningún caso, se generarían condensaciones en el interior del cerramiento original por lo que de ninguna manera podrán aparecer humedades.

Es también destacable que el aislamiento interior del cerramiento vuelve a ser el punto de máxima diferencia de presiones, aunque en éste caso viene precedido de una estructura de cerramiento estable y constante respecto a la diferencia de las presiones.

## 6 ACOTACIONES CRÍTICAS A LA RELACIÓN ENERGÍA & ARQUITECTURA

Los arquitectos afrontamos un reto ante el progresivo deterioro a que está sometido nuestro medio ambiente y especialmente el medio ambiente urbano. Baste citar que la combinación de contaminación, deforestación y producción de residuos están conduciendo a fenómenos como el efecto invernadero que, según los modelos climáticos experimentados en diversas universidades, está provocando una creciente elevación de la temperatura sobre la superficie terrestre.

Este Congreso se inscribe pues dentro del objetivo de contribuir al entendimiento y difusión de un nuevo enfoque arquitectónico que se adecúe a la problemática comentada, insistiendo en las propuestas de ahorro energético en la edificación y así contribuir a disminuir la gran contaminación que produce este sector y al mismo tiempo intercambiando el conocimiento con los profesionales de materias medioambientales aún no incorporadas en nuestros planes de estudios, o solo parcialmente.

Centrándonos en los edificios según su necesidad de energía, tomemos como ejemplo un gran edificio de oficinas en altura con cerramiento de vidrio. Este sería inhabitable por sí mismo ya que absorbería la radiación solar de día y la perdería inmediatamente al oscurecer por lo que necesita un gran aporte energético para mantener las condiciones de confort. Es sabido que la arquitectura nace para modificar el medio –hoy día la auténtica naturaleza para el hombre, es la urbana. Ya que no sobreviviríamos en la selva por ejemplo- y así se desarrolló

desde el Homo Sapiens desde hace más de 100.000 años, dando lugar a las tipologías de cada lugar, hasta llegar al momento actual, donde depende de la habilidad para dominar y manipular la energía. Así podemos encontrar el mismo edificio del ejemplo anterior en Chicago o en Sudáfrica ya que con el nacimiento de la era del petróleo aparece la nueva arquitectura. La nueva ciudad que con una energía abundante, fácil de utilizar y a bajo coste –la producción de un pozo de petróleo día es similar a la de 40.000 mineros de carbón- está inmersa en un medio artificial que ha progresado con los descubrimientos de energías potentes y asequibles adaptadas a los hallazgos científico-técnicos nos sitúan en el presente donde se nos está alertando para no transgredir ciertas referencias biológicas o culturales ya que un progreso ilimitado e incontrolado acabará en deshumanización.

En Asturias tenemos ejemplos recientes de ello. Baste recordar que determinados arquitectos proponen idénticas soluciones ya sea en Brasilia, Turín o Avilés.

Deberíamos pues, redefinir nuestro hábitat relacionándolo con las energías disponibles y sus efectos sobre la naturaleza.

Del equilibrio

ENERGIA + PROGRESO =  
MEDIO ARTIFICIAL

HOMBRE + CULTURA ARQUITECTONICA =  
HABITAT

Depende básicamente la historia de la humanidad Sirva como ejemplo de lo anterior que uno de los elementos determinantes de la victoria de las fuerzas de la OTAN en Kosovo fue el ataque con bombas de grafito que interrumpían la corriente eléctrica. Igualmente cuando Kabila llegó al poder en el Congo controló las ciudades, controlando las presas y a su vez la electricidad. Hoy las tropas ya no necesitan sitiar las ciudades para evitar su aprovisionamiento. Basta con apoderarse de sus presas o lanzar bombas de grafito para anular las centrales eléctricas.

Para evitar esta gran dependencia energética, el diseño arquitectónico debe dar respuesta a las exigencias de habitabilidad aprovechando los medios energéticos ambientales o sistemas pasivos, complementando aquellos hasta alcanzar las condiciones de confort con medios tecnológicos o sistemas activos. En cuanto a los primeros sus fundamentos básicos están en EL LUGAR, LA HISTORIA y LA CULTURA.

EL LUGAR como punto de referencia del hombre en cuanto contexto y entorno nos ofrece información sobre clima y microclima así como de los materiales de construcción, su uso adecuado y el paisaje

EL CLIMA nos informa sobre los aspectos térmicos y lumínicos

LA HISTORIA de la arquitectura nos enseña la constante adecuación del hombre al entorno mediante el rico repertorio formal presente en todas las ciudades

LOUIS KAHN:

“No puedo definir un espacio como espacio propiamente dicho si no tengo la luz natural. Y esto, porque los estados de ánimo creados por la hora del día y por la estación del año ayudan siempre a evocar lo que los espacios pueden ser...”

INSTITUTO INDIO DE DIRECCION AHMEDABAD INDIA 63-74

CONSULADO NORTEAMERICANO EN LUANDA. ANGOLA 59-61

En el primero de los ejemplos, Kahn dispone una falsa fachada para proteger de la incidencia directa de los rayos solares al tiempo que dispone un sistema que hace recircular el aire en contacto con el terreno, bajo el solado y por el interior de los muros, basado en el hipocausto romano.

En el edificio de Luanda tras la atenta observación de la arquitectura autóctona que disponía en todas las edificaciones de cubiertas ventiladas para favorecer el intercambio térmico, Kahn proyecta una doble cubierta, de forma tal que la superior protege del sol y la inferior de la lluvia creando una cámara entre ambas que realiza la misma función que la autóctona.

Cuando explicaba estas cuestiones en la Escuela de Arquitectura de Yale, un joven alumno le preguntó para qué hacía esas cosas ya que los edificios disponían de aire acondicionado a lo que Kahn le respondió que considerara que esos aparatos pueden averiarse. Probablemente hoy le habría respondido que un buen diseño arquitectónico favorece la sostenibilidad.

Termino haciendo un aviso para navegantes. Recordemos que el Movimiento Moderno nace como consecuencia del hacinamiento que la Revolución Industrial produjo en las ciudades, como magníficamente denunció Dickens. Le Corbusier, cabeza visible del M.M. propuso numerosas soluciones tendientes a mejorar aquella situación pero desgraciadamente tan solo perduraron las imágenes de las propuestas quedando aquellas vacías de contenido.

El aviso, pues, va dirigido a aquellos que no ven otra salida a la arquitectura, más que la bioclimática; que probablemente producirá ejemplos de alto valor de cambio, cuando la Arquitectura con mayúsculas siempre ha sido bioclimática, como ha sido tecnológica etc. ¿O acaso no es bioclimático el hipocausto romano o tecnológico el Gótico?

Como conclusión debemos recordar las palabras del Arquitecto Julio Cano Laso: “En todas las obras que puedo publicar, se da la común circunstancia de haber tenido un cliente sensible e inteligente. Para hacer una buena Arquitectura se necesita un cliente así y un profesional competente”

## Evaluación de la sostenibilidad en la rehabilitación de envolventes

Perianes A., Bohórquez MJ., Vega R.  
INTROMAC, Cáceres, España

### RESUMEN:

La necesidad de reducir el uso de energía y alcanzar un modelo de baja emisividad para el sector de la edificación, de acuerdo con el objetivo 20-20-20 de la Unión Europea, implica establecer métodos para la toma de decisiones y actuar sobre el parque edificado existente.

Los edificios, al tener una prolongada vida útil, requieren un análisis de sus impactos asociados en el largo plazo, realizado desde una perspectiva de su sostenibilidad. Esto implica desarrollar metodologías y herramientas de fácil manejo que orienten en la toma de decisiones tanto al proyectista como al usuario final.

Este documento presenta una metodología orientada a evaluar la sostenibilidad medidas pasivas de eficiencia energética aplicadas sobre la envolvente térmica (fachada, cubierta, suelos, huecos), desarrollada dentro del proyecto EDEA-RENOV. Incluye una cuantificación de impactos asociados al ciclo de vida del edificio: actuaciones de demolición; construcción y transporte de productos a la obra; funcionamiento y uso del edificio y operaciones de mantenimiento. Permite comparar los beneficios económicos, ambientales y sociales de unas soluciones constructivas frente a otras, y pretende ser la base para el diseño de una herramienta que acompañe al técnico en la toma de decisiones y arroje resultados acerca de su rentabilidad.

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Justificación

Debido a las bajas exigencias reglamentarias nacionales en materia de comportamiento térmico de los edificios y a la antigüedad del parque existente, se deduce que este tiene un gran potencial de ahorro energético. Actuar con criterios de eficiencia energética sobre la parte pasiva del edificio, concretamente sobre su envolvente térmica, reduciría significativamente el consumo energético asociado a la fase de uso y funcionamiento del edificio minimizando sus necesidades de climatización, y favorecería sin duda un menor consumo de energía en los edificios a largo plazo.

Sin embargo, ante la situación de crisis del sector de la construcción y ante las exigencias normativas establecidas por la Comisión Europea en materia de eficiencia energética en edificación, es necesario salvar la incertidumbre que supone la incorporación

de soluciones técnicas distintas a las convencionales y ofrecer garantías sobre su viabilidad e idoneidad. Además es importante que estas técnicas sean previamente evaluadas y testeadas para asegurar su eficiencia y rentabilidad, y así generar un conocimiento necesario para su difusión y aplicación entre fabricantes, distribuidores, constructores, instaladores, técnicos y usuarios.

Pero no es suficiente incluir parámetros que mejoren la eficiencia energética durante la fase de uso del edificio. Puesto que el sector de la edificación tiene una enorme influencia en la evolución del consumo de recursos, energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, es necesario realizar un análisis más profundo de los impactos asociados a los productos de construcción y a su incidencia en la construcción y rehabilitación energética, incluyendo criterios de sostenibilidad aplicados a las fases del ciclo de vida del edificio (construcción, uso, mantenimiento, demolición) que permitan comparar las ventajas económicas, ambientales,

energéticas y sociales de unas soluciones frente a otras.

### 1.2 Antecedentes

Esta metodología es parte del trabajo realizado desde INTROMAC-Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, como socio del Proyecto EDEA<sup>1</sup> y Proyecto EDEA-RENOV<sup>2</sup>.

Uno de los principales retos del proyecto EDEA es crear una metodología de diseño y construcción de viviendas sociales sostenibles, que incorpore criterios de bajo impacto ambiental, energético y económico asociado a su ciclo de vida. Esta idea se ha materializado con la construcción de dos demostradores-prototipo, construidos en el Polígono de las Capellanías de Cáceres. Los demostradores son inicialmente iguales, tienen una tipología similar a las viviendas sociales fomentadas por el gobierno regional extremeño y cumplen con los requisitos mínimos establecidos en el CTE. La diferencia entre ambos consiste en que uno de ellos, el “demostrador patrón”, será el edificio de referencia y el otro, “demostrador experimental”, será objeto de mejoras energéticas pasivas y activas. Estas mejoras se analizan en una primera etapa de forma teórica (a partir de simulaciones informáticas) y en una segunda etapa de forma experimental (a partir de la monitorización a tiempo real de los demostradores). La comparación de los valores teóricos y experimentales de ambos prototipos permitirá detectar el margen de diferencia entre los distintos programas informáticos utilizados y la realidad.

El proyecto EDEA-RENOV tiene como objetivo principal la realización de estudios y la aplicación de tecnologías de rehabilitación energética en edificación existente, a través de la renovación, la innovación y las TICs. Entre sus tareas se incluye la elaboración de un mapa energético y climático de viviendas existentes en Extremadura, evaluación del entorno urbano y de la tipología; actuación en escenarios reales de viviendas sociales ocupadas; y la participación y capacitación del usuario a través de TICs. Este proyecto sentará las bases de un análisis de potencial de ahorro energético de rehabilitación

de las viviendas para conocer qué medidas deben ser prioritarias a la hora de intervenir en ellas.

En el contexto de estos dos proyectos, la metodología desarrollada establece indicadores de impactos ambientales, económicos y sociales, que en su conjunto permitirán evaluar la sostenibilidad de las medidas de eficiencia energética pasivas objeto de estudio. En el caso del proyecto EDEA, se aplica esta metodología sobre los demostradores-prototipos de obra nueva construidos bajo el cumplimiento de la normativa vigente en 2007, y en ellos no hay cargas de personas que los habiten. Sin embargo en el proyecto EDEA-RENOV, se aplica la metodología sobre barrios de vivienda reales, habitados, y con relativa antigüedad constructiva. La metodología de sostenibilidad se adapta en este caso a la rehabilitación de edificios existentes e incorpora la posible implementación de la Directiva 2010/31/UE en lo que al cálculo de rentabilidad se refiere.

Por otra parte, para el desarrollo de esta metodología se considera la evolución de la EPBD. Según la Directiva 2010/31/UE, además de ampliarse el ámbito de los requisitos de eficiencia energética en edificios existentes<sup>3</sup>, se tienen en cuenta criterios de rentabilidad coste-eficiencia<sup>4</sup>. Para calcular la rentabilidad de las actuaciones, éstas se deben analizar durante la vida útil del edificio, planteada en 30 años, para lo cual hay que considerar la evolución en el tiempo de los precios de la energía, de los productos o sistemas incorporados y su mantenimiento.

En este documento se presenta una metodología simplificada de evaluación de la sostenibilidad de estrategias de rehabilitación diseñada para el proyecto EDEA-RENOV. Se incluyen resultados esperados y conclusiones del trabajo realizado hasta la fecha, al tratarse de un proyecto en ejecución.

<sup>1</sup> El proyecto EDEA, “*Efficient Development of Eco-Architecture: Methods and Technologies for Public Social Housing Building in Extremadura*”, está cofinanciado a través de la convocatoria europea LIFE+07 y coordinado por la Consejería de Fomento de Extremadura y en fase de desarrollo (duración del proyecto 2009-2013).

<sup>2</sup> El Proyecto EDEA-RENOV, “*Development of Energy Efficiency in Architecture: Energy Renovation, Innovation and ICTs*”, está cofinanciado a través de la convocatoria Europea LIFE+09, coordinado por la Consejería de Fomento de Extremadura y en fase de desarrollo (duración del proyecto 2011-2014).

<sup>3</sup> Directiva 2010/31/UE, según el Artículo 5, para el cálculo del nivel óptimo de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética, la Comisión establecerá un marco metodológico comparativo común, que los Estados miembros utilizarán según condiciones generales de clima y accesibilidad de infraestructuras energéticas.

<sup>4</sup> Directiva 2010/31/UE, según el Artículo 7, para los edificios existentes se establece que las reformas que repercutan en la envolvente deberán cumplir con unos requisitos mínimos de eficiencia energética y tener un «nivel óptimo de rentabilidad», es decir, su balance coste-beneficio calculado durante el ciclo de vida útil del edificio será positivo

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 *Objetivo general*

El objetivo de este trabajo es crear una metodología simplificada que utilice información cuantitativa para evaluar y comparar la sostenibilidad de medidas de eficiencia energética pasivas aplicadas en edificios de obra nueva y en edificios a rehabilitar.

### 2.2 *Objetivos específicos*

En líneas generales el desarrollo de este trabajo permitirá la consecución de los siguientes objetivos específicos:

- Aportar una visión más amplia acerca del impacto ambiental asociado al sector de la edificación.
- Generar conocimiento en torno a la sostenibilidad de productos y procesos constructivos.
- Evaluar cuantitativamente los beneficios ambientales, económicos y sociales de actuaciones concretas de rehabilitación energética.
- Contrastar resultados teóricos con resultados basados en la monitorización de casos reales para calcular la eficiencia de las actuaciones.
- Desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones del técnico y usuario en torno a la rehabilitación sostenible.
- Ofrecer una estimación del coste y la rentabilidad de las mejoras pasivas en función del ahorro que generarían en la factura energética doméstica.

## 3 MÉTODOLÓGÍA

### 3.1 *Planteamiento general*

Reducir el impacto asociado a los edificios a través de medidas de eficiencia energética pasivas, implica analizarlas desde una perspectiva de ciclo de vida completo del edificio, para ello se estima la vida útil del edificio en 30 años y se consideran las siguientes fases del edificio:

- Construcción
- Uso y funcionamiento
- Mantenimiento
- Demolición

Para evaluar el impacto asociado a cada una de estas fases se distingue entre impactos económicos, ambientales y sociales. Se detallan a continuación los parámetros que permitirán su valoración:

#### ✓ Impactos económicos:

El impacto económico asociados al ciclo de vida del edificio se mide en €/m<sup>2</sup>, se describe como se calcula en cada fase:

El impacto económico derivado de la fase de *Construcción* del edificio se calcula a partir del coste de la inversión inicial, incluyendo honorarios profesionales e impuestos.

El impacto económico durante la fase de *Uso y Funcionamiento* del edificio se calcula a partir del coste de la factura energética y los ahorros logrados con la rehabilitación energética.

El impacto económico durante la fase de *Mantenimiento* del edificio se calcula a partir del coste de las operaciones de mantenimiento y sustituciones necesarias durante el periodo de vida útil del edificio.

El impacto económico durante la fase de *Demolición* se calcula a partir del coste unitario de las partidas de demolición previas a la rehabilitación y traslado de los residuos generados, impuestos incluidos.

#### ✓ Impactos ambientales:

Se describen a continuación los impactos ambientales asociados a las fases que componen el ciclo de vida del edificio:

El impacto ambiental derivado de la fase de *Construcción* del edificio se calcula a partir de tres indicadores: el consumo energético y emisiones generadas para la fabricación de los productos empleados, su transporte desde fábrica hasta el lugar de la obra y su colocación en el edificio, que se mide en kWh/m<sup>2</sup> y en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>; el agotamiento de recursos naturales no renovables, que se mide en kg/m<sup>2</sup>; y la degradación del suelo, contabilizada en kg de residuo no reciclable.

El impacto ambiental durante la fase de *Uso y Funcionamiento* del edificio se calcula a partir de resultados de demanda energética, que se proyectan durante la vida útil del edificio, estimada en 30 años. Se mide en kWh/m<sup>2</sup> y en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

El impacto ambiental durante la fase de *Mantenimiento* del edificio se calcula a partir del consumo energético y emisiones en función de las operaciones de mantenimiento y sustituciones necesarias durante el periodo de vida útil del edificio estimado en 30 años. Se aplica según los criterios establecidos en las Fichas Técnicas de Mantenimiento, del ITEC Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña, en sus valores medios. Se mide en kWh/m<sup>2</sup> y en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

El impacto ambiental durante la fase de *Demolición* se calcula a partir del peso de los residuos generados

con la demolición, los recursos naturales no renovables utilizados y del peso de los componentes no reciclables incorporados en la obra. Se mide en  $\text{kg/m}^2$ .

✓ Impactos sociales:

El impacto social se analiza de forma cualitativa:

Durante la fase de *Construcción*, se da prioridad a la realización de operaciones desde el exterior, que no condicionen la ocupación del edificio.

En la fase de *Uso y Funcionamiento* se considera el aumento del confort y mejoría en la calidad de vida del usuario, y el equilibrio de los gastos energéticos por familia al disminuir la demanda energética y la dependencia del aumento de precios de los combustibles fósiles.

En la fase de *Mantenimiento* se priorizan aquellas actuaciones que reduzcan la periodicidad y necesidad de operaciones de conservación y mantenimiento.

Para la fase de *Demolición* se considera la duración media de las obras y la ocupación del espacio público y/o privado.

### 3.2 Procedimiento

- a) Se parte de un estudio previo consistente en la elaboración de una "Base de datos de sostenibilidad de productos", que incluye información específica como: consumo energético y emisiones generadas en su fabricación, peso de los componentes, carácter local de fabricación y transporte, reciclabilidad o incorporación de material reciclado.
- b) Se introducen las características propias del edificio objeto: su volumen, geometría, orientación, superficies de la envolvente afectada, el tamaño de los huecos.
- c) Se elaboran unas Fichas de Sostenibilidad Constructiva 1, que reflejan el impacto asociado a la composición y el estado de partida de la envolvente del edificio objeto. Esta ficha se alimenta de la "Base de datos de sostenibilidad de productos".
- d) Se elaboran unas Fichas de Sostenibilidad Constructiva 2, que reflejan el estado mejorado de la envolvente y los impactos asociados a los nuevos productos o soluciones constructivas introducidas.
- e) Se incorporan a estas fichas los valores de demanda energética asociada al edificio en su estado de partida y en el estado mejorado, y se estima el impacto que tendrá durante la vida útil del edificio.

- f) Se incorpora el factor de mantenimiento del edificio durante su vida útil.
- g) Se comparan los impactos asociados a la vida útil del edificio, antes y después de la incorporación de las mejoras.

Aplicado a la obra nueva, el método de evaluación compara las ventajas ambientales, económicas y sociales de incorporar unos productos o soluciones constructivas frente a otras.

Aplicado a la rehabilitación, la metodología parte del estado previo del edificio y analiza las ventajas de su rehabilitación. Se contemplan por tanto las actuaciones de demolición necesarias, su rehabilitación y mantenimiento y la demanda energética asociada al uso y funcionamiento del edificio antes y después de ser rehabilitado.

## 4 RESULTADOS

La aplicación de esta metodología permitirá estimar los impactos que se evitarían durante la vida del edificio si este fuera objeto de una mejora de la eficiencia energética a partir de medidas pasivas aplicadas en fachadas, huecos, suelos y cubierta.

Este trabajo está actualmente en fase de desarrollo y los resultados esperados tendrán aplicación en el desarrollo de herramientas que contemplen no solo parámetros energéticos durante la fase de uso y funcionamiento del edificio, sino que aporten una visión más amplia asociada a la sostenibilidad, incluyendo una estimación de los impactos económicos, ambientales y sociales, como son los relacionados con el origen de fabricación de los productos empleados, su composición y reciclabilidad, el consumo energético asociado a su fabricación, mantenimiento y durabilidad, su puesta en obra, el coste de la inversión, reducción de la factura energética y otros.

Una primera etapa de evaluación teórica será contrastada con los resultados que se obtendrán a través de la monitorización de edificios concretos. Por un lado se monitorizarán los demostradores-prototipo del proyecto EDEA y por otro lado varias viviendas ocupadas y a rehabilitar a través del proyecto EDEA-RENOV. Estas actuaciones permitirán contrastar los cálculos teóricos y experimentales, además de demostrar experimentalmente la eficiencia energética, sostenibilidad y rentabilidad de las soluciones implementadas.

## 5 CONCLUSIONES

Con el trabajo realizado hasta la fecha se deduce el gran potencial de reducción de impactos que se lo-

graría si se actuase sobre la rehabilitación energética de envolventes del parque de viviendas, contribuyendo así a mitigar el cambio climático, ahorrar emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y reducir el agotamiento de recursos y la degradación del suelo asociado al proceso edificatorio.

Estimar una cuantificación de los impactos evitados mediante actuaciones de rehabilitación de envolventes supone no sólo analizarlas desde el punto de vista energético y de su rentabilidad sino que también se deben evaluar desde el punto de vista de su sostenibilidad. La metodología que a tal efecto se ha desarrollado, y cuyas características generales se describen en esta comunicación, pretende dar respuesta a esta necesidad de una forma sencilla de entender y de aplicar. Permitirá evaluar la relevancia y el peso de unos indicadores respecto de otros, así como comparar la influencia de las actuaciones según las distintas fases del edificio y realizar su evaluación en el largo plazo.

Esta metodología podrá ser aplicable a cualquier tipo de edificio, lo cual permitirá realizar estimaciones sobre los efectos que tendrán las medidas en el parque de edificios en su conjunto y así servir de referencia para que la Administración se incline por fomentar determinadas soluciones técnicas de rehabilitación.

Será la base para el desarrollo de una futura herramienta simplificada y de fácil manejo para el usuario general que le orientará en la toma de decisiones durante el proceso rehabilitación de edificios residenciales en Extremadura, y arrojará resultados acerca del cálculo de rentabilidad de las medidas de eficiencia energética pasivas.

*aplicada a la vivienda*". Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

DA COSTA AMOEDA, R.P., 2009, Tesis Doctoral "*Design for Deconstruction: Energy approach to evaluate deconstruction effectiveness*". Guimarães, Escola de Arquitectura da Universidade do Minho.

MACÍAS, M., GARCÍA NAVARRO, J., 2010, "*Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad de edificios*". Madrid, Revista Informes de la Construcción, Vol 62, nº517, pag. 87-100.

## 6 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

COMISIÓN EUROPEA, 2010, *Estrategia 20-20-20, Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Bruselas, COM (2010) 2020.

PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO, 2010, *Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)*. Bruselas, DO L 153/13.

AEN/CTN 100 – CLIMATIZACIÓN, octubre de 2008, *UNE-EN 15459, Eficiencia energética de los edificios. Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios*. Madrid, AENOR.

ITEC, Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña, 1991, "*Fichas Técnicas de Mantenimiento*". Barcelona. ITEC.

CEPEDA, M., MARDARAS, I., 2004, "*Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización*". Madrid, Revista ConArquitectura, nº 12, Pag. 65.

WADEL, G., 2009, Tesis Doctoral "*La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera*".

## Influencia de los condicionantes de partida en los costes de rehabilitación energética [Unifamiliares B4]

Alexis Fargallo, José María Calama & Vicente Flores-Alés.

*Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.*

### RESUMEN:

Para hablar de rehabilitación energética es necesario saber que se han de enlazar diferentes puntos de vista: económico, constructivo, energético y social; los cuales se encuentran íntimamente relacionados, puesto que una mejor solución constructiva implica generalmente un mayor ahorro energético y un mayor coste. Actualmente los programas de calificación y análisis energético dejan a un lado un elemento vital: el coste, el cual es capaz de justificar la necesidad de intervenir si se determina que dicha inversión pueda tener la posibilidad de amortizarse en el tiempo de vida útil de las soluciones propuestas. Si la intención de las administraciones es la de fomentar la idea de rehabilitar la epidermis de las viviendas existentes, deben ser conscientes que a la hora de incentivar no solo se debe tener en cuenta la situación social y económica del solicitante, sino otros factores relacionados con la edificación para la que se solicite la ayuda como: edad de la edificación, tipología, zona climática en la que se localice y orientación. Dependiendo de dichas características se podrá hacer un reparto más equitativo de los recursos económicos, puesto que tanto el ahorro energético, la inversión y su posible o no amortización, dependerá en gran medida de dichos datos.

### 1 INTRODUCCIÓN

La energía es fundamental para las relaciones sociales, así como para el desarrollo económico de un país o región y su sociedad. Debido a esto, se está produciendo un incremento de la demanda energética, propiciando la sobreexplotación de las fuentes de energía fósil. Conscientes de que con el consumo de combustibles fósiles contaminamos y agotamos recursos naturales no renovables se está fomentado la mejora de los sistemas energéticos.

La sostenibilidad no radica sólo en la utilización de energías renovables, consiste en la integración equilibrada de los desarrollos económicos, sociales y ambientales. Para alcanzar dicho objetivo se tendrá que implantar una nueva mirada sobre el sistema con el que construimos, contribuyendo a fabricar sistemas que fomenten el ahorro y la eficiencia energética<sup>1</sup>. Ya únicamente no será importante el ahorro, la mejora de la eficiencia y la sustitución de las fuentes de energías no renovables por fuentes limpias de energía, también será importante la distribución de energía final<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Eficiencia energética: capacidad de un uso, equipo, instalación o proceso para realizar su función con el menor consumo energético posible.

<sup>2</sup> Energía final: energía sometida a un proceso de conversión para ser usada en los puntos de consumo.

El ahorro energético puede ser provocado por medidas técnicas o no técnicas, siendo en todo caso el objetivo previsto la reducción del consumo de energía sin afectar a la productividad, calidad, etc y sin producir claro está, un impacto ambiental mayor que la situación inicial.

Los poderes públicos fomentan e incentivan el cambio de pautas de comportamiento en la reducción del consumo de energía, pero aún no somos conscientes del ahorro que conllevaría la rehabilitación de las aglomeraciones urbanas. Para un aumento del ahorro energético, sería conveniente fomentar la sustitución de equipos e instalaciones obsoletos por otros de mayor rendimiento, así como la mejora en las envolventes de los edificios, la mejora en el mantenimiento preventivo y las acciones sobre el control y regulación de equipos, procesos e instalaciones, así como los sistemas de alta eficiencia energética mediante cogeneración.

Los organismos públicos programan actuaciones para la promoción e incentivación de la renovación de equipos e instalaciones por otros de mejor rendimiento, auditorías energéticas, investigación, procesos energéticamente más eficientes, y los planes de mantenimiento preventivo de equipos, procesos e instalaciones. Pero, estamos dejando a un lado una parte

que es fundamental en el consumo de energía final, hablamos de la envolvente térmica del parque de viviendas edificadas. *¿Sabes cuánto consume tu vivienda? ¿Sabes cuánto te puede costar que consuma un 30% menos?* No lo sabemos o no lo sabe la mayoría de la sociedad. Tenemos que crear recursos que ayuden a tomar decisiones sobre el consumo, la reducción, y la eficiencia en los procesos energéticos del sector residencial, recursos que tengan que ver con el ahorro e inversiones que habría que realizar para que una vivienda consumiera un 15% menos de lo que consume en la actualidad.

Los Documentos Básicos del CTE son los encargados de marcar los estándares mínimos cuando se habla de construcción de viviendas, sin embargo, la aplicación directa de estos puede suponer una gran inversión en una reforma, incluso pudiendo hacer inviable el proyecto por el impacto económico o social que produzca.

El objetivo de la rehabilitación es mejorar las condiciones del edificio, tratando de ser coherentes con las posibilidades económicas y las características implícitas del mismo, es posible que dichas características no coincidan con las exigencias que cumplirá un edificio de nueva planta. Por ello cabe detectar la imposibilidad de alcanzar las exigencias del CTE en algunas rehabilitaciones, siendo en tal caso la única posibilidad la mayor adecuación posible, es evidente que el cumplimiento del CTE en rehabilitación viene condicionado por las características del edificio a rehabilitar.

En un principio parece claro que las soluciones van a estar condicionadas a los casos de estudio que nos encontremos. Debido a esto, será necesario realizar un estudio de casos concretos en los que se planteen soluciones realistas seleccionando un amplio número de sistemas que permitan obtener un paquete que servirán de modelo para generar unos criterios generales e incluyendo los criterios económicos.

Para ello se han creado una serie de documentos reconocidos que son documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que poseen el reconocimiento de los organismos competentes<sup>3</sup>, con la finalidad de facilitar la aplicación y los estudios. Los documentos reconocidos pueden ser: programas informáticos de calificación de eficiencia energética de carácter prestacional, especificaciones y guías técnicas o comentarios sobre la aplicación técnico-administrativa de la certificación de eficiencia energética de carácter prescriptivo y/o cualquier documento que facilite la aplicación del procedimiento, siempre y cuando no se

<sup>3</sup> Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y del Ministerio de Vivienda y que se encuentren inscritos en el Registro general de documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética, que tiene carácter público e informativo.

refieran a la utilización de un producto o sistema particular.

Dichos documentos se basan fundamentalmente en la calificación energética, la cual es la expresión del consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, pero se deja a un lado los costes económicos, las diferencias geográficas y la edad de la edificación, información muy relevante para conocer qué posibilidades tiene un edificio existente para mejorar su calificación, así como a la hora de incentivar actuaciones.

## 2 OBJETIVOS

En los proyectos de edificación, existe una fase previa al comienzo de la realización del proyecto, el cual condiciona el resto de las fases. Esta fase, recibe el nombre de estudio de viabilidad. El estudio de viabilidad, tiene la misión de que la persona inversora y el resto de participantes se anticipen a los resultados que se pretenden conseguir y así valorar los pros y contras de dicho proyecto.

La ejecución de cualquier tipo de inversión por parte de un promotor requiere para su materialización de un proyecto, ya sea arquitectónico, de negocio, ... Cualquier proyecto comienza con dicho estudio, un estudio que en el sector de la construcción es llamado estudio de viabilidad, en el cual se evalúa tanto la técnica, la legalidad, los costes y otros parámetros que los redactores consideren importantes para el buen desarrollo del proyecto.

La viabilidad es fundamental para que el inversor conozca si la ejecución del proyecto que quiere realizar es posible, necesita financiación, cuál será su posible amortización, etc. Se debe tener en cuenta que todos los datos usados para tal estudio son estimativos, por lo que los resultados que se ofrezcan en este estudio, son una aproximación.

En el caso de la rehabilitación energética, poseer un estudio de viabilidad, puede ayudar a decidir por ejemplo si actuamos sobre la envolvente<sup>4</sup>, las instalaciones o ambas. Se puede analizar cuál de las acciones es más eficaz y sobre todo prever cuál va a ser el coste aproximado de la inversión mucho antes de que pongamos en marcha el resto del proceso.

El primer objetivo consistirá en seleccionar una serie de sistemas constructivos adecuados para la rehabilitación energética de huecos, fachadas y cubiertas. La elección de dichos sistemas se realizará a partir de la facilidad de ejecución, la rapidez y calidad

<sup>4</sup> Se considera envolvente de un edificio los sistemas constructivos que separan el interior del edificio de las condiciones térmicas exteriores, fachada, ventanas, cubierta, soleras ...

de ella y los materiales empleados; de igual forma que su aplicación sea en la zona exterior o en la zona interior de la envolvente.

Con la finalidad de aplicarlos y conocer sus mejoras energéticas, se seleccionará un modelo de vivienda que se simulará en diferentes disposiciones (aislada, pareada o entre medianeras) y ejecutada con diferentes normativas y/o sistemas constructivos, pero que compartan características comunes como pueden ser: la zona climática, el uso, la orientación, ... y de esta forma, encontrar diferencias y similitudes entre las rehabilitaciones de las edificaciones construidas con distintos criterios energéticos e incluso sin criterios energéticos.

El objetivo final consistirá en obtener los costes estimados de la ejecución de los diferentes sistemas constructivos aplicados a las distintas edificaciones y analizar de esta manera la mejora en eficiencia energética con el coste estimado para mejorar la envolvente de la edificación.

### 3 METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

Se ha realizado un análisis técnico-económico para la mejora de la envolvente en las edificaciones, analizando por un lado el ahorro energético obtenido y por otro el coste que esto supone. Para ello, se han valorado los sistemas constructivos con los cuales se construyeron los edificios modelos y sus posibilidades de rehabilitación en huecos, suelos, fachadas y cubiertas.

Para poder llevar a cabo una elección adecuada de las soluciones constructivas, en primer lugar se realizó una selección de diferentes sistemas de rehabilitación de la envolvente. En su elección ha primado, la facilidad de ejecución, durabilidad, transmitancias<sup>5</sup> y tipo de aplicación (exterior e interior).

Una vez seleccionados los sistemas constructivos se procedió al cálculo de los costes que supondrían la ejecución de dichas soluciones, para ello se tuvo en cuenta que con dicho cálculo, el precio obtenido es un precio unitario funcional<sup>6</sup>.

Para el predimensionado de la climatización y calefacción se ha usado el método de cálculo mensual de la norma ISO 13790:2008 basado en el balance de pérdidas y ganancias útiles para el régimen de invierno, así como para el régimen de verano.

<sup>5</sup> Relación existente entre la radiación transmitida a través de un cuerpo y la radiación total incidente sobre el mismo.

<sup>6</sup> Coste por unidad de un Elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que constituyen un conjunto constructivo con una función compleja dentro de la obra. Presupuestación de obras. Antonio Ramírez de Arellano Agudo.

Con la intención de generar parámetros cuantificables en función de la edad, del tipo de intervención, características constructivas y tipología, se seleccionó un edificio modelo situado en la ciudad de Sevilla. Cuenta con planta baja y primera, cubierta a dos aguas y terrazas. El edificio está orientado en la dirección N-S, tiene una superficie útil de 103,90 m<sup>2</sup>.

En la siguiente tabla se determina el porcentaje de huecos (puertas y ventanas) para cada una de las fachadas del modelo objeto de estudio.

Orientación	Superficie total (m <sup>2</sup> )	Superficie huecos (m <sup>2</sup> )
Norte	43,21	11,99
Este	55,34	0,00
Oeste	55,34	4,2
Sur	40,21	4,95

Con la finalidad de abarcar el estudio de viviendas aisladas, entre medianeras y pareadas, el modelo fue simulado en cada una de dichas disposiciones.

Los sistemas constructivos responden a la supuesta antigüedad de las viviendas a rehabilitar, así se dividieron en tres: anterior al CT-79 con estructura de fábrica, anterior al CT-79 con estructura de hormigón y posterior al CT-79 con estructura de hormigón.

La vivienda unifamiliar se analizó tanto desde el punto de vista de la tipología como de los sistemas constructivos, creándose así nueve modelos que se ajustarán lo máximo posible a ambos criterios.

Viv. unifamiliar aislada A/CT-79 <sup>7</sup> - EF <sup>8</sup>
Viv. unifamiliar aislada A/CT-79 - EH <sup>9</sup>
Viv. unifamiliar aislada D/CT-79 <sup>10</sup> - EH
Viv. unifamiliar pareada A/CT-79 - EF
Viv. unifamiliar pareada A/CT-79 - EH
Viv. unifamiliar pareada D/CT-79 - EH
Viv. unifamiliar entre medianeras A/CT-79 - EF
Viv. unifamiliar entre medianeras A/CT-79 - EH
Viv. unifamiliar entre medianeras D/CT-79 - EH

En cuanto al tipo de intervención, se tuvo en cuenta su ejecución tanto interior como exterior, por lo que los 9 modelos anteriores, pasaron a ser 18.

Con dichos modelos se evaluó la disminución en la demanda energética de las viviendas con cada una de las mejoras propuestas y se realizó el análisis de los costes económicos para la rehabilitación de la mejora de la envolvente.

<sup>7</sup> A/CT-79 Ejecutada sin los criterios del CT-79

<sup>8</sup> EF - Estructura de fábrica de ladrillo

<sup>9</sup> EH - Estructura de hormigón armado

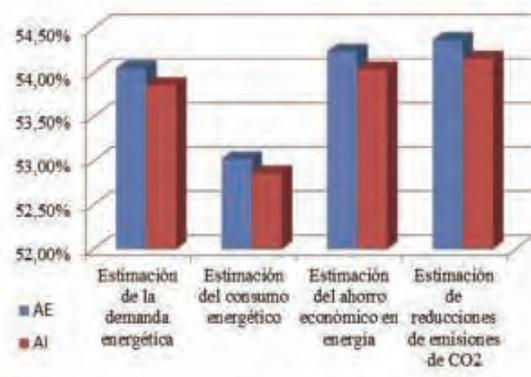
<sup>10</sup> D/CT-79 Ejecutada con los criterios del CT-79

Los costes generales se calcularon por metro cuadrado de superficie útil, concluyendo dicho análisis con unos ratios económicos que esperamos nos ayuden a presupuestar obras de rehabilitación energética de una forma estimativa para viviendas unifamiliares en función de su año de construcción y su tipología.

Todos los datos anteriores fueron incorporados en una herramienta de cálculo la cual evalúa cada uno de los factores anteriormente descritos. La finalidad de dicha herramienta es simplificar el procedimiento.

El objeto del primer análisis de los resultados obtenidos consistió en las diferencias entre la rehabilitación de la envolvente térmica desde el exterior y la rehabilitación desde el interior.

Como se puede ver en los datos de la gráfica 1 no existen diferencias sustanciales en el ahorro energético o en las reducciones de CO<sub>2</sub> entre ambos tipos de intervenciones. Las diferencias posiblemente radiquen en la intervención que se realiza en la cubierta inclinada, puesto que su valor de transmitancias es diferente en función de la posición del aislante con respecto a la cubierta.



Gráfica 1 -- Datos energéticos para la rehabilitación energética de una vivienda entre medianeras anterior al CT-79 con estructura de fábrica en función del tipo de actuación, elaboración propia.

Con respecto a la rehabilitación de muros, es importante tener en cuenta que el coste de aislamiento y de acabado es muy similar tanto en la intervención exterior como en la interior, encontrándose el coste de aislamiento entre un 50-52% de la inversión y el coste de acabado entre un 48-50%. La intervención por el exterior sin embargo es un 61% más costosa que la interior, no siendo así en los suelos, en los que la rehabilitación desde el interior tiene un sobrecoste cercano al 22,72%. Esto se debe al tipo de aislamiento con capacidad portante necesario para la intervención desde el interior. Los acabados en suelos en ambos tipos de actuaciones son muy similares, no siendo así en el coste del aislamiento.

Estimación coste rehabilitación de muros			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
AE	32,13 €/m <sup>2</sup>	29,56 €/m <sup>2</sup>	61,69 €/m <sup>2</sup>
AI	19,22 €/m <sup>2</sup>	19,13 €/m <sup>2</sup>	38,34 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de suelos			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
AE	6,64 €/m <sup>2</sup>	13,99 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>
AI	12,79 €/m <sup>2</sup>	13,91 €/m <sup>2</sup>	26,70 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de cubiertas			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
AE	9,26 €/m <sup>2</sup>	23,75 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>
AI	6,60 €/m <sup>2</sup>	16,91 €/m <sup>2</sup>	23,51 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de carpinterías			
	TOTAL		
AE - AE	70,85 €/m <sup>2</sup>		

Tabla 1 - Estimación de costes para la rehabilitación energética de muros, suelos, cubiertas y carpinterías para una vivienda entre medianeras anterior al CT-79 con estructura de fábrica en función de la intervención, elaboración propia.

Con respecto a la rehabilitación de muros, es importante tener en cuenta que el coste de aislamiento y de acabado es muy similar tanto en la intervención exterior como en la interior, encontrándose el coste de aislamiento entre un 50-52% de la inversión y el coste de acabado entre un 48-50%. La intervención por el exterior sin embargo es un 61% más costosa que la interior, no siendo así en los suelos, en los que la rehabilitación desde el interior tiene un sobrecoste cercano al 22,72%. Esto se debe al tipo de aislamiento con capacidad portante necesario para la intervención desde el interior. Los acabados en suelos en ambos tipos de actuaciones son muy similares, no siendo así en el coste del aislamiento.

En las cubiertas para el tipo de vivienda que se está analizando, el acabado tanto en la intervención interior como en la exterior supone en torno a un 70% de la inversión. Del mismo modo, la intervención más económica es la interior, la cual resulta un 29% menos costosa que la exterior. Las rehabilitaciones en huecos no se encuentran directamente relacionadas con el tipo de actuación, siendo la inversión similar en ambos casos.

Analizando los costes de una forma global, se puede ver que las mayores inversiones en este tipo de vivienda se realizan en muros, cubiertas y suelos, siendo relativamente pequeño el porcentaje de presupuesto dedicado a huecos.

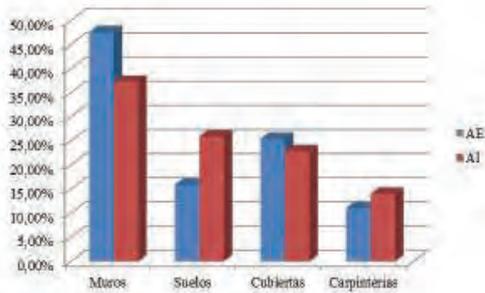
Debemos apuntar que en la vivienda objeto de estudio no se han rehabilitado todos sus huecos por no ser necesario para el cumplimiento del DB-HE1. El coste global de la intervención desde el interior resulta un 20,5% más económico que desde el exterior y tiene un Pay-back un 20,3% menor.

Estimación coste rehabilitación (Coste global)						
	Muros	Suelos	Cubiertas	Carpinterías	TOTAL	Pay-back
AE	61,69 €/m	20,63 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	129,74 €/m <sup>2</sup>	12,7 años
AI	38,34 €/m <sup>2</sup>	26,70 €/m <sup>2</sup>	23,51 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	102,97 €/m <sup>2</sup>	10,12 años

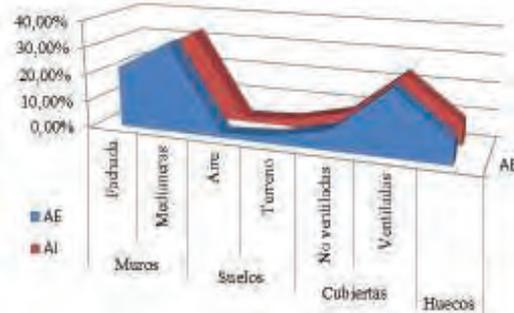
Tabla 2 - Estimación de costes globales para la rehabilitación energética de una vivienda entre medianeras anterior al CT-79 con estructura de fábrica en función del tipo de intervención, elaboración propia.

Analizando los costes de una forma global, se puede ver que las mayores inversiones en este tipo de vivienda se realizan en los muros, cubiertas y suelos, siendo relativamente pequeño el porcentaje de presupuesto dedicado a huecos.

Debemos apuntar que en la vivienda objeto de estudio no se han rehabilitado todos sus huecos por no ser necesario para el cumplimiento del DB-HE1. El coste global de la intervención desde el interior resulta un 20,5% más económico que desde el exterior y tiene un Pay-back un 20,3% menor.



Gráfica 2 - % de costes globales para la rehabilitación energética de una viv. entre medianeras anterior al CT-79 con estructura de fábrica en función del tipo de actuación, elab. propia.



Gráfica 3 - % de reducción de pérdidas por elemento respecto de la reducción total de pérdidas de una viv. entre medianeras anterior al CT-79 con estructura de fábrica en función del tipo de actuación, elaboración propia.

Otro aspecto importante a la hora rehabilitar energéticamente será la reducción de pérdidas que se obtengan de la mejora de cada uno de los sistemas constructivos. En la gráfica 5 se muestran los datos relativos a la reducción de pérdidas por elemento para la vivienda unifamiliar que se analizó.

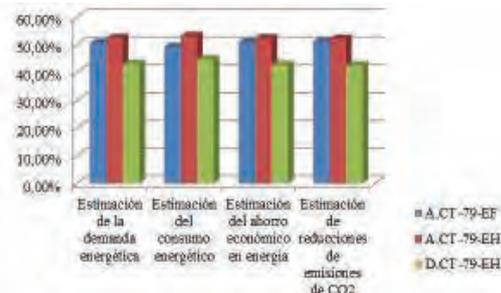
Las mayores reducciones de pérdidas para la vivienda objeto de estudio se producen en los muros y cubiertas, 55% y 30% respectivamente. Resultará por

tanto prioritaria la intervención en tales cerramientos, no siendo un factor determinante desde el punto de vista energético que la intervención se realice desde el interior o desde el exterior. Como se puede ver, los datos de las reducciones son muy similares en ambos casos, a salvedad de las cubiertas ventiladas en las que la intervención desde el exterior resulta un poco más beneficiosa.

La elección sobre la actuación interior o exterior no solo estará en función de los costes económicos o energéticos, se deberán tener en cuenta otros factores no mencionados como, los patrimoniales, la reducción de superficies útiles, la interferencia con los usuarios; y la selección de los elementos a rehabilitar se priorizará por el mayor porcentaje de reducción de pérdidas, los cuales darán un menor Pay-back o retorno de la inversión. Si por el contrario, rehabilitamos elementos que tras la mejora reduzcan muy poco su porcentaje de pérdidas el Pay-back aumentará al igual que le ocurrirá con la elección de costes de construcción muy altos.

La comparativa de resultados a partir de un mismo modelo aplicando distintos sistemas constructivos en función de su ejecución con el CT-79 o no y de diferentes tipos de estructuras, desvela las diferencias de costes o energéticas asociadas a dichas características, para dicha evaluación se seleccionaron las viviendas unifamiliares aisladas con actuación exterior.

En la gráfica 4 se puede ver que el porcentaje de ahorro o de reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> tras la intervención es muy diferente en función de las características iniciales. La diferencia entre ellos ronda casi un 10%, encontrándose la vivienda con muros de fábrica en el término medio entre la vivienda posterior al CT-79 y la vivienda anterior al CT-79 con estructura de hormigón armado.



Gráfica 4 - Datos energéticos para viv. unif. aisladas en función de su sistema de construcción o normativa energética, actuación exterior, elaboración propia.

Estimación coste rehabilitación de muros			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
A.CT-79-EF	30,63 €/m <sup>2</sup>	35,11 €/m <sup>2</sup>	65,74 €/m <sup>2</sup>
A.CT-79-EH	30,63 €/m <sup>2</sup>	35,11 €/m <sup>2</sup>	65,74 €/m <sup>2</sup>
D.CT-79-EH	30,63 €/m <sup>2</sup>	35,11 €/m <sup>2</sup>	65,74 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de suelos			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
A.CT-79-EF	6,64 €/m <sup>2</sup>	13,99 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>
A.CT-79-EH	6,67 €/m <sup>2</sup>	12,97 €/m <sup>2</sup>	19,64 €/m <sup>2</sup>
D.CT-79-EH	6,67 €/m <sup>2</sup>	12,97 €/m <sup>2</sup>	19,64 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de cubiertas			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
A.CT-79-EF	9,26 €/m <sup>2</sup>	23,75 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>
A.CT-79-EH	8,24 €/m <sup>2</sup>	23,75 €/m <sup>2</sup>	31,99 €/m <sup>2</sup>
D.CT-79-EH	6,26 €/m <sup>2</sup>	23,75 €/m <sup>2</sup>	30,01 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de carpinterías			
	TOTAL		
A.CT-79-EF	70,85 €/m <sup>2</sup>		
A.CT-79-EH	160,22 €/m <sup>2</sup>		
D.CT-79-EH	163,21 €/m <sup>2</sup>		

Tabla 3 - Estimación de costes para la rehabilitación energética de muros, suelos, cubiertas y carpinterías para viviendas unifamiliares aisladas en función de su sistema de construcción o normativa energética, intervención exterior, elaboración propia.

Los datos económicos obtenidos del estudio de rehabilitación de muros y suelos son prácticamente similares, con respecto a lo que se debe apuntar que para la vivienda posterior al CT-79 en un principio sólo era necesario rehabilitar energéticamente la fachada norte pero por razones de cálculo ha debido contemplarse la rehabilitación integral de las fachadas, lo que a su vez ha repercutido en un mejor comportamiento térmico y un mayor ahorro energético.

Con respecto a la similitud económica en las actuaciones en suelos de la vivienda A.CT-79-EH y D.CT-79-EH se tendrá que apuntar que es fundamentalmente propiciada por su analogía constructiva, puesto que no

	Estimación coste rehabilitación (Coste global)					
	Muros	Suelos	Cubiertas	Carpinterías	TOTAL	Pay-back
A.CT-79-EF	65,74 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	133,80 €/m <sup>2</sup>	13,23 años
A.CT-79-EH	65,74 €/m <sup>2</sup>	19,64 €/m <sup>2</sup>	31,99 €/m <sup>2</sup>	32,60 €/m <sup>2</sup>	149,97 €/m <sup>2</sup>	13,72 años
D.CT-79-EH	65,74 €/m <sup>2</sup>	19,64 €/m <sup>2</sup>	30,01 €/m <sup>2</sup>	33,21 €/m <sup>2</sup>	148,60 €/m <sup>2</sup>	24,10 años

Tabla 4 - Estimación de costes globales para la rehabilitación energética de viviendas unifamiliares aisladas en función de su sistema de construcción o normativa energética, intervención exterior, elaboración propia.

Así se puede decir que la inversión económica en la mejora del comportamiento térmico de los suelos en viviendas unifamiliares, resulta prácticamente innecesario si se compara la inversión que se realiza con respecto a la mejora.

Hay que tener en cuenta que en las intervenciones en viviendas anteriores al CT-79 si se desea optimizar la operación deberá centrarse en cubiertas y muros, mientras que en las viviendas posteriores al CT-79 primará la intervención en muros y huecos, dejando en un segundo

se ha contemplado ningún tipo de aislamiento en suelos en la vivienda con características definidas a partir del CT-79.

En la rehabilitación energética de cubiertas se producen diferencias pero no lo suficientemente sustanciales como para que resulten relevantes. Las diferencias de costes entre los modelos de estudio, oscilan de un 3 a un 9%, sin embargo, en la rehabilitación de huecos se produce una diferencia sustancial. Esta diferencia es debida a un mejor comportamiento térmico de las carpinterías de madera que se han considerado en la vivienda con estructura de fábrica, en la cual sólo sería necesaria la sustitución de las carpinterías de la fachada norte por no cumplir las limitaciones exigidas en la actual normativa.

Si se analizan los costes y su retorno de forma global, se puede observar que los costes son sensiblemente parecidos mientras que los retornos de la inversión son muy distintos. La diferencia se encuentra fundamentalmente en el ahorro energético que se supone tras la intervención en la vivienda ejecutada con criterios del CT-79, lo que provoca que para las viviendas anteriores al CT-79 la amortización se reduzca en torno a un 45% con respecto a la vivienda que tenía mejor comportamiento inicial.

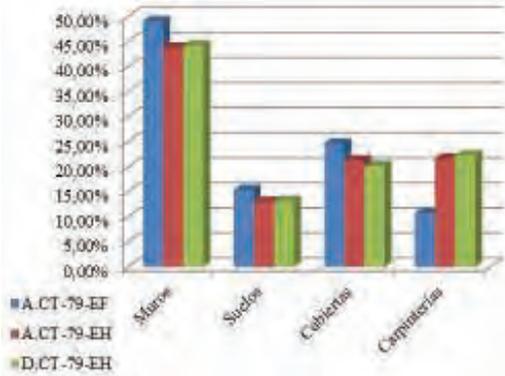
En las siguientes gráficas se puede analizar que aun siendo las inversiones muy similares, el porcentaje de reducción de pérdidas de los elementos rehabilitados en los modelos tienen diferencias sustanciales.

Como se ha comentado anteriormente, dichas diferencias radican en las características iniciales de cada uno de los cerramientos. Al igual que ocurría en el análisis anterior, las reducciones más importantes en las pérdidas de los dos primeros casos se producen en la rehabilitación de muros y cubiertas, mientras que en el tercer caso la rehabilitación de muros, cubiertas y huecos ronda el 90% de la reducción de pérdidas totales.

apartado las cubiertas y por supuesto en un último escalón la mejora de los suelos.

Las viviendas unifamiliares pueden tener diferentes condiciones de contorno en función de su asociación con otras viviendas. El análisis de las diferencias tanto energéticas como económicas en función de dicho parámetro nos dará información sobre qué tipología de vivienda tiene mejores características tras su rehabilitación.

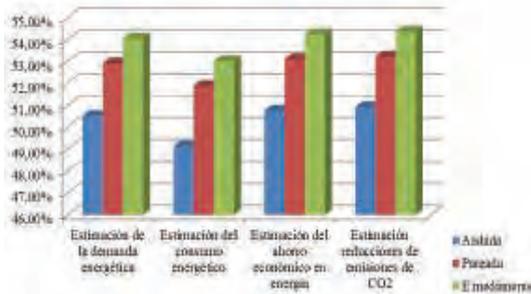




Gráfica 5 - % de costes globales para la rehabilitación energética de viv. unif. aisladas en función de su sistema de construcción o normativa energética, intervención exterior, elaboración propia.

Para la evaluación, se han simulado viviendas anteriores a la entrada en vigor del CT-79 con actuación exterior.

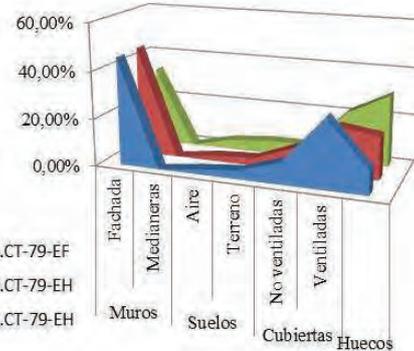
La gráfica 7 muestra los resultados de ahorro de energía, ahorro económico y reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> en función del tipo de vivienda.



Gráfica 7 - Datos energéticos tras la evaluación para viviendas anteriores al CT-79 con estructura de fábrica según sus condiciones de contorno (aisladas, pareadas, entre medianeras), elaboración propia.

Hay que tener presente que para rehabilitar los muros en viviendas pareadas y entre medianeras se han considerado costes de rehabilitación interiores en los cerramientos que por su localización son imposibles de mejorar desde el exterior (medianeras).

Se puede ver que a mayor cantidad de envolvente térmica se tiene en contacto con el exterior, menor ahorro energético se obtiene de una intervención similar. La diferencia oscila entre un 2.5% y un 4.0% aproximadamente, encontrándose el mayor ahorro en la vivienda entre medianeras y el ahorro mínimo así como la reducción de emisiones mínima en la vivienda aislada. Es pre-



Gráfica 6 - % de reducción de pérdidas por elemento respecto de la reducción total de pérdidas de viv. unif. aisladas en función de su sistema de construcción o normativa energética, intervención exterior, elaboración propia.

ciso comentar que tal variación es debida a factores solares así como a unas peores características iniciales en los muros de medianería que en las fachadas.

Estimación coste rehabilitación de muros			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
Aislada	30,63 €/m <sup>2</sup>	35,10 €/m <sup>2</sup>	65,74 €/m <sup>2</sup>
Pareada	31,70 €/m <sup>2</sup>	31,13 €/m <sup>2</sup>	62,83 €/m <sup>2</sup>
Medianeras	32,13 €/m	29,56 €/m <sup>2</sup>	61,69 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de suelos			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
	6,64 €/m <sup>2</sup>	13,99 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de cubiertas			
	Aislamiento	Acabados	TOTAL
	9,26 €/m <sup>2</sup>	23,75 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>
Estimación coste rehabilitación de carpinterías			
	TOTAL		
	70,85 €/m		

Tabla 5 - Costes para la rehabilitación energética de muros, suelos, cubiertas y carpinterías para viviendas anteriores al CT-79 con estructura de fábrica según sus condiciones de contorno, elaboración propia.

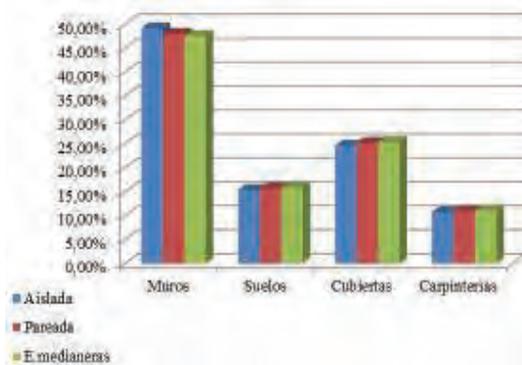
Es preciso mencionar aunque parezca lógico que la diferencia económica entre los tres tipos de intervenciones únicamente estará en función de los cerramientos de muros, los cuales podrán ser fachadas o medianeras respectivamente, en función de la vivienda que se esté analizando. Mientras que el resto de los cerramientos no se encuentran vinculados al tipo de vivienda y por tanto son similares.

A pesar de tener las edificaciones en medianería un mayor coste en aislamiento, dicho incremento se ve merado por la diferencia económica en los acabados, resultando tales menos económicos en las actuaciones exteriores, resultando que las rehabilitaciones de viviendas pareadas y entre medianeras difieren entre un 2 y un

3% más económicas que la rehabilitación de la vivienda aislada. La diferencias en el Pay-back sin embargo oscilan entre un 3,5 - 4%.

	Estimación coste rehabilitación (Coste global)					Pay-back
	Muros	Suelos	Cubiertas	Carpinterías	TOTAL	
Aislada	65,74 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	133,79 €/m <sup>2</sup>	13,23 años
Pareada	62,83 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	130,89 €/m <sup>2</sup>	12,75 años
E.medianeras	61,69 €/m <sup>2</sup>	20,63 €/m <sup>2</sup>	33,01 €/m <sup>2</sup>	14,42 €/m <sup>2</sup>	129,74 €/m <sup>2</sup>	12,70 años

Tabla 6 - Estimación de costes globales para la rehabilitación energética desde el exterior para viviendas anteriores al CT-79 con estructura de fábrica según sus condiciones de contorno (aisladas, pareadas, entre medianeras), elaboración propia.



Gráfica 8 - Porcentaje de estimación de costes globales para la rehabilitación energética desde el exterior de viviendas anteriores al CT-79 con estructura de fábrica según sus condiciones de contorno (aisladas, pareadas, entre medianeras), elaboración propia.

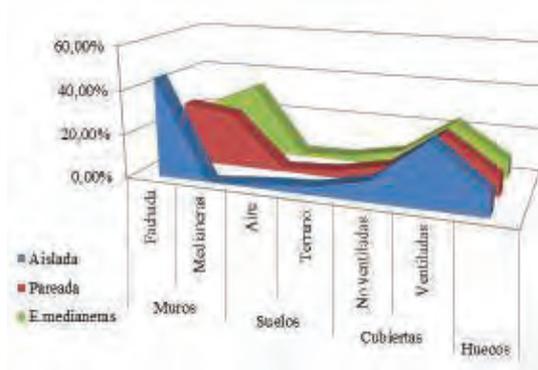
Las diferencias en las reducciones de pérdidas energéticas oscilan entre un 3,5 y un 5%. Esta diferencia es debida, al igual que ocurría en las valoraciones económicas, a la existencia de medianeras que poseen peor comportamiento térmico inicial.

Si se observa la gráfica 9 se puede ver que la reducción de pérdidas con respecto al total de los muros va desde un 45,47% a un 55,37% en el caso de la vivienda entre medianeras, resultando por tanto más rentable la intervención en viviendas entre medianeras que aisladas.

#### 4 CONCLUSIONES

Son muchos y muy variados los factores a tener en cuenta a la hora de acometer la rehabilitación energética de una vivienda, por lo que no es posible determinar una fórmula única a la hora de intervenir, pero sí crear algunos criterios generales.

1. Las intervenciones exteriores pueden dar mejores resultados para la reparación de los puentes térmicos, deberán ser usadas en el caso de actuar sobre edificaciones protegidas y pueden ser usadas con finalidades estéticas o de mantenimiento.



Gráfica 9 - Porcentaje de reducción de pérdidas por elemento respecto de la reducción total de pérdidas de viviendas anteriores al CT-79 con estructura de fábrica según sus condiciones de contorno (aisladas, pareadas, entre medianeras), elaboración propia.

2. Las intervenciones interiores son más económicas que las exteriores por lo que poseen un Pay-back inferior a las intervenciones exteriores.

3. No existen diferencias sustanciales en los modelos de estudio en el ahorro energético o en las reducciones de CO<sub>2</sub> entre ambas intervenciones.

4. Se actuará principalmente en muros, cubiertas y huecos, en el caso de viviendas con carpinterías de madera se pueden reducir a muros y cubiertas.

5. Dentro de los muros ha de estudiarse detenidamente las características de las medianeras.

6. Las cubiertas que nos pueden ofrecer una mayor reducción de pérdidas son aquellas que se encuentren en contacto con espacios ventilados o ligeramente ventilados.

7. Se priorizará el orden de rehabilitación según el porcentaje de reducción de pérdidas que nos ofrezcan los elementos de la envolvente de mayor a menor.

8. Las inversiones económicas para mejoras del comportamiento térmico en suelos resulta prácticamente innecesaria.

El ahorro energético para rehabilitaciones energéticas idénticas depende de la época de construcción de las viviendas, la superficie de envolvente térmica en contacto con el exterior, a una mayor cantidad se producen menores ahorros energéticos tras las intervenciones, siendo el mayor ahorro para viviendas entre medianeras.

En la siguiente tabla se muestran unos ratios económicos por metro cuadrado de superficie útil para la rehabilitación de viviendas en función del tipo de rehabilitación energética.

Es imprescindible decir que tal afirmación se fundamenta en los datos del estudio, para casos reales se tendrá que analizar de forma detenida la envolvente térmica del edificio a rehabilitar, puesto que sus características no tienen por qué ser similares a las estudiadas en el presente trabajo.

			Euros/m <sup>2</sup>
Viviendas unifamiliares aisladas	A.CT-79-EF	Actuación EXT	133,78
		Actuación INT	103,98
	A.CT-79-EH	Actuación EXT	149,95
		Actuación INT	116,60
	D.CT-79-EH	Actuación EXT	148,58
		Actuación INT	111,30
Viviendas unifamiliares pareadas	A.CT-79-EF	Actuación EXT	130,88
		Actuación INT	105,05
	A.CT-79-EH	Actuación EXT	145,98
		Actuación INT	116,60
	D.CT-79-EH	Actuación EXT	129,26
		Actuación INT	100,60
Viviendas unifamiliares entre medianeras	A.CT-79-EF	Actuación EXT	129,73
		Actuación INT	102,96
	A.CT-79-EH	Actuación EXT	144,41
		Actuación INT	116,60
	D.CT-79-EH	Actuación EXT	130,54
		Actuación INT	96,38

## 5 BIBLIOGRAFÍA

Aguer, Mario Jutglar, Luis Miranda, Ángel L, 2006. El ahorro energético: estudios de viabilidad económica, Madrid, Ed. Díaz de Santos.

Clark II, William H. 1998. Análisis y gestión energética de edificios: Métodos, Proyectos y Sistemas de Ahorro Energético. Toronto etc.: McGraw-Hill.

Coscollano Rodríguez, José. 2001. Ahorro energético en la construcción y rehabilitación de edificios. Madrid: Paraninfo.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas.

Margarita de Luxán, García de Diego, Mar Barbero Barrera, Raquel Díez Abarca, Gloria Gómez Muñoz, Emilia Román López. 2010. Metodología de Evaluación para el Programa de Ayudas a las Actuaciones de Rehabilitación para la Mejora de la sostenibilidad y la Eficiencia de las Edificaciones. Sustainable Building Conference.

Fargallo, Alexis. Estudio de costes en la rehabilitación energética de viviendas unifamiliares en Sevilla. TFM, Universidad de Sevilla.

Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020. (Informe WWF, Diciembre 2010)

Ramírez de Arellano Agudo, Antonio. 2004 (3ª edición). "Presupuestación de obras", Sevilla, Universidad de Sevilla.

Vega Catalán, Luis, La rehabilitación en el Código Técnico de la Rehabilitación, Madrid, Ministerio de Vivienda.

Zabalza Bribian, Ignacio. 2007. El ahorro energético en el nuevo Código Técnico de la Edificación. Madrid: Fundación Confemetal

## INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO MEDIANTE UAVs

Melgosa Revillas, Sergio  
*eBuilding, Madrid, España*

Bernabéu González, Carlos  
*Arborea, Salamanca, España*

**RESUMEN:** el uso de la termografía infrarroja se está extendiendo cada vez más entre los profesionales de la edificación y posee aún un gran potencial de desarrollo. Sin embargo hay numerosas particularidades de esta herramienta de diagnóstico que hacen que la medida de temperatura de una superficie, sea más complicada de lo que aparentemente pensamos. Cuando estamos frente a un edificio, nos encontramos ante una gran superficie a analizar, donde los problemas pueden estar presentes a simple vista u ocultos y es necesaria mucha pericia y experiencia para hacerlos aflorar. Durante una inspección nos desplazamos a pie, cámara en mano, buscando esas patologías, sin embargo los edificios por lo general son grandes y con espacios inaccesibles. También al a hora de realizar la inspección termográfica, encontramos que a menudo el ángulo que tomamos no es el correcto o la distancia no nos permite obtener una buena imagen de una fachada (por estar muy lejos y perder detalle o por estar muy cerca y no tener una imagen global). El empleo de UAVs puede ser determinante para obtener más y mejor información en esa inspección, estas aeronaves nos van a permitir llegar donde no podríamos hacerlo de otra manera.

### 1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años está cobrando especial importancia la rehabilitación energética de edificios en los que una correcta toma de datos iniciales, antes de acometer la rehabilitación propiamente dicha, es fundamental para tener un buen punto de partida y conocer el estado real del edificio.

En ese sentido, la termografía infrarroja juega un importante papel para diagnosticar los edificios y también está desarrollándose cada vez más y son muchos los profesionales que incluyen la inspección termográfica entre sus herramientas de diagnóstico.

Sin embargo esta técnica es compleja y requiere de formación para su aprendizaje y de experiencia de campo para ir desarrollándola. Hay muchas variables que influyen en la medida de temperatura de una superficie como pueda ser una fachada, nuestra posición frente a la fachada, el ángulo con el que tomamos la imagen, la distancia a la que nos encontramos, el propio entorno, etcétera.

Así, en muchas ocasiones nos encontramos con dificultades para tomar las imágenes de manera correcta, sin poder hacer nada para corregirlo, pues no vamos a alquilar una grúa para inspeccionar la planta sexta de un edificio, por ejemplo.

En ese sentido, el empleo de UAVs nos va a ayudar a resolver esos problemas en la inspección termográfica.

Los UAVs, es decir, los vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle*, en inglés) son aeronaves que vuelan sin tripulación alguna, manejados desde tierra mediante dispositivos de control.

Fueron desarrollados militarmente tras la Primera Guerra Mundial para ya a finales del siglo XX empezar a usarse para aplicaciones civiles y estar hoy en pleno auge.

Los UAVs nos van a permitir acoplarles distintos equipos de medida, siempre tratando de minimizar el peso de estos, permitiendo por tanto el que monten cámaras termográficas. Esto nos va a permitir elevarnos y tener acceso a cualquier parte de la envolvente del edificio con la única limitación de la seguridad del UAV, de las personas que nos rodeen y de nuestra propia pericia a la hora de manejar el UAV.

Así, podremos realizar la inspección desde tierra, de un edificio de cualquier altura, revisando sus cornisas, las partes altas de la fachada, etc. Nos permitirá revisar una cubierta no transitable o con riesgo de derrumbe, o acceder a patios interiores del edificio, etc.

Y además de proporcionarnos mayor cobertura en la inspección, nos va a permitir eliminar el error que nos pueda producir el ángulo de inclinación cuando realizamos inspecciones desde tierra y acercarnos al

objeto que queremos medir hasta colocarnos a un metro de él.

## 2 ÁNGULO, DISTANCIA Y ALURA

Estas tres variables pueden influir en la medida de temperatura de una superficie sólo si su magnitud es lo suficientemente grande.

De no ser así, serán otras variables las que más peso tengan sobre la medida de temperatura, como la emisividad del material, la temperatura aparente reflejada y las condiciones exteriores.

Como hemos dicho, cuando estamos trabajando con edificios, la altura de estos puede empezar a ocasionarnos problemas a la hora de realizar la inspección y la altura nos va a condicionar a la vez en ángulo y la distancia.

Veamos unos ejemplos:

### 2.1 La altura y el ángulo

Ambas variables están relacionadas, pues nuestra posición respecto al edificio generalmente será el suelo y a mayor altura del edificio, mayor ángulo para las zonas altas de la fachada.

#### 2.1.1 Descenso de la temperatura con la altura

En el ejemplo siguiente podemos ver cómo la altura y por tanto el ángulo influyen en la medida de temperatura que se realiza sobre la fachada de un edificio de viviendas.

En cada altura podemos restar prácticamente 0,5 °C y el motivo no es otro que el que a mayor ángulo, mayor es la influencia del cielo despejado sobre la temperatura.

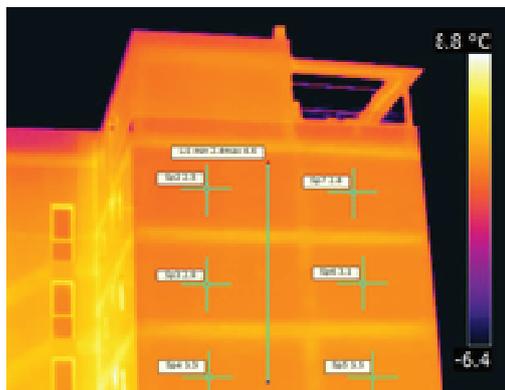
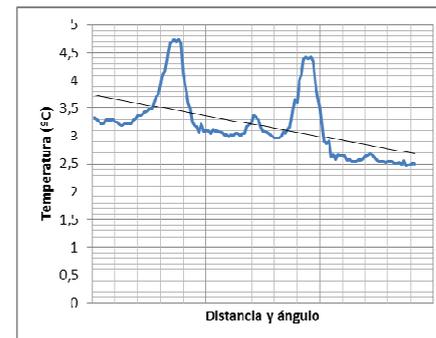


Imagen 1: termograma de una fachada

Sobre la imagen hemos marcado 6 puntos y hemos trazado una línea que atraviesa 3 viviendas. Su representación gráfica muestra más claramente cómo varía la temperatura con la altura y con el ángulo con el que hemos tomado esta imagen:

Fachada 1	Fachada 2
Sp1 = 2,4 °C	Sp4 = 2,8 °C
Sp2 = 2,9 °C	Sp5 = 3,1 °C
Sp3 = 3,2 °C	Sp6 = 3,5 °C

Tabla 1: puntos seleccionados sobre la imagen 1



Gráfica 1: variación de la temperatura con el ángulo y la altura

La línea recta nos marca una tendencia clara e indica que la temperatura disminuye con la altura y la inclinación.

Esto se debe a la influencia del cielo, despejado y por tanto frío, sobre la intensidad de radiación que lleva a nuestra lente, a la cámara. En la parte baja del edificio el peso de la componente reflejada es menor que en la parte alta del edificio y por tanto nos resta temperatura.

La intensidad de radiación que recibe la cámara es:

$$W_T = W_\epsilon + W_\sigma + W_\rho \quad (1)$$

Siendo:

- $W_T$ , intensidad de radiación total
- $W_\epsilon$ , radiación emitida por el cuerpo
- $W_\sigma$ , radiación transmitida por el cuerpo
- $W_\rho$ , radiación reflejada por el cuerpo

Siendo  $W_\sigma$  igual a cero, pues los materiales con los que se construyen los edificios son opacos al infrarrojo, nos quedarían ya las siguientes ecuaciones:

$$W_T = W_\epsilon + W_\rho \quad (2)$$

$$W_\epsilon + W_\rho = 1 \quad (3)$$

$$W_\epsilon = 1 - W_\rho \quad (4)$$

Es decir, a mayor peso de la componente reflejada, menor peso de la emitida y viceversa.

Pero esto puede ser por las propiedades del cuerpo, pues hay objetos altamente emisivos (ladrillo) y otros altamente reflexivos (aluminio), o bien por que

nuestra situación frente al objeto que queremos medir hace que pese más una componente respecto a otra.

Como es la emisividad ( $\epsilon$ ) la que nos va a determinar la temperatura del cuerpo, si incrementamos en la fórmula (3) la reflexividad, lo que estamos provocando es una disminución de la temperatura del cuerpo.

Si para corregir el exceso de ángulo, nos alejamos del edificio, la distancia tendrá el mismo efecto.

En este caso, el empleo de un UAV en la inspección de esta fachada nos ayudaría a igualar las temperaturas de los seis puntos, acercándolas a Sp3 y Sp6 (las viviendas inferiores) o de lo contrario estaríamos descubriendo una patología oculta hasta ahora como podría ser la ausencia de aislamiento en las viviendas inferiores que radian más temperatura al exterior, consignas en la calefacción más elevadas, etc.



Imagen 2: imagen del UAV con cámara termográfica montada

### 2.1.2 Incremento de la temperatura con la altura

La situación puede ser la inversa si podemos mejorar nuestra posición respecto al edificio. Por ejemplo, por el día podemos observar que la temperatura se incrementa a medida que nuestro ángulo se acerca más a la perpendicular de una cubierta.

A continuación mostramos 4 termogramas realizados a distintas alturas, y la variación de temperatura que ello representa:

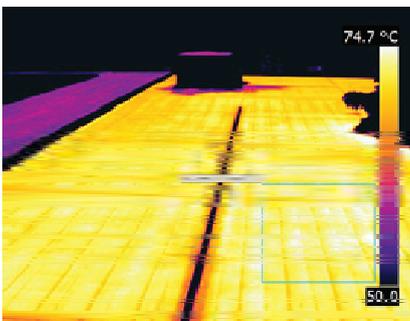


Imagen 3: termograma de una cubierta de tela asfáltica tomada a una altura de 3 m sobre el suelo.

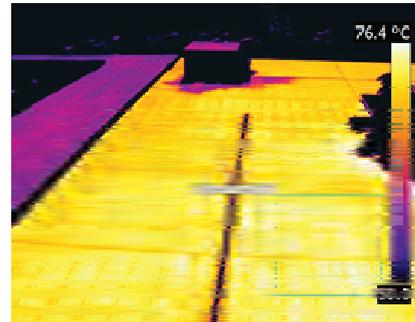


Imagen 4: termograma de una cubierta de tela asfáltica tomada a una altura de 6 m sobre el suelo.



Imagen 5: termograma de una cubierta de tela asfáltica tomada a una altura de 9 m sobre el suelo.

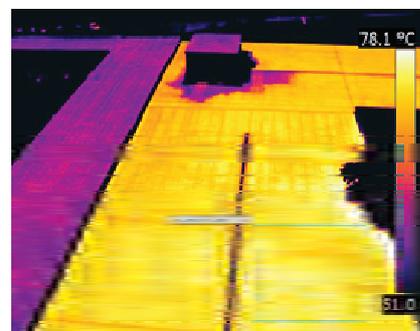
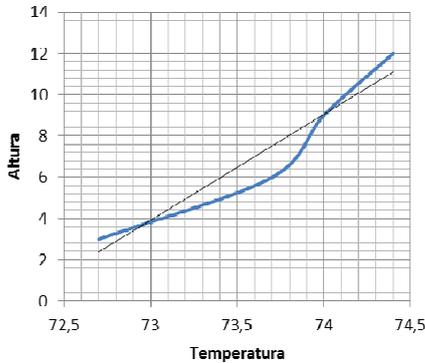


Imagen 6: termograma de una cubierta de tela asfáltica tomada a una altura de 12 m sobre el suelo.

	Temperatura (°C)	Altura (m)
Imagen 1	72,7	3
Imagen 2	73,7	6
Imagen 3	74	9
Imagen 4	74,4	12

Tabla 2: temperatura media de las áreas seleccionadas en los termogramas

A



Gráfica 2: variación de la temperatura con la altura

La tela asfáltica se comporta como un excelente absorbedor de calor, de manera que toda la radiación infrarroja que llega a esta cubierta, es absorbida por la tela y emitida en su misma proporción.

Si captamos esa intensidad de radiación con un ángulo bajo, como en el caso de posicionarnos a 3 metros de altura, estamos perdiendo mucha información (temperatura), pues aunque la tela asfáltica apenas tenga reflexión, el ángulo simplemente nos hace perder intensidad de radiación emitida. La cámara no la capta.

Sin embargo, al ir incrementando el ángulo (imágenes 2, 3 y 4), observamos que la temperatura comienza a incrementarse, pues la lente de la cámara sí comienza a captar toda la radiación emitida por la tela asfáltica.

El UAV nos permitiría colocarnos en la perpendicular a esta cubierta, captando no sólo el 100% de la intensidad de radiación emitida, si no que además nos permitiría obtener una excelente imagen de la cubierta y el alcance preciso de la humedad que se sospecha que existe en el casetón del fondo de las imágenes.

## 2.2 La distancia

En ocasiones no podemos acercarnos a la fachada por tener otros obstáculos que nos lo impiden y nos vemos obligados a realizar la inspección del edificio a una distancia considerable que hace que este parámetro que en principio es de segundo orden, cobre ahora cierta importancia.

El empleo del zoom no es aconsejable por no ser radiométrico, en todo caso nos ayudará una lente adicional de 7° o 15° para ganar distancia sin perder sensibilidad.

De nuevo el UAV nos será de gran utilidad para acercarnos a la fachada, a la altura que necesitemos y tomar las imágenes necesarias para el trabajo.

A nivel de software podemos ver la importancia de este parámetro corrigiendo la distancia de cualquier termograma.

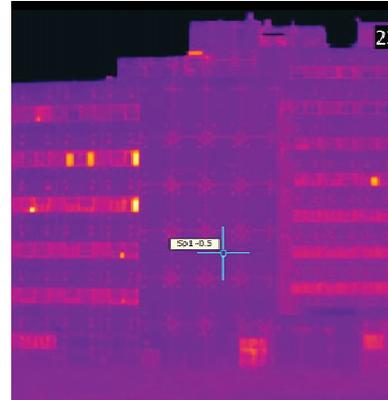


Imagen 7: termograma de una fachada a más de 1.000 metros. Temperatura aparente de la fachada (-0,5 °C).

## 3 LOS UAVS HOY EN DÍA. CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA

El empleo de los UAVs hasta hace poco a estado muy restringido y tan sólo en el campo militar se han venido utilizando. Sin embargo una vez desarrollados modelos aptos para usos civiles, su empleo y difusión está creciendo paulatinamente, pues no hay que olvidar de que es una gran inversión la adquisición de un equipo de estas características, además de otros gastos indirectos como son la instrumentación que va a montar, el software para su control, los seguros que se deben de contratar, etc.

Existen diversos tipos de UAVs en el mercado, los hay de una sola hélice, de cuatro, de seis y hasta de ocho hélices, llamados multi-rotores. Los hay de despegue vertical y horizontal, o que usan combustibles como la gasolina o con baterías eléctricas y también existe la posibilidad de manejarlos desde tierra con una estación base o programarles un vuelo determinado.

La variedad es enorme y está relacionada con la aplicación a la que se va a destinar el UAV.

En nuestro caso, el de la inspección de edificios, hemos encontrado los hexacopteros de despegue vertical como los que mejor se adaptan a nuestras necesidades. Nos permiten mucha maniobrabilidad en el aire, gran autonomía de vuelo con poco ruido y otras ventajas que vamos a ir analizando más detalladamente.

### 3.1 Características del UAV para aplicaciones de edificación

A la hora de realizar una inspección aérea de un edificio con un UAV, debemos conocer algunas características importantes, como son:

### 3.1.1 Autonomía de vuelo:

Nuestro UAV nos debe permitir realizar la inspección de un edificio de un tamaño medio como puede ser un bloque de viviendas de 19 alturas, cubierta incluida. La ventaja del uso del UAV reside también en acortar el tiempo de trabajo de campo, por lo que el tener que realizar numerosos vuelos para cambiar las baterías agotadas nos perjudicará. Además, el aterrizaje y despegue son momentos críticos que deben reducirse al máximo.

### 3.1.2 Medidas de seguridad

Debemos conocer la legislación y normativa para el empleo de UAV y obtener los permisos necesarios para realizar el vuelo en zonas urbanas además de establecer un perímetro de seguridad para el aterrizaje y despegue.

Algunos UAV cuentan con sistemas de seguridad propios como el aterrizaje forzoso, esto se realiza cuando el nivel de batería es crítico y el operador no es consciente de ello. El UAV realizará por sí sólo el aterrizaje. Sin embargo el nivel de batería crítico puede variar, pues no se tarda lo mismo en aterrizar desde una altura de 20 metros que desde 5 metros.

### 3.1.3 Combustible

Las baterías recargables nos permitirán el cambio de las mismas más rápido que con los UAV a gasolina. Además de la facilidad para su transporte.

### 3.1.4 Estabilidad

No debemos olvidar que estamos montando cámaras visuales e infrarrojas en el UAV, por lo que es del todo necesario el poder obtener imágenes nítidas de los distintos detalles constructivos que son de interés en la inspección. En ese sentido, los multirrotores nos van a dar esa estabilidad necesaria, a la vez que una cámara con un refresco de imagen mayor nos permitirá disparar y congelar la imagen con pequeñas vibraciones.

Además el UAV nos permitirá fijar su posición mediante coordenadas GPS y mantenerse en el aire mientras nosotros, desde la estación base, observamos en pantalla el edificio en busca de patologías constructivas de interés. Es decir, vemos en tiempo real nuestro edificio, desde tierra.



Imagen 8: imagen aérea totalmente nítida de una fachada y cubierta

### 3.1.5 Despegue y aterrizaje

Se trata de dos momentos críticos durante la inspección. Debemos buscar siempre superficies lisas y despejadas de obstáculos.

### 3.1.6 Condiciones de vuelo

Es evidente que este factor es importante a la hora de realizar la inspección aérea, pues el viento y la lluvia van a afectar al UAV y además vana afectar a la medida de temperatura que se realice de la envolvente del edificio.

El viento y la lluvia refrescarán la fachada y enmascararán los posibles puentes térmicos del edificio, por lo que es necesario realizar la inspección en condiciones climatológicas favorables.

### 3.1.7 Transporte

Algunos UAV requieren de una gran logística en cuanto al transporte del mismo, la preparación del UAV para el vuelo, etc.

Minimizar la operativa será de utilidad para agilizar la inspección termográfica.

Además de estas características, la selección de la cámara termográfica que se va a montar es otra parte igualmente importante, pues será la herramienta de medida de temperatura que emplearemos.

La imagen 2 muestra el UAV con una cámara Flir T640bx de 640x480 píxeles. Si bien es un excelente equipo para realizar inspecciones termográficas a pie, sus 1,200 Kg de peso hacen que el UAV tenga dificultades en el vuelo, menos autonomía y menor maniobrabilidad, además de que en caso de caída el soporte donde se acopla la cámara no aguantaría el peso de la cámara y se podría romper esta.

Las cámaras denominadas "core térmicos" son las que mejor se van a adaptar a estas necesidades, son ligeras (entre 70 y 100 gr en función de la lente que montemos) y permiten muchas opciones de comunicación entre el UAV y la base.

## 4 CONCLUSIONES

La reciente aparición de los UAVs junto con el creciente uso de la termografía infrarroja en edificación será una combinación perfecta para analizar la envolvente del edificio y ofrecer imágenes del edificio desde cualquier posición, sin riesgo de obtener datos incorrectos acerca de la temperatura medida en la superficie.

Al desarrollo de esta técnica se le unirá la creación de nuevas herramientas que facilitarán más su uso, como son la programación del vuelo, la autonomía del UAV o los propios avances en las cámaras y software empleados.

La inspección de grandes edificios, sus cubiertas, zonas afectadas por siniestros, el efecto isla de calor en las ciudades o barrios de éstas, etc. son sólo algunas de las aplicaciones que tienen los UAV y que pronto serán un complemento real al estudio energético del edificio.

## Rehabilitación energética: Mejora del confort interno en industrias

V. Moreno

*ISOLANA Ahorro Energético, Barcelona, España*

La problemática de la infraestructura, ya construida y en funcionamiento, es que al no poseer sistema de climatización, la temperatura que se alcanza en el interior de la zona de acopio es superior a las temperaturas prescritas por Sanidad, lo cual delimita la tipología de material que es apto a ser almacenado. Se simulará virtualmente la infraestructura, teniendo en cuenta todos los aspectos energéticos que intervienen en el funcionamiento termodinámico de la misma como ganancias internas en las distintas zonas térmicas de la nave (ocupación, iluminación, procesos...), soluciones constructivas existentes (cerramientos exteriores, cubierta, suelos...), datos meteorológicos de la localización donde se encuentra la infraestructura, orientación... Se calcula la disminución de temperatura operativa interna tras aumentar el espesor de aislamiento térmico en la cubierta, además de estudiar otras posibles soluciones pasivas a la problemática expuesta como ventilación natural del falso techo creado al instalar dicho aislamiento térmico en cubierta. Se analizarán los resultados obtenidos, aportando información de vital importancia para acometer la obra de rehabilitación energética que resuelva la problemática existente.

### 1 INTRODUCCIÓN

Según nos comenta el promotor, la nave tiene una función de almacenamiento de productos farmacéuticos, entre otros, lo cual delimita las exigencias de aire externo que se puede introducir en la zona de almacén.

La problemática de la infraestructura, ya construida y en funcionamiento, es que al no poseer sistema de climatización, la temperatura que se alcanza en el interior de la zona de acopio es superior a las temperaturas prescritas por Sanidad, lo cual delimita la tipología de material que es apto a ser almacenado.

Se realiza un estudio energético de la nave en estudio simulándola virtualmente, teniendo en cuenta todos los aspectos energéticos que intervienen en el funcionamiento termodinámico de la misma, como ganancias internas en las distintas zonas térmicas de la nave (ocupación, iluminación, procesos...), soluciones constructivas existentes (cerramientos exteriores, cubierta, suelos...), datos meteorológicos de la situación donde se encuentra la infraestructura, orientación...

### 2 OBJETIVO

El objeto final del presente informe es el cálculo de la temperatura interior de la zona de almacenaje en periodos estivales, ya que se alcanzan temperaturas superiores a las deseadas para poder almacenar algunos productos farmacéuticos. En un primer lugar se realizará una simulación térmica sub-horaria de la semana de diseño de verano de la nave, configurando todos los inputs del modelo según la situación actual de la nave. De esta manera calcularemos las condiciones internas actuales, creando así el *baseline*, obteniendo datos numéricos de los distintos as-

pectos de confort y transferencias de calor que intervienen en su comportamiento termodinámico. Propondremos medidas de mejora a aplicar en la nave en estudio. Volveremos a simular la infraestructura, realizando los cambios pertinentes, verificando cuantitativamente las mejoras energéticas propuestas. Este procedimiento lo repetimos tantas veces como mejoras energéticas adoptamos.

Para la realización de los cálculos termodinámicos y las distintas simulaciones energéticas sub horarias del edificio en estudio se utiliza la herramienta informática DESIGN BUILDER, interface de ENERGY PLUS. EnergyPlus™ es un programa de simulación térmica y energética de edificios desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos).

### 3 PRESENTACIÓN RESUMIDA DE DATOS Y RESULTADOS

El edificio, objeto de estudio de este informe corresponde a una nave logística de almacenamiento de material farmacéutico, entre otros materiales. Situada en el Polígono Vallderic, Mataró (Barcelona).



Figura 1. Situación de la nave

El edificio en estudio se divide en dos grandes zonas fácilmente localizables, zona de almacenaje y zona de oficinas. La zona de almacenamiento equivale a una gran volumetría diáfana resuelta con pórticos de hormigón armado prefabricado, geometría cuadrada y unas dimensiones de 43,2 x 33,8 m. de planta y una altura de unos 11 m, en donde se localizan de forma ordenada y casi repetitiva las diferentes estanterías de almacenamiento de material. La zona de oficinas se desarrolla en 3 plantas de las mismas dimensiones, anexas a la zona de almacenaje, y orientadas a la cara sur de la infraestructura, conformando la fachada principal de la misma.

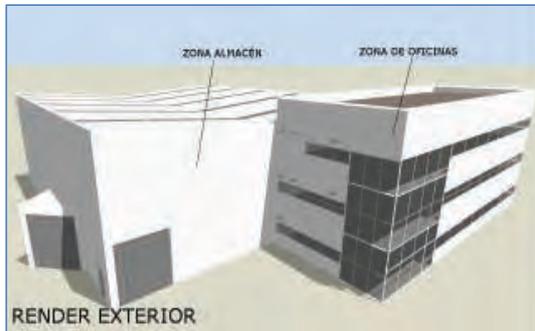


Figura 2. Render de la plataforma logística, zonificación

Podemos observar como la línea de cubierta zigzaguea creando 3 aguas, 1 limahoya y 1 limatesa. Esta geometría es debida a que en un principio, la nave solamente presentaba una cubierta a dos aguas tradicional, pero hace unos meses, se realizó una ampliación de la nave, anexionando la zona de la izquierda. Observamos que sobresale un pico en planta triangular por el alzado izquierdo, muelle de carga y descarga de la plataforma logística. Por el interior de la nave la zona de muelle se encuentra en una zona diferenciable de la zona de almacenaje, al existir particiones interiores y puertas metálicas motorizadas, para que el ambiente interior de la zona de almacenaje no se contamine con el aire exterior durante las operaciones de carga y descarga.

Los datos climáticos de la base de datos más cercanos a la situación actual de la infraestructura en estudio, son los del aeropuerto de Barcelona. Además, los datos de altura sobre el nivel del mar de la infraestructura en estudio son los reales, y con esto se tienen en cuenta los factores de presión del viento y de la radiación solar reales.

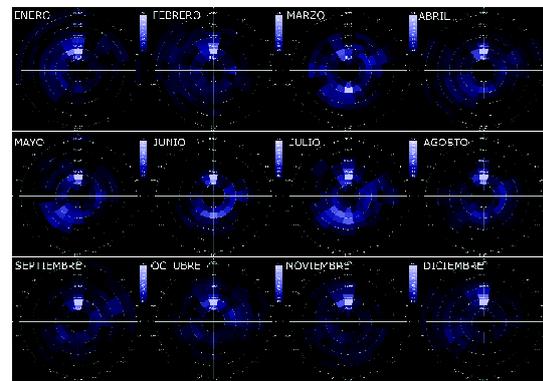
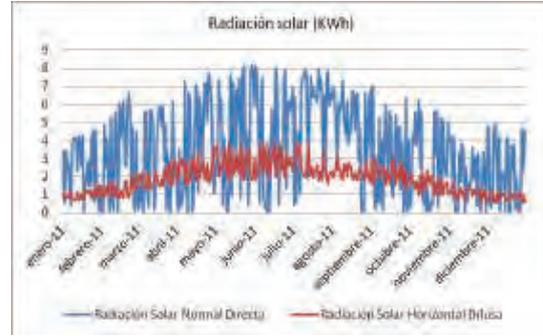
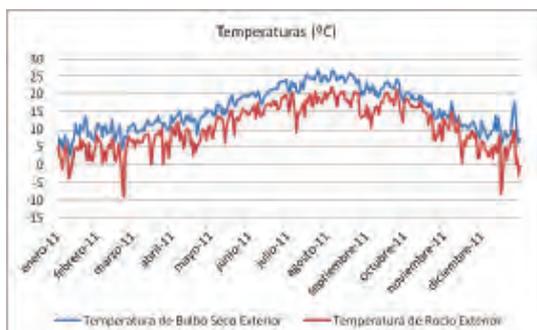


Figura 3. Datos climáticos. Temperatura, Radiación solar, Velocidad y dirección del viento

Los diferentes cerramientos arquitectónicos que forman la envolvente térmica de la nave industrial se resuelven con las soluciones constructivas reales.

Construcción	U-Value (W/m2K)	Km (KJ/K)
Muros exterior	0,189	4,173
Muros exterior (GRIS)	0,189	4,173
Cubierta inclinada	1,003	1,938
Muros interiores	0,229	4,173
Suelo sobre terreno	2,422	176,4
Suelo interno	2,422	176,4
Puerta metálica	0,505	8,395
Puerta muelle carga	2,438	10,53
Acristalamiento cubierta	1,288	

Tabla I. Transmitancias térmicas de la envolvente

La solución existente en la cubierta inclinada de la zona de almacenaje de la nave es un panel sándwich, con las siguientes capas y propiedades térmicas.

Cubierta inclinada actual	e (cm)	λ (W/mK)	U (W/m²K)
Aluminio blanco	0,05	230	460000
Poliuretano proyectado	3,00	0,035	1,167
Aluminio blanco	0,05	230	460000
<b>TOTALES</b>	<b>3,10</b>		<b>1,003</b>

Tabla II. Propiedades térmicas de la cubierta

Las programaciones necesarias a tener en cuenta para realizar las distintas simulaciones energéticas son actividad, cerramientos, Estanqueidad al aire, aberturas, iluminación y HVAC.

La zonificación de la infraestructura se resume a las siguientes zonas térmicas:

- Zona oficinas
- Zona de almacenaje
- Zona de muelle de carga y descarga

Centrándonos únicamente en las condiciones de verano, se ha elegido un periodo de simulación típico de diseño de verano, cuyas fechas son del 3 al 9 de agosto.

A continuación presentamos los resultados obtenidos en la simulación energética del edificio de referencia, el cual nos servirá para marcar la línea base del presente estudio. Resultados que compararemos con las siguientes simulaciones energéticas para poder tomar una decisión acertada en cuanto a qué medida o medidas de mejora adoptar.

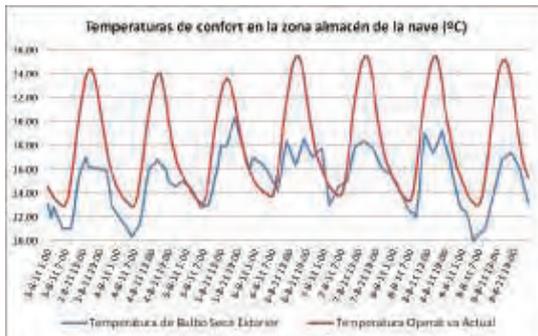


Figura 4. Temperaturas de confort edificio de referencia

Se observa en la Figura 4 que la temperatura máxima alcanzada en la zona de almacenaje de la nave durante la semana más calurosa del año, alcanza los 35,50°C. Esta temperatura se alcanza el 06 de agosto a las 16:00 horas.

Comentar que durante las 168 horas que tiene la semana de diseño de calefacción, durante 59 horas la temperatura operativa sobrepasa los 30°C.

A continuación presentamos las gráficas de balance térmico obtenidas en la simulación energética del edificio de referencia. Gracias a ella sabremos donde atacar nuestro edificio en estudio, según donde tengamos las mayores ganancias de calor.

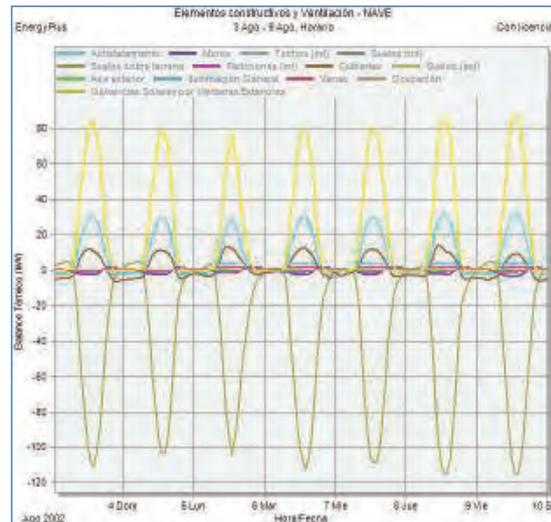


Figura 5. Resultados del balance térmico de la simulación energética de la zona de almacenaje del edificio de referencia.

Observamos que las mayores ganancias térmicas provienen de las ganancias solares por ventanas exteriores<sup>1</sup>. Los siguientes puntos débiles que tienen un efecto negativo en el confort interno de la nave son las transferencias de calor entre el exterior e interior por los acristalamientos en cubierta (lucernarios)<sup>2</sup> y las transferencias de calor por la parte opaca de la cubierta. Según estas conclusiones las acciones más interesantes para mejorar el confort térmico serían actuar sobre los acristalamientos en cubierta de la nave en estudio.

El siguiente punto débil son las transferencias de calor por la parte opaca de la cubierta<sup>3</sup>.

Para el caso en estudio se han realizado las siguientes simulaciones energéticas sub horarias:

1. Edificio de referencia (línea base)
2. Mejoras adoptadas:
  - a) Aislamiento térmico 50 mm de panel aluminio gofrado
  - b) Aislamiento térmico 100 mm de panel aluminio gofrado
  - c) Falso techo ventilado (ventilación natural)

Para ambos casos de mejora mediante aislamiento térmico, el sistema elegido es un panel aluminio gofrado, Panel auto-portante de lana mineral de vidrio conforme a la norma UNE EN 13162 recubierto con

<sup>1</sup> Línea amarilla del gráfico presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

<sup>2</sup> Línea azul del gráfico presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

<sup>3</sup> Línea marrón oscuro del gráfico presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

papel kraft-aluminio gofrado (falsos techos industriales).

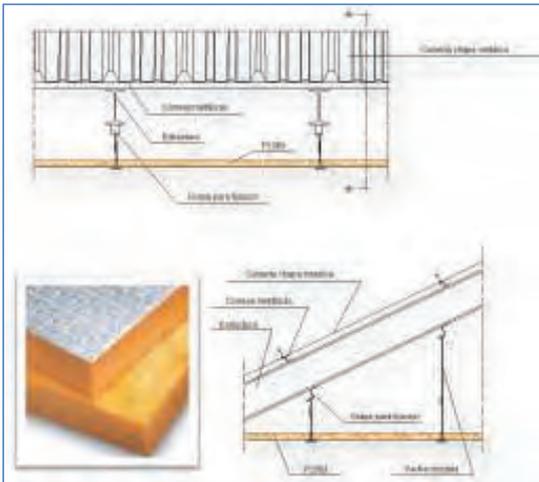


Figura 6. Solución de aislamiento térmico de cubierta propuesta.

Los resultados de transmitancia térmica instalando el aislamiento térmico son los siguientes:

Cubierta inclinada	U (W/m <sup>2</sup> K)
Edificio base	1,003
50 mm de espesor	0,384
100 mm de espesor	0,248

Tabla III. Propiedades térmicas de la cubierta aislada

A continuación presento las temperaturas de confort de la zona de almacén de la nave con la mejora de aislamiento térmico en cubierta adoptada.

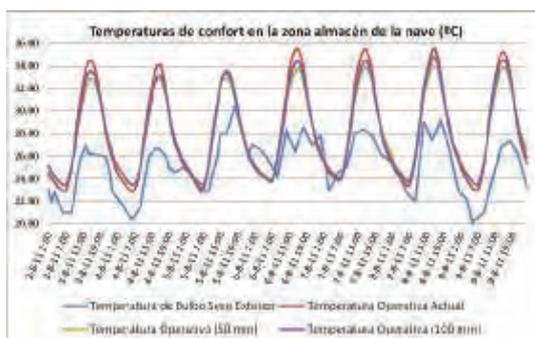


Figura 7. Comparativas de temperaturas de confort de las propuestas de mejora y el edificio de referencia

Estudiando los datos obtenidos en la simulación con 100 mm de espesor, comprobamos que la temperatura máxima que alcanza la zona de almacén de la nave es de 34,79°C, la cual se da el día 08 de agosto de a las 16:00 horas. Si comparamos este valor con los obtenidos en las simulaciones térmicas del edificio de referencia el mismo día a la misma hora (35,49°C), comprobamos que existe una disminución

de temperatura de 0,7°C. Sin embargo al compararlo con los datos obtenidos en el edificio mejorado 1 (50 mm), el valor de la temperatura operativa es de 34,04°C; temperatura menor a la obtenida en Edificio mejorado 2, 100 mm. Podemos comprobar que las curvas de temperatura de confort obtenidas con 100 mm de espesor de aislamiento térmico son peores que la solución de 50 mm de espesor. Esto es debido a que la función del aislamiento térmico impide que entre el calor a la zona térmica, pero también impide que se escape el calor de la zona térmica en horas en las que la temperatura exterior de bulbo seco es inferior a las de la zona térmica interna. Este punto es clave en el diseño de los espesores de aislamiento térmico para cualquier envolvente térmica, ya que existe la creencia en España que a mayor cantidad de aislamiento térmico, mayor ahorro energético. Teoría basada en disminuir las cargas de calefacción (metodología PassivHaus), la cual está contextualizada en países fríos del norte de Europa, donde la carga de refrigeración no existe. Sin embargo en España, donde las cargas de refrigeración son incluso más altas que las de calefacción<sup>4</sup>, el diseño del espesor del aislamiento térmico no sólo debe ser realizado por las cargas de calefacción, sino que tenemos que tener en cuenta que épocas estivales, la transpiración e intercambios de calor de la zona térmica con las bajas temperaturas nocturnas es algo beneficioso para el comportamiento termodinámico de nuestro edificio.

Por otro lado, según los datos obtenidos en la solución de 50 mm de espesor, obtenemos que durante 55 horas, de las 168 horas simuladas, la temperatura operativa de la zona de almacenaje de la nave sobrepasa los 30°C. Comparando este valor con la línea base, obtenemos que durante 4 horas más, la temperatura es inferior a los 30°C, una mejora del 7% del total de 59 horas que resultaban en la simulación del edificio de referencia. Mientras que con la solución de 100 mm de aislamiento el número de horas en las que la temperatura interior de la zona de almacén de la nave es superior a 30°C es de 57 horas; 2 más que con la mejora 1 (50 mm), y 2 menos que el edificio de referencia.

Comprobados los datos expuestos anteriormente, está justificada la colocación de aislamiento térmico con un espesor de 50 mm, ya que el descenso de temperatura es evidente. Está claro que se desearía un descenso mayor de la temperatura, pero con la solución de aislar la cubierta no se podrá conseguir.

La siguiente medida de ahorro energético, Falso techo ventilado (ventilación natural), es suplementaria a la medida de mejora anterior. Ya que la solución es la misma con una pequeña variación, que como ve-

<sup>4</sup> Depende de la zona térmica en la que se encuentre el edificio.

remos en los resultados obtenidos, es bastante beneficioso para el confort interior. La medida de mejora propuesta radica en abrir unas aberturas en los cerramientos exteriores de la nave industrial a la altura del hueco existente en el falso techo, una vez colocado el aislamiento térmico. Con esta medida, conseguimos que las ganancias internas de calor provocadas por la radiación solar en la cubierta, no sean transmitidas a la zona interna de la nave. Gracias al caudal de aire que fluye de forma natural por el hueco del falso techo, gran parte de la energía transmitida a través de la cubierta inclinada, como consecuencia de la radiación solar, es evacuada al exterior. De esta manera conseguimos una disminución de la temperatura operativa en la zona de almacenaje de la nave industrial.

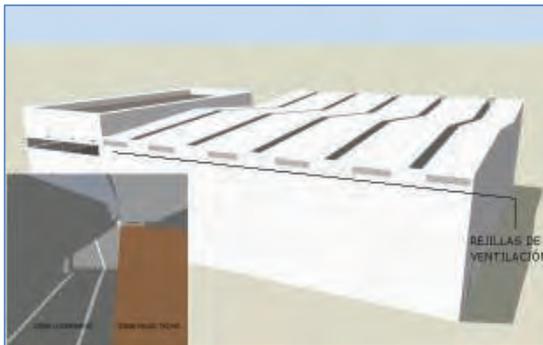


Figura 8. Render de la mejora propuesta, mediante aberturas que facilitan la renovación de aire interno en el falso techo creado al instalar el aislamiento térmico en cubierta. Resultados de CFD de la solución propuesta.



Figura 9. Resultados de CFD de la solución propuesta.

En la Figura 9, observamos mediante el análisis CFD (Computational Fluid Dynamic) de la ventilación natural en falso techo, que la convección natural del aire funciona perfectamente, ya que el aire existente en la cámara del falso techo sufre un calentamiento considerable, producido por la radiación solar en cubierta, favoreciendo de esta manera la convección natural. El resultado de los cálculos dinámicos de fluido realizados para la comprobación de esta medida de mejora a adoptar ha sido satisfactorio, llegando a converger.

A continuación se presentan las temperaturas de confort de la zona de almacén de la nave con la medida de mejora del confort térmico interno mediante ventilación de la cámara de aire formada. Además en la gráfica mantenemos las temperaturas de confort actuales (edificio de referencia), para facilitar la comparación entre la línea base y las mejoras adoptadas, y las temperaturas exteriores.

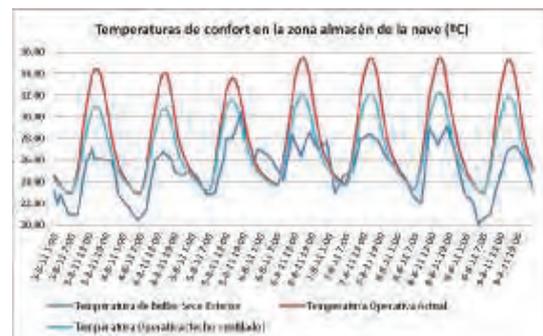


Figura 10. Resultados de las simulaciones energéticas realizadas para comprobar la mejora de confort térmico interno mediante el diseño de con las distintas medidas de mejora propuestas.

Podemos observar en la Figura 10 que la disminución de temperaturas interiores en la zona de almacenaje es considerable, bastante mayor a la obtenida con las medidas de mejora 1 y 2 (aislamiento térmico de la cubierta). Ciertamente es que en este caso la mejora es acumulativa, ya que esta medida de mejora contempla el aislamiento de la cubierta + la ventilación de la cámara de aire.

En este caso la temperatura máxima que alcanza la zona de almacenaje es de 32,25°C, que se produce el día 08 de agosto a las 15:00 horas. Si observamos la temperatura interior de la zona en estudio el mismo día a la misma hora de la situación de la nave actual, vemos que la temperatura que se alcanza es de 35,38°C. Obteniendo una disminución de temperatura de 3,1°C. El número de horas en las que la temperatura interior es superior a 30°C es de 39 horas. 20 horas menos que en la situación actual, obteniendo una mejora del 34%.

#### 4 CONCLUSIONES

Los resultados de mejora se han calculado mediante la contabilización de las horas en las que la temperatura interior de la zona de almacenaje de la nave industrial supera los 30°C. Posteriormente se ha realizado una comparación lineal entre los porcentajes de mejora para poder conocer de una forma más clara qué medidas son las que más repercusión tienen en el confort interior.

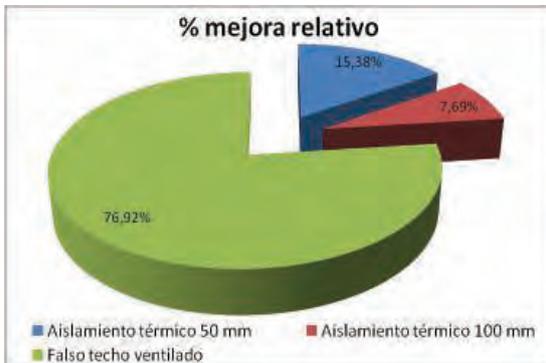


Figura 11. Repercusión de cada una de las medidas de mejora, en el confort térmico del interior de la zona de almacenaje de la nave en estudio.

Se han estudiado otras medidas de mejora, como es recubrir la superficie opaca de la cubierta con una membrana impermeabilizante de alta reflectancia. Lo que provoca esta medida es aumentar la cantidad de radiación solar reflejada en cubierta, con lo que la cantidad de energía transmitida al interior de la nave se reduce. En este caso en estudio, la solución propuesta no reflejará grandes mejoras, ya que el acabado superficial exterior de la cubierta es aluminio blanco, material que posee un valor de reflectividad bastante alto.



Figura 12. Membrana Derbibrite de alta reflectividad

La membrana propuesta corresponde a una membrana de recubrimiento de cubiertas de **Derbibrite**, de la empresa belga **Derbigum**. La membrana está realizada a base de componentes vegetales, libre de bitumen y compuestos sintéticos que tiene una reflectancia solar de hasta el 81%, muy por encima de otros materiales metálicos habituales o las pizarras.

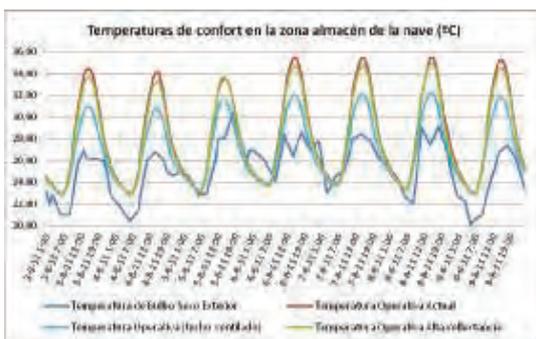


Figura 13. Temperaturas de confort mediante lámina reflectante

Se puede apreciar en la Figura 13 que existe disminución de temperaturas, aunque no es muy grande, según lo comentado anteriormente. Los datos obtenidos tras simular el edificio energéticamente es que la temperatura máxima que alcanza la zona de almacenaje de la nave industrial es de 34,97°C, obteniendo una disminución de temperatura de 0,53°C respecto al edificio de referencia. Las horas que la nave alcanza una temperatura mayor a 30°C es de 54 horas, 5 menos que la línea base.

La siguiente propuesta de mejora analiza es colocar un sistema de sombreado textil en la cubierta de la nave. Esta solución puede parecer algo novedosa, pero como veremos en los resultados obtenidos tiene unos resultados bastante positivos.

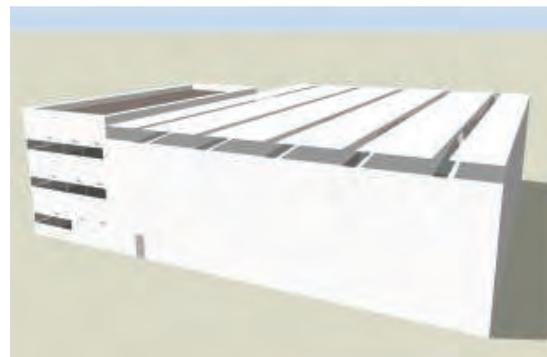


Figura 14. Infografía de sombreado exterior

El efecto que conseguimos con esta medida de mejora es similar al obtenido en el edificio mejorado 3 (falso techo ventilado), ya que conseguimos que una corriente de aire desplace la mayor parte de calor producido por la radiación solar en cubierta.

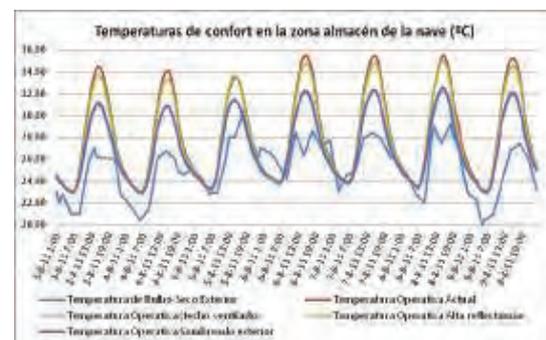


Figura 15. Temperaturas de confort mediante cubierta sombreada

Podemos observar en la Figura 15, que la solución propuesta es una de las más apropiadas en cuanto al

resultado obtenido, y que se asemeja mucho a la solución del edificio mejorado 3 (falso techo ventilado).

Estudiando los resultados de la simulación energética, obtenemos que la temperatura máxima que alcanza la zona de almacenaje es de 32,52°C. Comparando con la línea base, tenemos una disminución de la temperatura de 2,98°C. Las horas que la nave sobrepasan los 30°C en esta medida son 40 horas, 19 horas menos que la línea base, obteniendo una mejora de 32,2%.

Como última medida de mejora de la problemática en estudio, proponemos la apertura de los lucernarios en cubierta, para que por convección natural obtengamos una renovación de aire que produzca un enfriamiento pasivo de la zona afectada. Cierto es que según la demanda del promotor, no se posibilita la entrada de aire exterior por motivos de sanidad, pero aún así deseamos exponer este caso para comprobar los grandes beneficios que tiene la ventilación natural.

La programación de apertura de los lucernarios de cubierta es igual que la ocupación o funcionamiento de la nave (de lunes a viernes de 8:00 a 18:00 horas).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

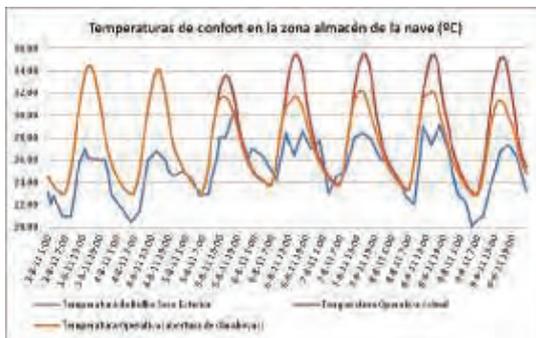


Figura 16. Temperaturas de confort ventilación natural interna

Podemos observar en la Figura 15 que el descenso de la temperatura es considerable.

Comentar que para la comparación de resultados los días 3 y 4 de agosto no los consideramos, ya que son días que caen en fin de semana y los lucernarios permanecen cerrados.

La temperatura máxima que alcanza la zona de almacenaje es de 32,22°C, comparamos con la línea base y obtenemos un descenso de temperatura de 3,28°C. Y el número de horas que la nave supera los 30°C es de 33, 26 horas menos que el edificio de referencia, obteniendo una mejora del 44%.

Como conclusiones de este segundo pack de medidas de mejora del confort interior, señalar que las medidas que mejor resultado dan son ventilar el falso techo creado para aislar la cubierta de la zona de almacenaje de la nave, colocar toldos a modo de sombreado de la cubierta y abrir los lucernarios para permitir la ventilación natural del gran espacio de almacenaje.

En el siguiente gráfico se puede observar la repercusión de cada una de las medidas de mejora, en el confort térmico del interior de la zona de almacenaje de la nave en estudio. Los resultados de mejora se han calculado mediante la contabilización de las horas en las que la temperatura interior de la zona de almacenaje de la nave industrial supera los 30°C. Posterior se ha realizado una comparación lineal entre los porcentajes de mejora para poder conocer de una forma más clara qué medidas son las que más repercusión tienen en el confort interior.

MEDIDAS DE MEJORA DE CONFORT	Horas t <sup>a</sup> > 30°C	% mejora respecto Línea Base	% mejora relativo
LÍNEA BASE	59	0,00%	0,00%
Aislamiento térmico 50 mm	55	6,78%	5,26%
Aislamiento térmico 100 mm	57	3,39%	2,63%
Falso techo ventilado	39	33,90%	26,32%
Alta reflectancia	54	8,47%	6,58%
Sombreado exterior	40	32,20%	25,00%
Ventilación natural lucernarios	33	44,07%	34,21%
<b>TOTALES</b>		<b>128,81%</b>	<b>100,00%</b>

Tabla IV. Resultados de mejora de confort finales

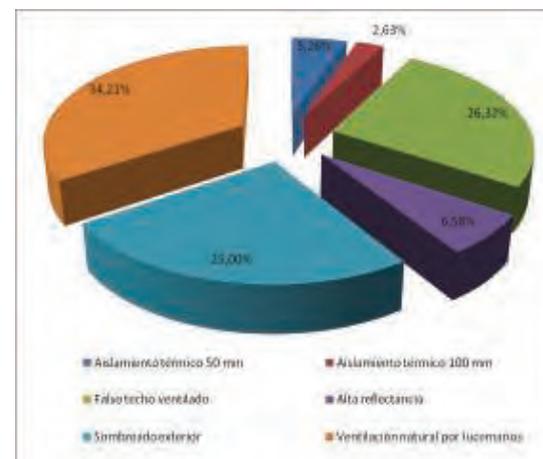


Figura 17. Repercusión de cada una de las medidas de mejora, en el confort térmico del interior de la zona de almacenaje de la nave en estudio Temperaturas de confort ventilación natural interna

Podemos observar que la medida de mejora del confort térmico interno es la ventilación natural de la zona térmica, mediante la abertura de los lucernarios existentes en la cubierta de la nave en estudio.

Como el promotor informó de que no es posible utilizar la impulsión de aire exterior al interior de la nave como medida de mejora del confort; ya que los técnicos de sanidad de la zona le comunicaron que no era posible la introducción de aire externo. Por consiguiente, la siguiente medida que presenta los mejores resultados es realizar un aislamiento térmico de la cubierta de la nave, obteniendo una cámara de aire entre la cubierta existente y este falso techo de aislamiento térmico, la cual será ventilada por medios naturales, practicando unas aberturas en ambos lados de las fachadas este y oeste.

Para la ejecución de esta medida de mejora se respetarán las aberturas en la cubierta (lucernarios), facilitando la entrada de luz solar natural al interior de la nave. De esta manera el falso techo no será continuo en toda la superficie de la cubierta de la nave, sino que se resolverá por franjas transversales, de la misma forma que la zona opaca de dicha cubierta. Para que el aislamiento térmico tenga efecto en el confort interno, se deberán cerrar estas franjas de falso techo mediante aislamiento colocado de forma vertical que conforme espacios cerrados y aislados. Así conseguimos que la ventilación de los espacios del falso techo no tenga contacto directo con el aire de la nave, cumpliendo los requisitos impuestos por sanidad.

A continuación presentamos el presupuesto del material de obra necesario para la ejecución de esta medida de mejora del confort térmico interno.

contempladas en el presente informe; tales como la mejora de las características térmicas de las aberturas de cubierta (lucernarios), que como hemos visto en el capítulo Edificio de referencia es un punto fuerte en las ganancias térmicas de la nave.

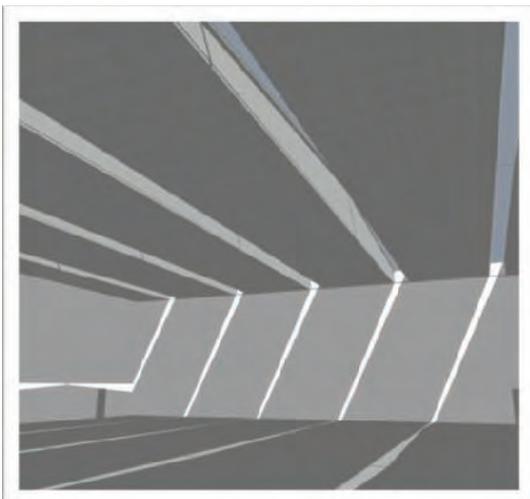


Figura 18. Cajeados de los falsos techos propuestos

También quiero destacar que existen otras medidas de mejora del confort térmico interno de la nave, no

## Rehabilitación energética: SATE Vs Mortero monocapa Título

V. Moreno

ISOLANA Ahorro Energético, Barcelona, España

Se realiza un estudio energético-económico de un proyecto real de rehabilitación de las fachadas de dos bloques de viviendas. Se simula virtualmente los edificios, teniendo en cuenta todos los aspectos energéticos que intervienen en el funcionamiento termodinámico de los mismos. Tras estudiar los resultados energéticos obtenidos y una vez marcada la línea base, propondremos las medidas de mejora que son viables a aplicar, focalizándonos en la mejora del comportamiento térmico de las fachadas. Volveremos a simular los edificios en estudio, realizando los cambios pertinentes en cuanto a las medidas de mejora propuestas: Mejora de la permeabilidad al aire de la envolvente térmica, mejora de la resistencia térmica de los cerramientos opacos y transparentes de la envolvente térmica (fachadas), mejora de la resistencia térmica del forjado de planta baja y mejora de la resistencia térmica de la cubierta. Para la realización de los cálculos termodinámicos y las distintas simulaciones energéticas sub horarias de los edificios en estudio se utiliza la herramienta informática DESIGN BUILDER, interface de ENERGY PLUS.

### 1 INTRODUCCIÓN

Se estudian las ventajas que conlleva la ejecución de una rehabilitación de fachada mediante el Sistema de Aislamiento Térmico Exterior frente al saneado y restauración convencional, mediante enfoscado de mortero de cemento (monocapa). Para ello se realizará un estudio energético-económico de un proyecto real de rehabilitación de las fachadas de dos bloques de viviendas. En un primer lugar se realizará una simulación térmica sub-horaria del año completo de ambos edificios, configurando todos los inputs del modelo según la situación actual de estos. De esta manera calcularemos las condiciones internas actuales, creando así la línea base y obteniendo datos numéricos cuantificables de los distintos aspectos de confort y transferencias de calor que intervienen en el funcionamiento termodinámico de los mismos. Posteriormente propondremos las medidas de mejora que son viables a aplicar, focalizándonos en la mejora del comportamiento térmico de las fachadas.

### 2 OBJETIVO

Concienciar al público de las ventajas que conlleva realizar una rehabilitación energética, mediante técnicas pasivas como la instalación de un Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior, a la hora de acometer la rehabilitación del parque edificatorio. Se realiza un estudio energético-económico de la opción de rehabilitación energética, calculando ahorros conseguidos y periodos de amortización de la inversión inicial.

### 3 PRESENTACIÓN RESUMIDA DE DATOS Y RESULTADOS

Ambos bloques se encuentran situados en la localidad de Cubelles, provincia de Barcelona. Los blo-

ques de viviendas se sitúan en Carrer Girona 9 y Passeig Maritim 1-3 respectivamente. Los datos climatológicos utilizados en las diferentes simulaciones energéticas llevadas a cabo en el presente informe, se han obtenido de la base de datos climáticos de EERE - Energy Efficiency & Renewable Energy, del Departamento de Energía de United States. La base de datos más cercana a la situación actual de los edificios en estudio, son los del aeropuerto de Barcelona.

Los edificios en estudio presentan una planta sin dibujo geométrico establecido, desarrollándose con varios entrantes y salientes. Ambos edificios contemplan planta baja más 2 alturas, obteniendo una altura de los bloques de unos 10 m. El bloque de viviendas C/GIRONA 9, con 7 viviendas por planta, presenta una superficie estimada por planta de 440 m<sup>2</sup>, obteniendo una superficie aproximada por vivienda de 60 ~ 65 m<sup>2</sup>. Mientras que el bloque de viviendas Passeig Maritim 1-3, con 8 viviendas por planta, presenta una superficie estimada por planta de 510 m<sup>2</sup>, obteniendo una superficie aproximada por vivienda de 60 ~ 65 m<sup>2</sup>.



Figura 1. Infografía de los 2 bloques de edificios en estudio.

Ambos bloques comparten parking, situado en la planta sótano de los bloques. La superficie del par-

king es de 950 m<sup>2</sup>. Este parking está muy ventilado, con unas renovaciones hora de 1 a 3.

Las configuraciones que se han programado en el simulador energético para obtener los resultados de consumo energético son las siguientes: Una ocupación de 3 personas por vivienda, ya que se consideran 2 dormitorios por vivienda<sup>1</sup>, con una programación horaria distintiva para los fines de semana y los días laborables. Una ganancia interna por iluminación de 8 W/m<sup>2</sup>•100 lux<sup>2</sup>, luminarias suspendidas y programación de uso de 19 a 23. Según el DB HS 3 del CTE, realizamos una aproximación de los requerimientos de ventilación de cada habitáculo y lo extrapolamos a toda la vivienda, obteniendo unas necesidades de aire exterior de 4 l/s•pers. El funcionamiento de la ventilación se considera natural y es continuo durante todas las horas del año. Se tiene en cuenta la existencia de unas infiltraciones de 1 r.h. También se tiene en cuenta un consumo energético de los diferentes aparatos eléctricos que encontramos en cada vivienda. Además de soportar un consumo eléctrico por el uso de dichos aparatos, estos aportan energía térmica al espacio habitable, supone una ganancia interna de 15 W/m<sup>2</sup> en las zonas residenciales, durante una programación de utilización de 8 horas diarias, de 10:00 a 18:00, todos los días del año<sup>3</sup>. Para los cálculos de consumo de agua caliente y energía necesaria para abastecer la demanda de ACS se ha tenido en cuenta un consumo de 22 l/día•pers<sup>4</sup>, con lo que obtenemos un consumo 66 l/día ≈ 1 l/día•m<sup>2</sup>. La temperatura de entrega del agua caliente sanitaria es de 65 °C y una temperatura del agua de red de 10 °C. El perfil de utilización coincide con la programación de ocupación. La fuente generadora de calor para el ACS es la misma caldera utilizada para acondicionar las zonas habitables, cuyo combustible es el Gas Natural. El sistema de calefacción está constituido por 2 calderas centrales que dan servicio a cada edificio, con una eficiencia de 0,5, ya que presentan una baja calidad y una antigüedad de más de 25 años, lo que ha hecho disminuir la eficiencia de las mismas desde 0,85 que poseían en el momento de la instalación a 0,5 actual. El tipo de calefacción es radiante/convectivo con una fracción radiante de 0,3 y una distribución radiante uniforme. Para la puesta en marcha de los sistemas de calefacción se ha configurado una temperatura de consigna de calefacción de 21°C y un periodo de disponibilidad igual a la ocupación de los edificios. No se ha considerado sistema de refrigeración en ninguno de los edificios. Las soluciones constructivas de la envolvente térmica, iguales para ambos bloques de edificios, son las siguientes:

<sup>1</sup> Según el DB HE 4 del CTE.

<sup>2</sup> Según el DB HE 3 del CTE.

<sup>3</sup> Aproximación de utilización para converger con el consumo total mensual de 210,485 KWh.

<sup>4</sup> Según el DB HE 4 del CTE.

Solución constructiva	U-Value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Km (KJ/K)
RE_Suelo sobre terreno	1,261	218
RE_Cubierta plana	1,728	111,8
RE_Partición	2,04	50,9
RE_Cerramientos exterior	1,545	57,25
RE_Suelo interno	1,478	192,2
RE_Muros parking	3,588	240

Tabla I. Soluciones constructivas de la envolvente térmica.

Cerramientos exteriores	e (cm)	λ (W/mK)	U (W/m <sup>2</sup> ·K)
Mortero de Cemento	2	0,8	40
1/2 pie ladrillo perforado	11,5	0,694	6,03
Cámara de aire sin ventilar	3	-	-
Tabique ladrillo hueco sencillo	4	0,444	11,1
Enlucido de yeso	1,5	0,57	38
<b>TOTALES</b>	<b>22</b>		<b>1,545</b>

Tabla II. Capas y propiedades térmicas de muros exteriores.

Tras realizar la simulación energética dinámica horaria del año completo obtenemos diversos resultados energéticos analizables, los cuales nos ayudarán a conocer los puntos débiles del edificio en estudio, y conocer cuáles serán las medidas de ahorro energético que más repercusión tendrán sobre el comportamiento térmico del mismo. En primer lugar se expone el consumo energético de los edificios analizados. A continuación se expone el balance energético, donde se observa cuales son los puntos débiles de los mismos, que producen las mayores pérdidas de energía.

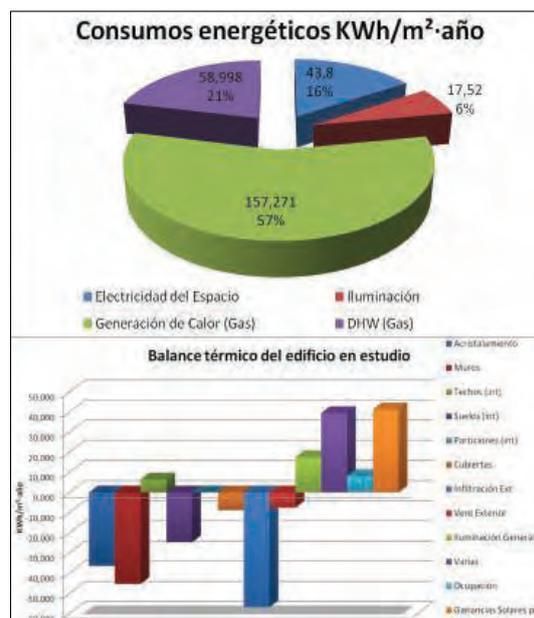


Figura 2. Resultados de las simulaciones termodinámicas de los edificios en estudio (línea base).

En la primera gráfica podemos observar que más de la mitad de los consumos (57%) provienen del sistema de calefacción, siendo el ratio de consumo anual de 157,27 KWh/m<sup>2</sup>·año. En la segunda gráfica observamos que las mayores pérdidas de energía se producen por las infiltraciones del edificio. Ciertamente es que conocer el valor real de la infiltración existente en un edificio no es fácil de obtener. La medición experimental de este valor<sup>5</sup> nos dará una respuesta fehaciente a la configuración de este valor. En el presente estudio se estiman unas infiltraciones de 1 rh, valor normalmente aceptado en edificaciones existentes con una edad de más de 10 años. El segundo punto más conflictivo es la pérdida de energía por los muros exteriores, en este punto podremos comprobar la mejora obtenida al realizar un aislamiento térmico por el exterior.

Como primera medida de ahorro energético, y más efectiva, se ha propuesto mejorar la permeabilidad al aire de la envolvente térmica. Ello lo conseguiremos al realizar un aislamiento por el exterior y un especial cuidado en la ejecución de la obra, utilizando cintas adhesivas resistentes para las zonas donde se posibilita la entrada de aire exterior, como unión entre el premarco de ventanas y puertas con los cerramientos exteriores, cajas de persianas en fachada, pasamuros... La permeabilidad al aire configurado en el simulador, por las mejoras expuestas anteriormente, tiene un valor de 0,6 renovaciones horas<sup>6</sup>.

En la siguiente gráfica observamos los consumos energéticos en calefacción (Generador de calor utilizando como combustible Gas Natural) del edificio según la situación actual y con las mejoras de permeabilidad del aire exterior, también se observan los ahorros conseguidos. Estos resultados son presentados para ambos edificios en estudio.

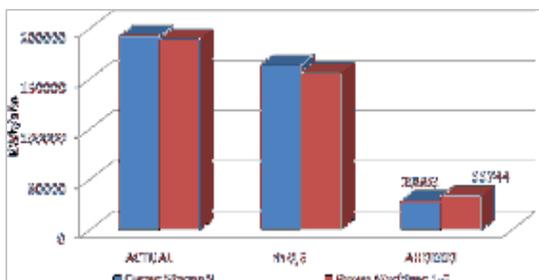


Figura 3. Consumos energéticos anuales.

Para los estudios económicos de amortización de las medidas de mejora, estos ahorros energéticos los tendremos en cuenta cuando realicemos las mejoras de aislamientos térmico por el exterior + cambio de ventanas exteriores.

<sup>5</sup> Ensayo *Blower Door*.

<sup>6</sup> El valor de 0,6 r.h. es el marcado como máximo por el Standard *Passivhaus*.

La 2ª medida de mejora (Mejora de la resistencia térmica de los cerramientos opacos de la envolvente térmica) se analiza realizando un estudio paramétrico de los ahorros conseguidos según el espesor de aislamiento térmico que instalamos por el exterior (sistema SATE). El aislamiento térmico utilizado para esta medida de mejora es poliestireno expandido (E.P.S.) con una conductividad térmica de 0,037 W/m·K. Obteniendo unas transmitancias térmicas de los muros exteriores rehabilitados:

Espesor aislamiento térmico	U-muros (W/m <sup>2</sup> ·K)
2 cm	0,852
4 cm	0,588
6 cm	0,449
8 cm	0,363

Tabla III. Transmitancias - espesores SATE

En la siguiente figura observamos los resultados del estudio paramétrico de los consumos anuales de calefacción en función del espesor de aislamiento térmico a instalar mediante el sistema de aislamiento SATE.

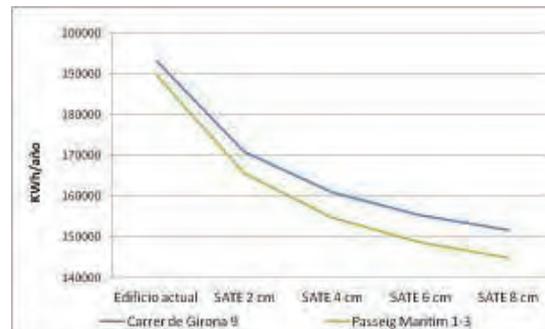


Figura 4. Estudio paramétrico

Podemos observar que los mayores ahorros se consiguen en la instalación de aislamiento térmico de 0 a 2 cm. y de 2 a 4 cm. Sin embargo, después la línea se va convirtiendo en una asíntota horizontal del consumo energético. Para estudiar cuál es la solución más rentable se ha realizado un estudio del flujo de caja con cada una de las soluciones (espesores) propuestos. Para ello se ha tenido en cuenta la inversión inicial y los ahorros energéticos anuales que obtenemos con cada espesor propuesto. El precio que se ha considerado del Gas Natural es 0,0489365 €/KWh.

	SUPERFICIE DE FACHADA (m2)		Inversión inicial (€)
Carrer de Girona 9	846,6	€/m2 EPS (2 cm)	7607,5476
		€/m2 EPS (4 cm)	8442,2952
		€/m2 EPS (6 cm)	9277,0428
		€/m2 EPS (8 cm)	10111,7904
		Ejecución (€/m2)	8
Passeig Marítim 1-3	831,6	€/m2 EPS (2 cm)	7472,7576
		€/m2 EPS (4 cm)	8292,7152
		€/m2 EPS (6 cm)	9112,6728
		€/m2 EPS (8 cm)	9932,6304
		Ejecución (€/m2)	8

A

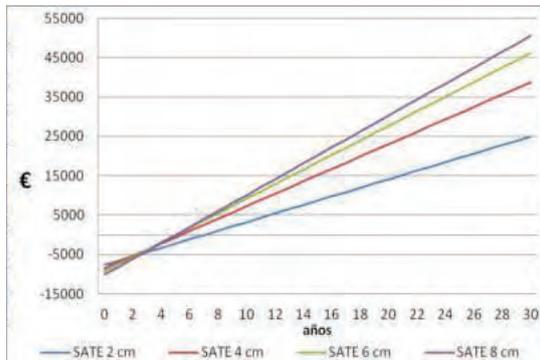


Figura 5. Flujos de caja de las diferentes opciones de espesor de aislamiento térmico del sistema SATE.

Observamos que los tiempos de retorno de las mejoras rondan los 4,5 años, siendo la solución de 2 cm la que más demora tiene en devolver la inversión inicial a los usuarios finales (7 años). Sin embargo, podemos observar que para un pequeño incremento de la inversión inicial, un 32,91%<sup>7</sup>, los ahorros obtenidos pueden llegar a multiplicarse por 2, obteniendo un ahorro energético extra de 25.500 € en 30 años; siendo el ahorro total obtenido de 50.521 € en 30 años. La inversión inicial que deberán acometer cada usuario oscilan desde 360 € con la instalación de 2 cm. de espesor de aislamiento térmico a 480 €, instalando 8 cm de espesor. Los ahorros obtenidos a 30 años<sup>8</sup> por cada vivienda rondan desde los 1.190 € hasta 2.400 €, en el caso de instalar un espesor de 8 cm.

También se han realizado otras medidas de mejora, como la mejora de la resistencia térmica de los cerramientos transparentes de la envolvente térmica (ventanas) y la mejora de la resistencia térmica del forjado de planta baja.

Como vimos en las Figura 2. Balance térmico, la siguiente medida más efectiva para reducir el consumo energético en calefacción es la mejora de las propiedades térmicas de los acristalamientos existentes. Esta medida producirá un ahorro energético tanto por disminución de las pérdidas térmicas en los balances de calor entre las zonas calefactadas y el exterior, como por la mejora de la permeabilidad al aire de la envolvente térmica, lo cual provocará un descenso de las infiltraciones exteriores, reduciendo las demandas térmicas de calefacción.

Los valores y propiedades térmicas que se han estimado para los acristalamientos existentes y renovados son los siguientes:

<sup>7</sup> 2.500 € de sobrecoste de la inversión inicial entre colocar 2 ó 8 cm. de aislamiento térmico.

<sup>8</sup> Sin tener en cuenta la previsión de subida del precio del Gas Natural en estos 30 años.

ACRISTALAMIENTOS	EXISTENTES	RENOVADOS
Categoría	Sencillo	Doble
Tipo de hoja	Generic CLEAR 6mm	LoE (e2=.1) Tint 6/13mm Air
Transmisión solar total (SHGC)	0,819	0,38
Transmisión solar directa	0,775	0,284
Transmisión de luz	0,881	0,444
Transmitancia U (W/m <sup>2</sup> -K)	5,778	1,761

Tabla IV. Propiedades vidrios

Los valores obtenidos en las simulaciones energéticas en cuanto al consumo anual en calefacción del edificio actual y con la renovación de acristalamientos son:

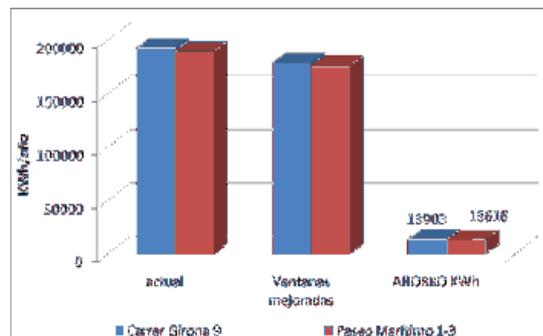


Figura 6. Consumos anuales calefacción. Cambio ventanas

Observamos que los ahorros conseguidos anualmente rondan los 14.000 KWh.

	Carrer Girona 9	Paseo Marítimo 1-3
AHORRO KWh	13903,75	13616,45
AHORRO KWh rh	28993,52	33744,62
AHORRO €	2099,24	2317,68
Nº de ventanas	96	96
Inversión inicial ventana (€)	51209,28	51209,28
Inversión inicial cristal (€)	12962,88	12962,88
<b>Amortización ventana (años)</b>	<b>24,39</b>	<b>22,10</b>
<b>Amortización cristal (años)</b>	<b>6,18</b>	<b>5,59</b>
Subvención ventanas (30%)	15362,78	15362,78
Subvención cristal (30%)	3888,86	3888,86
<b>Amortización ventana (años)</b>	<b>17,08</b>	<b>15,47</b>
<b>Amortización cristal (años)</b>	<b>4,32</b>	<b>3,92</b>

Tabla V. Estudio económico. Cambio de ventanas

Existen 96 ventanas por edificio, con unas dimensiones medias de 150 x 120 cm. Para los estudios económicos de retorno de la inversión inicial, se tiene en cuenta que el coste de cambiar una ventana existente por una nueva carpintería de aluminio lacado con rotura de puente térmico con los vidrios

señalados en la *Tabla IV* es de 533,43 €<sup>9</sup>. Mientras que el coste de cambiar únicamente los vidrios sencillos existentes por unos dobles de baja emisividad es de 135,03 €. Para conocer el ahorro energético producido gracias a esta medida hay que sumar a los 14.000 KWh/año, los ahorros producidos por la mejora de la permeabilidad al aire<sup>10</sup>.

Observamos que obtenemos unos ahorros anuales de alrededor de 2.200 €/año. Los periodos de retorno de cambiar el acristalamiento al completo se escapa de los tiempos de retorno considerados aceptables, mientras que si la solución es el cambio únicamente de los acristalamientos los periodos de retorno son más que aceptables.

La siguiente medida de ahorro energético es el aislamiento térmico del forjado de planta baja de ambos edificios, ya que en la planta sótano se localiza el parking, muy ventilado de los bloques. Según podemos observar en la *Figura 2* Balance térmico, las pérdidas térmicas por este forjado son considerables, y se presentan como una propuesta de ahorro energético.

Una vez realizadas las simulaciones pertinentes se han obtenido los siguientes resultados:

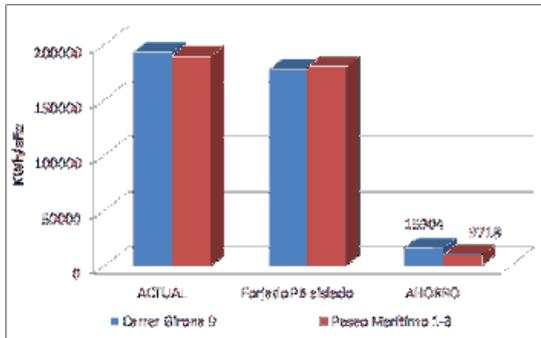


Figura 7. Consumos anuales calefacción. Forjado PB aislado

Los costes imputables para la ejecución de esta medida de ahorro energético se han desglosado en material (aislamiento térmico a base de 4 cm de Lana de Roca, con una conductividad térmica de 0,04 W/m·K) y mano de obra (ejecución).

Como podemos observar en la *Tabla I*, la transmitancia térmica de la solución de suelo de planta baja era 1,478 W/m<sup>2</sup>·K, frente a los 0,597 W/m<sup>2</sup>·K resultantes al aislar dicho forjado.

Los resultados energético-económicos son los siguientes:

<sup>9</sup> Incluye retirada de la ventana antigua.

<sup>10</sup> Ver el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en la *página 9* del presente estudio.

Observamos que los periodos de retorno obtenidos son aceptables, no superando, de media los 7 años.

	Carrer Girona 9	Paseo Marítimo 1-3
AHORRO KWh	15904,57	9718,26
AHORRO €	778,31	475,58
Superficie de forjado (m <sup>2</sup> )	450,00	450,00
€/m <sup>2</sup> LM 4 (cm)	3,00	3,00
Ejecución (€)	6,00	6,00
Inversión inicial (€)	4050,00	4050,00
<b>Amortización (años)</b>	<b>5,20</b>	<b>8,52</b>

Tabla VI. Estudio económico. Forjado PB aislados

Como última medida de mejora energética en este estudio se propone aislar las cubiertas planas no accesibles. Se colocará manta de lana de roca de densidad media<sup>11</sup>, posteriormente colocando grava a modo de protección.

La transmitancia térmica de la solución propuesta es de 0,481 W/m<sup>2</sup>·K, frente a los 1,728 W/m<sup>2</sup>·K sujeta en el edificio actual. Los resultados obtenidos, y la comparación de estos con la línea base del presente estudio se exponen a continuación:

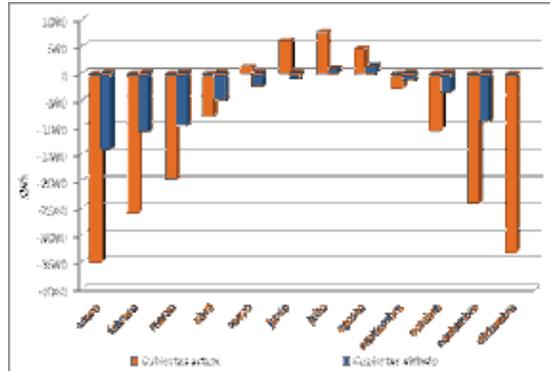


Figura 8. Balance térmico comparativo cubierta plana. Edificio Carrer Girona 9

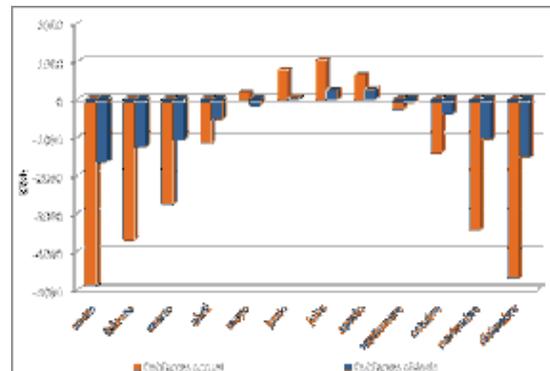


Figura 9. Balance térmico comparativo cubierta plana. Edificio Passeig Marítim 1-3

<sup>11</sup> Conductividad térmica de 0,04 W/m·K.

Los ahorros energéticos globales de ambos edificios ascienden a 39.379,51 KWh/año, que traducido a ahorro económico es de 1.927,1 €/año.

La inversión inicial estimada para acometer esta mejora es de 20.880 €, desglosado en los siguientes costes:

- Superficie cubierta: 800 m<sup>2</sup>
- LM alta densidad: 16,1 €/m<sup>2</sup>
- Ejecución: 10 €/m<sup>2</sup>

El periodo de retorno de la solución propuesta es de 10 años.

#### 4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para concluir este informe se realiza un estudio energético-económico de todas las mejoras propuestas, obteniendo resultados globales.

Es necesario comentar que para este estudio no se ha tenido en cuenta el aumento del precio del combustible (Gas Natural) que se producirá en los próximos años, obteniendo unos mejores resultados.

Edificio Passeig Maritim & Edificio Girona	Consumo energético calefacción (KWh/año)	Ahorro energético (KWh/año)
Edificio actual	382720,36	
Aislamiento SATE 8 cm*	296637,14	86083,22
Cambio acristalamientos*	292462,02	90258,34
Aislado forjado PB	357097,53	25622,83
Aislado cubierta	343340,84	39379,51
<b>TOTAL</b>	<b>141376,46</b>	<b>241343,90</b>

Edificio Passeig Maritim & Edificio Girona	Ahorro económico (€/año)	Inversión inicial (€)	Periodo retorno (años)
Edificio actual			
Aislamiento SATE 8 cm*	4212,61	20044,42	4,76
Cambio acristalamientos*	4416,93	18148,03	4,11
Aislado forjado PB	1253,89	8100,00	6,46
Aislado cubierta	1927,10	20880,00	10,83
<b>TOTAL</b>	<b>11810,53</b>	<b>67172,45</b>	<b>5,69</b>

\*Mejora de la permeabilidad al aire

Tabla VII. Estudio energético-económico de las mejoras propuestas, obteniendo resultados globales.

A continuación vamos a realizar un estudio de flujo de caja en el tiempo realizando una inversión en eficiencia energética al mejorar la envolvente térmica de edificios residenciales plurifamiliares.

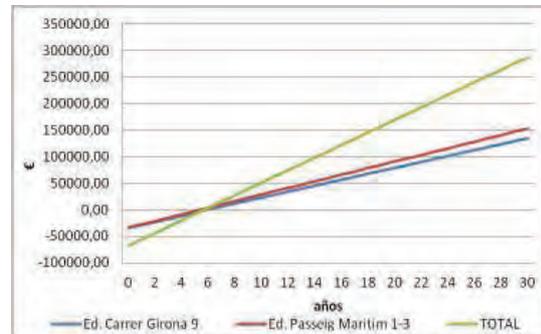


Figura 10. Flujos de caja absoluto, incluyendo todas las medidas de mejora energética analizadas.

Observando la gráfica anterior podemos apreciar los siguientes resultados globales<sup>12</sup>:

- Inversión inicial: 67.172,45 €
- Ahorro anual: 11.810,53 €
- Periodo de retorno: 5,7 años
- Beneficio a 10 años: 50.932,81 €
- Beneficio a 20 años: 169.038,06 €
- Beneficio a 30 años: 287.143,32 €

El número total de viviendas inmersas en esta inversión es de 45, por lo que modificando los resultados anteriores a resultado por vivienda obtenemos:

- Inversión inicial: 1.492,72 €
- Ahorro anual: 262,46 €
- Periodo de retorno: 5,7 años
- Beneficio a 30 años: 6.380,96 €

Estos valores suponen un Tasa Interna de Rentabilidad a partir de los 15 años y en delante del 17 %. Valor muy por encima de lo resultante si colocamos nuestra inversión inicial en un fondo fijo de inversiones con un interés del 4 %, cuyo resultado del TIR a 15 años es del -2 % y a 30 años del 5 %.

Con esta conclusión comprobamos que la inversión en eficiencia y ahorro energético en edificios residenciales, mediante la mejora de las propiedades térmicas de la envolvente es mucho más rentable que las “inversiones financieras corrientes”.

<sup>12</sup> Actuando sobre los 2 edificios.

A

A

## Rehabilitación de sistemas activos

## Incidencia del Sistema de Distribución de Energía en la Eficiencia Energética de Edificios

A. Florencia & J. Nasarre de Letosa

*Xial Domotecnología, Villatuerta (Navarra), España*

Las medidas de ahorro y eficiencia energética adoptadas en edificios se centran principalmente en la generación eficiente de calor y frío (calderas, enfriadoras...), la incorporación de fuentes de energía renovable, las características constructivas del edificio y la reducción de consumos (iluminación de bajo consumo, sistemas de recuperación de energía del aire de renovación...). Todas estas medidas inciden en dos puntos clave: La generación y captación de energía, y el uso final de ésta. Sin embargo, existe un tercer punto clave, tan crítico como los anteriores pero frecuentemente descuidado. Se trata del Sistema de Distribución de la Energía, principalmente térmica, al ser conducida desde el punto de captación-generación hasta el punto de uso final.

La incidencia de este sistema ha sido cuantificada mediante la evaluación de algunas de las soluciones industriales que ofrece Xial. Un estudio<sup>1</sup> realizado por el prestigioso Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) en varias localidades nacionales y europeas, utilizando las más avanzadas herramientas de simulación, da las claves. El ahorro energético que se consiguen frente a un edificio de características constructivas y de instalaciones en línea con las técnicas habituales, es, al menos, de un 10-19%.

La incidencia del Sistema de distribución de energía en la eficiencia energética global del edificio depende de varios factores clave: Selección de caudal constante o variable en la instalación, temperaturas de impulsión, equilibrio de caudales entre los distintos puntos de consumo, aislamiento de redes, etc. y presenta las siguientes ventajas para la obtención de edificios de bajo consumo energético:

- Pueden lograrse niveles de ahorro muy elevados, equiparables, e incluso en muchas ocasiones superiores, a los obtenidos mediante actuaciones comunes, como la reforma completa de las salas de máquinas; o a los que proporciona la utilización de fuentes de energía renovable bajo los criterios marcados por la normativa actual (CTE y RITE).
- Implantación más sencilla, más económica y menos invasiva que muchas de las intervenciones que logran un ahorro similar.
- De los dos puntos anteriores se deriva que puede conseguirse un ROI menor que el obtenido en otras intervenciones, mejorando la rentabilidad en términos de coste-eficacia.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la rehabilitación presentan una muy importante relevancia los edificios de carácter residencial. Estos edificios presentan algunas peculiaridades que históricamente han producido que, en comparación con edificios del sector terciario, no fuese tan interesante utilizar medios para mejorar y controlar la eficiencia energética. Algunas de estas peculiaridades son el consumo energético pequeño y estacional, las bajas posibilidades de intervención en materia eléctrica, el marco legal todavía desfavorable o el carácter poco especializado del cliente final (propietario de cada vivienda). Sin embargo, los datos proporcionados por el IDAE y consultoras de prestigio indican que:

- “El sector Doméstico-Hogar consume en torno al 16,7% de la energía primaria consumida en España, de la cual el 67% se emplea en usos térmicos (Calefacción, 46% y ACS, 21%)”.
- “La rehabilitación de los edificios en Europa permitiría ahorrar un 32% de la energía primaria”.
- “Actualmente se ha rehabilitado un 1,2% de los edificios existentes”.
- “El 90% de los edificios existentes no están contruidos de acuerdo a parámetros de eficiencia.”<sup>2, 3, 4</sup>

Del mismo modo, el proyecto europeo “La generación de empleo en la rehabilitación y modernización energética de edificios y viviendas”<sup>5</sup> que versa acerca de las líneas a desarrollar para satisfacer los objetivos marcados por la Unión Europea para 2020, demuestra el potencial de la rehabilitación de edificios y viviendas de la actualidad a 2020. En este sentido se prevé que la rehabilitación de 565.000 viviendas al año y alcanzando en 2040 un porcentaje acumulado de rehabilitación del 58% del parque actual existente.

Por estos motivos, es un hecho que el sector residencial constituye un mercado muy amplio y con una consistencia que, cada vez más, resulta muy interesante para la rehabilitación energética, lo cual es además favorecido por la prometedora y firme expansión de las Empresas de Servicios Energéticos.

El conjunto de actuaciones que pueden acometerse en un edificio comprende un abanico muy amplio, desde las actuaciones puramente arquitectónicas hasta las medidas que inciden en el rendimiento de las instalaciones. Conforme se realizan acciones que aportan valor añadido en la rehabilitación de un edificio, es crítica la identificación de aquellos puntos que constituyen oportunidades de actuación con un

margen de mejora económico – energético más amplio.

El conjunto de actuaciones energéticamente eficientes que habitualmente se adoptan en edificios residenciales se centra principalmente en la generación eficiente de calor y frío (calderas, enfriadoras, técnicas de control, bombas de impulsión...), en la incorporación de fuentes de energía renovable y en las características constructivas del edificio. Todas estas medidas inciden en dos puntos clave: La “generación y captación” de energía, y el uso final de ésta. Sin embargo, existe un tercer punto clave, tan crítico como los anteriores pero a veces descuidado, que es el Sistema de Distribución de la energía, al ser conducida desde el punto de captación-generación hasta el punto de uso final. Debido a la escasa atención que ha sido prestada a este Sistema, generalmente se constituye como ese “eslabón más débil” ofreciendo un margen de mejora muy amplio, especialmente en edificios con amplias redes de distribución y consumos pequeños, como es el caso del sector residencial.

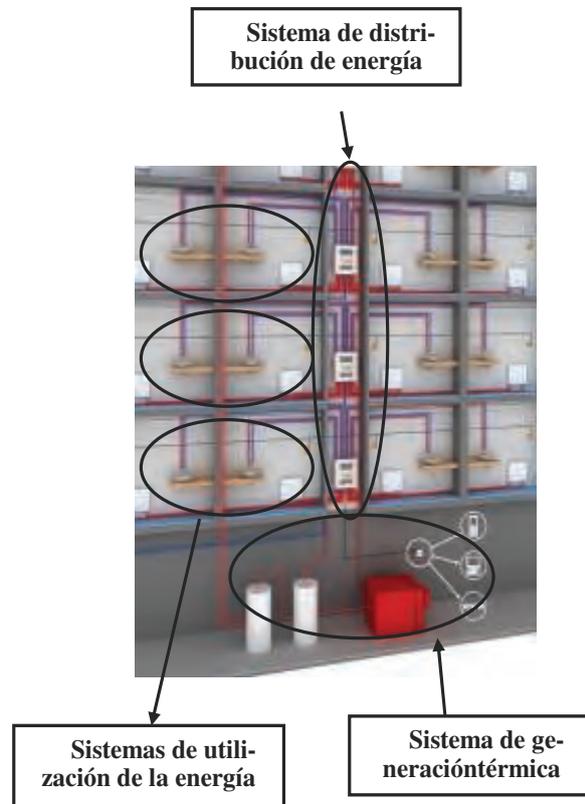


Figura 1. Sistemas de generación térmica, de distribución de energía y de utilización de la energía en la instalación térmica de un edificio residencial.

En este tipo de edificios, las actuaciones en materia eléctrica están muy acotadas debido al pequeño consumo de cada usuario, sin embargo, presentan muchas posibilidades las actuaciones sobre las instalaciones térmicas (calor, frío y ACS) debido a los contratos colectivos, que permiten tratar al conjunto de viviendas de un edificio como un solo cliente.

De forma muy simplificada, la energía primaria destinada a fines térmicos utilizada por un edificio puede esquematizarse como:

$$\text{Energía primaria} = \eta_{\text{generación}} \cdot \eta_{\text{distribución}} \cdot \eta_{\text{utilización}} \cdot \text{Demanda neta} \quad (1)$$

Donde:

$\eta_{\text{generación}}$  Rendimiento del Sistema de generación térmica (sala de calderas)

$\eta_{\text{distribución}}$  Rendimiento del Sistema de distribución de energía

$\eta_{\text{utilización}}$  Rendimiento del Sistema de utilización de la energía (vivienda)

Los edificios residenciales colectivos presentan una ventaja muy importante frente a muchos de los edificios en los que habitualmente puede intervenir, que consiste en la obligación de instalar contadores de energía térmica para cada vivienda (desde 1997) antes del punto de utilización de la energía térmica (vivienda). Esto produce que las mejoras en el rendimiento en los Sistemas de generación y distribución de energía sean fácilmente mensurables, y, por lo tanto, de alto interés para a la hora de acometer actuaciones.

Por otra parte, conceptualizar la red de distribución como un conjunto y dotarlo de los últimos avances en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), proporciona la posibilidad de integrar un Sistema de Comunicaciones industrializado en el edificio. Este Sistema ofrece al consumidor final de la energía la posibilidad de interacción con el mismo, de forma que pueda recibir en tiempo real concienciación y formación automática, favoreciendo la corrección de hábitos de consumo. El impacto de la corrección de hábitos sobre la demanda energética en un edificio es a primera vista complejo de cuantificar y, sobre todo, de fijar en un contrato, pero prestigiosos organismos internacionales han cuantificado estos ahorros con un grado de precisión elevado, como se muestra más adelante.

Además, un Sistema de Distribución de energía fundamentado sobre las TIC ofrece herramientas de información útiles para los diferentes agentes (ESEs, administradores, mantenedores, etc.) que le permiten conocer parámetros de interés del edificio, detectar oportunidades de mejora en diferentes puntos de la

instalación y en general, constituir una ayuda eficaz para contribuir a la rentabilización del negocio.

## 2 ACTUACIÓN ACTIVA. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA

Entre las diferentes actuaciones que se pueden llevar a cabo en una rehabilitación que mejore la eficiencia energética del sistema de distribución, destacan: El cambio de un sistema de caudal constante a caudal variable, la temperatura de impulsión, el aislamiento y el equilibrado hidráulico. Esta última medida (equilibrado) se puede considerar como la más influyente.

### 2.1 Cambio de un sistema de caudal constante a caudal variable.

El sistema de caudal constante se caracteriza porque el caudal total de agua que circula por la red de calefacción es siempre el mismo. Se trata de un sistema anticuado, sencillo y poco eficiente.

Por otro lado, el sistema de caudal variable es aquel en el cual, el caudal de agua de calefacción que circula por la instalación depende de la demanda instantánea de las viviendas. De esta manera, disminuye el consumo eléctrico de las bombas, la pérdida de energía térmica por distribución y el consumo de combustible, al tener que calentar sólo el agua necesaria.

Se trata de un tipo de instalación más novedoso que el anterior y con múltiples beneficios, tanto energéticos como económicos.

Desde Xial Domotecnología apostamos por los sistemas de caudal variable por su alto grado de eficiencia energética.

### 2.2 Temperatura de impulsión

Todos los sistemas de alta eficiencia energética que aprovechan las nuevas fuentes de energía tienden a trabajar a bajas y muy bajas temperaturas de impulsión (LTH = LowTemperatureHeating).

Basándonos en la segunda Ley de la Termodinámica, podemos afirmar que en el Sistema de Distribución, el cuerpo caliente (tubería de distribución) tiende a equilibrar su temperatura con la del espacio no calefactado en el que se encuentra, produciéndose de esta manera la pérdida de energía.

Por tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre las temperaturas, mayor será la energía intercambiada.

Como consecuencia, se reducen las pérdidas por transmisión en la distribución trabajando con temperaturas de impulsión más bajas.

### 2.3 Aislamiento térmico

Para ayudar a reducir al máximo dichas pérdidas de energía en el Sistema de Distribución, es imprescindible la correcta colocación de aislamiento térmico cumpliendo con los espesores adecuados.

Según el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios), en toda instalación térmica por la que circulen fluidos no sujetos a cambio de estado, en general las que el fluido caloportador es agua, las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superarán el 4 % de la potencia máxima que transporta.

Toda la gama de producto hidráulico de Xial Domotecnología cumple con las exigencias marcadas por el CTE DB-SI. Se utiliza elastómero de caucho con clase B<sub>L</sub>-s3,d0.

### 2.4 Equilibrado hidráulico

Consiste en establecer los componentes y procedimientos adecuados para garantizar que todas las viviendas obtienen el caudal de diseño, y, por lo tanto, la potencia diseñada por el ingeniero para satisfacer sus necesidades térmicas en todo momento, sin exceso ni defecto. Muchas de las viviendas construidas desde los inicios de la calefacción central hasta nuestros tiempos no disponen de ningún tipo de equilibrado, y, a día de hoy, los edificios que disponen de equilibrado generalmente cuentan con uno muy primitivo.

Las técnicas de equilibrado han ido evolucionando durante los últimos 50 años, desde que se lanzó la primera patente de válvula de equilibrado estática, en 1962, hasta las avanzadas válvulas de equilibrado dinámico lanzadas en los últimos años. El correcto equilibrado de la instalación depende de criterios de diseño, de los componentes utilizados y del procedimiento de regulación que el conjunto de componentes de un edificio imponen a quien efectúa el ajuste de la instalación.

Un equilibrado incorrecto no impide el funcionamiento de la instalación, pero se traduce en determinados problemas de confort habituales en las instalaciones centrales (imposibilidad de alcanzar la temperatura de consigna, sobrepresiones, ruidos, imposibilidad de interrumpir completamente el su-

ministro de calor o frío en algunas viviendas...) y, sobre todo, en elevados consumos de energía.

El reconocido Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), a través de su Departamento de Arquitectura Bioclimática, realizó en 2011 un amplio estudio<sup>1</sup> para Xial a nivel europeo en el que demuestra que la incidencia de este factor es crítica, y cuantifica el comportamiento energético del Sistema desde el punto de vista hidráulico.

Este estudio concluye que “la incorporación de los sistemas Xial estudiados (soluciones más habituales) permite lograr un ahorro energético anual relevante en la instalación de calefacción, lo cual supone unos considerables beneficios económicos y también medioambientales”, mostrando, asimismo, que el ahorro energético que se consigue frente a un edificio de características constructivas y de instalaciones en línea con las técnicas habituales, es al menos de un 10-19%. A esto hay que añadir el hecho de que la inversión que requiere modificar la red de distribución de un edificio es frecuentemente más económica y menos invasiva que las reformas de salas de calderas u otras actuaciones comunes.

## 3 ACTUACIÓN PASIVA. REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA NETA DEL EDIFICIO

La otra forma que ofrece un Sistema de Distribución que integra Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) para reducir el consumo energético del edificio es actuar directamente sobre la demanda, de forma que cada usuario alcance condiciones de confort razonables, pudiendo ser éstas las marcadas por la normativa vigente, reduciendo así el consumo mediante la educación del cliente. Ésta técnica ya es utilizada por ESEs en algunas actuaciones sobre edificios del sector terciario, y, de cara a potenciar el negocio de las rehabilitación en vivienda para la consecución de EECNs, puede jugar un papel fundamental.

A tal fin, desde hace tiempo es obligatorio el uso de monitores para visualizar la temperatura y humedad del local en edificios públicos de determinadas características (RD 1826/2009). En otros países, como Gran Bretaña, es habitual encontrar en las viviendas un pequeño monitor o “In-home Display” (IHD) cuyo fin es el de conocer en tiempo real el consumo de energía eléctrica de la vivienda.

En este sentido se hace cada vez más necesaria la incorporación de IHDs con los que el usuario pueda interactuar y en los que pueda conocer en tiempo real toda la factura energética de su vivienda: calefación

ción, refrigeración, ACS, agua fría y electricidad. Para ello, el Sistema Xial, en su versión avanzada (SXa), ofrece un monitor táctil de visualización de consumos que se integra en pared, y comunicándose directamente con los contadores, permite conocer todo el consumo energético de la vivienda en tiempo real, así como recibir información mediante comparaciones gráficas significativas o establecer alarmas por superación de consumos que permitan seguir estrategias de ahorro a nivel de usuario.



Figura 2. Pantalla IHD que, entre otras prestaciones, permite la visualización de todos los consumos del edificio en tiempo real, la notificación de alarmas por exceso de consumo y el establecimiento de métodos automáticos para la modificación de hábitos.



Figura 3. El sistema es también controlable desde página web Tablets y Smartphones.

El amplio estudio<sup>6</sup> realizado en 2006 por Sarah Darby, prestigiosa investigadora del Environmental Change Institute, de la Universidad de Oxford, analiza en profundidad la efectividad de las medidas de concienciación al usuario en el ahorro energético. El informe es el resultado de numerosos casos reales que comprenden decenas de miles de viviendas analizadas en diversos países (Noruega, Suecia, Holanda, Reino Unido, EEUU, Canadá...) entre los años 1979 y 2006, y aporta conclusiones acerca de cuánta energía se ahorra utilizando medidas que hacen consciente al usuario acerca de la cantidad de energía consumida. En el estudio se analizan diversas medidas, desde un simple aumento en la frecuencia de las facturas hasta pantallas de visualización de datos para contadores.

Los resultados arrojados son muy interesantes, siendo la conclusión más significativa que: “Se han demostrado ahorros [económicos] en el rango 5% - 15% (...) para el Feedback directo”, entendiéndose como tal pantallas para ver consumos en tiempo real y sistemas sencillos de recomendación al usuario. A la luz del estudio, la pantalla de vivienda del SXa se considera un sistema de feedback directo de altas prestaciones que incorpora algunos “pluses energéticos” definidos en el propio estudio.

Un estudio más reciente<sup>7</sup> (2011), llevado a cabo a nivel internacional por la consultoría independiente finlandesa VaasaEtt, indica que el ahorro que suponen los In-home Displays en Europa es del 10%, lo cual concuerda con los resultados demostrados en 2006 por el estudio de Sarah Darby.

En resumen, podemos concluir que el ahorro medio que supone en un edificio de viviendas la utilización de dispositivos para visualizar los consumos energéticos se sitúa en torno a un 10%. Ambos estudios indican que los resultados presentan remanencia en el tiempo, es decir, que las mejoras obtenidas se mantienen en el tiempo debido a que estos equipos contribuyen a modificar los patrones y hábitos del usuario final.

#### 4 DISCUSIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Si comparamos la incidencia del Sistema de Distribución de energía en la eficiencia energética global del edificio con otras tecnologías, podemos ver cómo la mejora del Sistema de Distribución constituye un factor de mejora muy importante.

	Ahorro ACS	Ahorro Calefacción	Ahorro Energético Total (Ponderación según IDAE)*
<b>Energía solar térmica</b>	50 %	0 %	14 %
<b>Micro-Cogeneración</b>	6 %	6 %	6 %
<b>Calderas de Condensación</b> (Simulación en transitorio con Calener)	10 %	5 %	6 %
<b>Incremento de Aislamiento en fachadas (6-10 cm)</b> (Simulación en transitorio con Calener)	0 %	5 %	4 %
<b>Mejora del Sistema de Distribución</b>	0 %	10 %	17 %
<b>Utilización de IHDs</b>	10 %	10 %	

\*NOTA: Según los datos del IDAE el consumo de ACS supone un 29% de la demanda de energía térmica, mientras que el de calefacción un 71%

Tabla I. Cuantificación energética de distintas alternativas para mejorar el rendimiento de una instalación térmica.

## 5 ÁMBITOS DE ACTUACIÓN

Tanto en instalación por columnas como en anillos, Xial Domotecnología trata de conseguir la máxima eficiencia energética en el Sistema de Distribución (equilibrado hidráulico, individualización de consumos, aislamiento óptimo, control individualizado, visualización de consumos a tiempo real, etc.). Sin embargo, la distribución en anillo, es la solución óptima para poder implementar todas estas medidas de ahorro energético.

En este tipo de instalaciones (anillos) es donde instalamos nuestro producto hidráulico que engloba todas las mejoras tanto de equilibrado hidráulico, individualización del control y de los consumos.

Xial cuenta con una amplia gama de producto hidráulico adaptable a todo tipo de edificación, tanto para sólo una vivienda como para un máximo de 6 viviendas por planta; para calefacción, refrigeración, ACS y/o AFS; caudal constante o variable; y distintos tipos de equilibrado hidráulico. También cuenta con soluciones para instalaciones a 2 tubos en los que el agua caliente sanitaria se genera de forma instantánea evitando así la acumulación de ACS y los tratamientos antilegionela.

Estos equipos se instalan en los patinillos por donde discurren las montantes de los diferentes servicios de climatización y ACS, o en caso de no existir, se instalan unidades para una única vivienda en el registro interior de cada una.



Figura 4. Sistema de distribución hidráulica Xial instalado en un patinillo durante una rehabilitación

## 6 CONCLUSIONES

- Utilizar un Sistema de Distribución de energía adecuado en un edificio residencial puede suponer ahorros de un 10-19% sobre un edificio de características constructivas medias.
- La utilización de monitores para visualizar el consumo de cada vivienda en tiempo real supone una reducción media de la demanda neta de una vivienda de un 10%.
- La implantación de medidas de ahorro energético en este aspecto es más económica y menos invasiva que muchas de las intervenciones que logran un ahorro similar.
- La conjugación de ambos factores en un Sistema integral, junto con una herramienta web que permita el control energético de todo el edificio.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

<sup>5</sup> DALLE, M. et al. (2010): “La generación de empleo en la rehabilitación y modernización energética de edificios y viviendas”. Fundación Conde del Valle de Salazar ISTAS-CCOO y UPM.

<sup>6</sup> DARBY, S. (2006): “The effectiveness of feedback on energy consumption”. Environmental Change Institute, University of Oxford. Oxford.

<sup>3</sup> ETRES CONSULTORES (2011): “Rehabilitar Europa... Ahora”  
<http://www.etresconsultores.com/rehabilitar-europa-ahora/>. ETRES CONSULTORES. Elche.

<sup>4</sup> ETRES CONSULTORES (2011): “Más de la Mitad de Comunidades Españolas no tienen Certificados de Consumo Energético de Edificios”.  
<http://www.etresconsultores.com/mas-de-la-mitad-de-comunidades-espanolas-no-tienen-certificados-de-consumo-energetico-de-edificios/>. ETRES CONSULTORES. Elche.

<sup>2</sup> IDAE (2011): “Guía Práctica de la Energía. Consumo eficiente y responsable”. IDAE. Madrid.

<sup>1</sup> PALACÍN, F. y LLORENTE, J. (2011): “Informe 30.1528.0. Evaluación del Comportamiento Energético del Sistema Xial”. CENER. Sarriguren.

<sup>7</sup> STROMBACK, J. et al. (2011): “The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison” (Empower Demand)”. VaasaEtt. Helsinki.

## 1. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL MICRO PRISMÁTICOS SUNOPTICS EN EDIFICIO DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA FERROVIARIA.

I. Reviriego  
*Lledó Energía*

### 1. LUCERNARIOS INSTALADOS :

La instalación de los lucernarios esta realizada en la cubierta de los talleres y cocheras de Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana en la Avda. de los Naranjos.

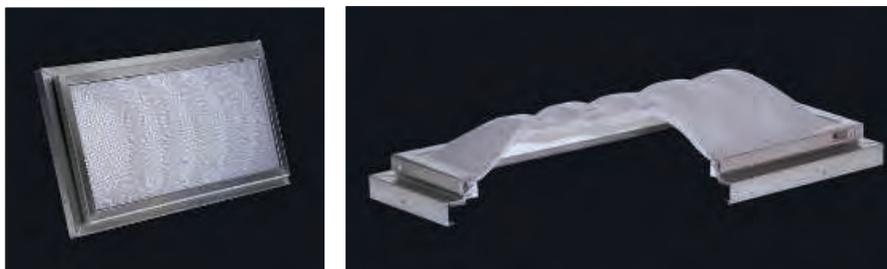
Se compone de los siguientes elementos:

- 41 uds. Lledó Sunoptics 40100 DG Texturizado microprismático. –

Modelo: 40100 Signature Series Doble Capa :

Dimensiones: 3.13 x 1.33 x 0.4 m. ; 29.7 Kgrs.

El producto incorpora un diseño óptico único que lo diferencia de los sistemas convencionales en que contiene miles de prismas diminutos, que refractan la luz solar directamente en miles de micro haces de luz, cuyo resultado es una luz natural suave que se trasmite directamente al interior.

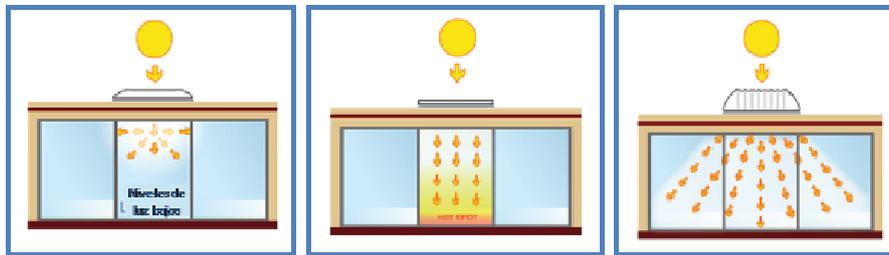


De esta manera, la luz natural puede sustituir a la luz artificial durante más del 70% de las horas del día. Esto implica enormes ahorros de energía en edificios de funcionamiento intensivo.

El sistema de iluminación natural Lledó SunOptics® proporciona una mayor transmisión de la luz, a la vez que una difusión del 100%, debido a que es un sistema de alto rendimiento que no produce deslumbramiento.

SISTEMA CONVENCIONAL

LLEDÓ SUNOPTICS®



CANTIDAD DE LUZ LIMITADA

PUNTOS CALIENTES

LA SOLUCIÓN

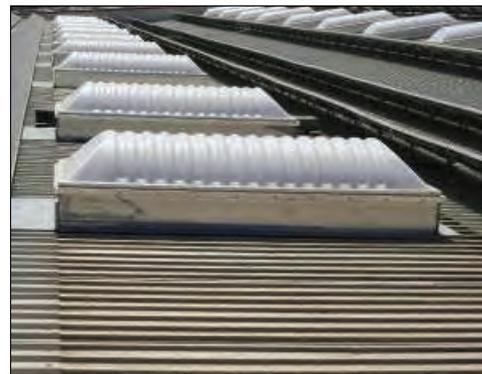


Foto detalle cubierta NARANJOS

## 2. MEDICIONES LUMINICAS:

### 2.1 Mediciones de luz natural :

Se verifica que la luz artificial esta apagada (campanas de halogenuros metálicos de 400 w) y se observa la correcta uniformidad de la luz natural sobre las superficies de trabajo.

Foto: Zona Talleres FGV.



Las primeras mediciones se realizan en la mesa de trabajo de la zona de talleres, con altura aproximada de un metro.

Nivel 1 m. (cota 1): 1400 Lux.



## 2.2 Uniformidad de la luz natural:

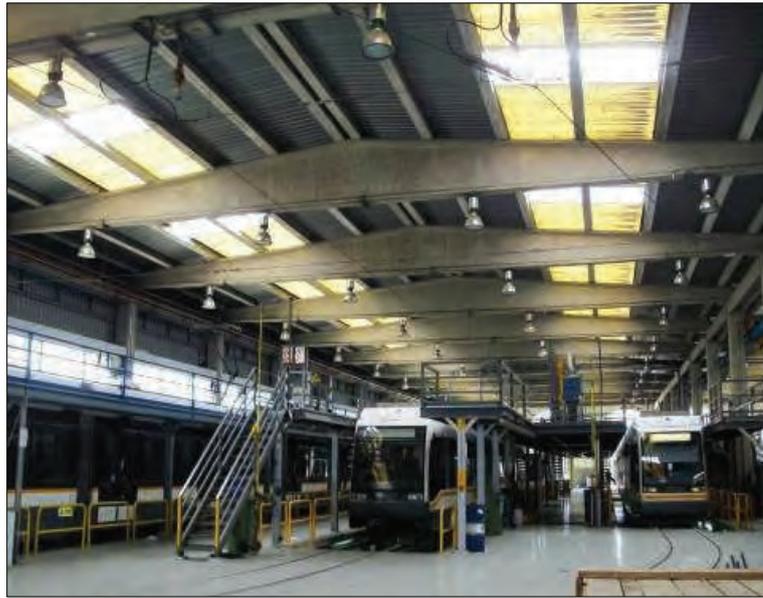
Se recorren diferentes zonas del taller y cocheras, observando la correcta uniformidad de la luz natural. Conforme nos desplazamos con el luxómetro, apreciamos que la luz natural es bastante uniforme y homogénea, tanto en la zona de taller como en las cocheras de trenes.

Zona talleres:



Zona cocheras:





### 3 . MEDICIONES TERMICAS :

Otra de las mediciones que se realiza en la visita, es la temperatura que se registra en el lucernario y en la luz artificial.

Obteniendo las siguientes conclusiones:

- a. El punto mas caliente esta en la luz artificial (campanas) con 75.4 °C
- b. El Lledó Sunoptics en su parte central : 38.4 °C
- c. Los translucidos de policarbonato : 46.1 Cº

Termografía 1

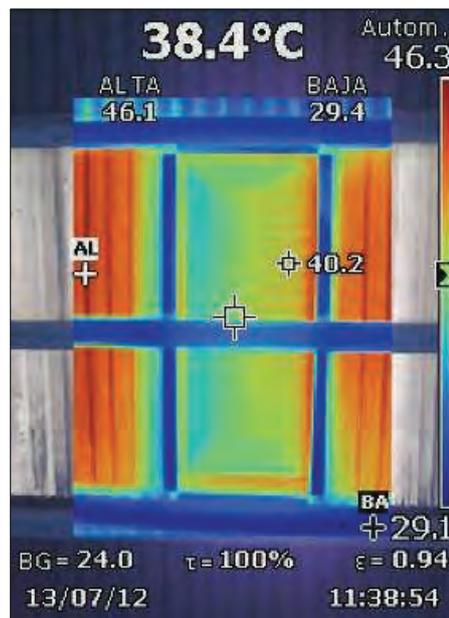
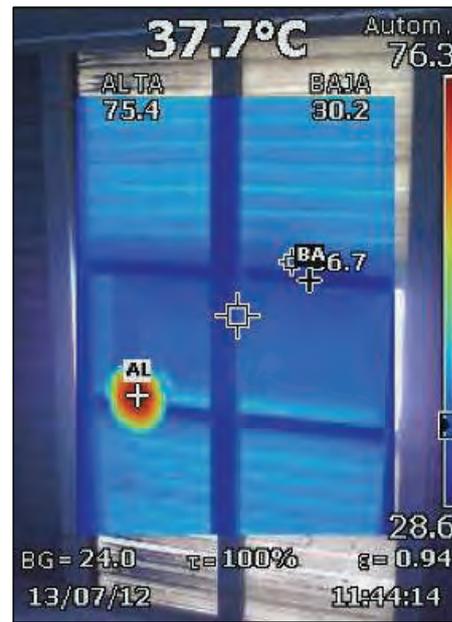


Fig. 2



Termogra

### 4 . PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LUCERNARIOS :



## 5 . CONCLUSIONES :

### 5.1 . Ahorros energéticos-económicos:

<b>Análisis Primer Año</b>	<b>ZONA I</b>
Nivel de Iluminación (lux)	300
Consumo Electricidad (kWh)	289.260
Consumo Electricidad (€)	37.604
Ahorro Electricidad (kWh)	109.925
Ahorro Electricidad (%)	38%
Ahorro Electricidad (€)	14.290
SunOptics® 40100	43
<b>Consumo Electricidad Total (kWh/y)</b>	<b>289.260</b>
<b>Consumo Electricidad Total (€/y)</b>	<b>37.604</b>
Ahorro Electricidad Total (kWh/y)	109.925
Ahorro Electricidad Total (%)	38%
<b>Ahorro Electricidad Total (€/y)</b>	<b>14.290</b>
<b>Precio de la Electricidad (€/kWh)</b>	<b>0,130</b>
Incremento Anual Precio Elect.	3,00%

## 5.2 Mejoras en la iluminación

Con la instalación de lucernarios LLedó Sunoptics, se ha mejorado considerablemente la iluminación en los diferentes puestos de trabajo de la nave. Siendo estas nuevas condiciones más agradables para los operarios.

Antes con iluminación artificial:



Después con iluminación natural:



5.3

j

**horas en aspectos térmicos:**

Otra de las conclusiones que se obtienen con la visita, es la mejora en las condiciones térmicas en la nave.

El tipo de lucernario LLedó Sunoptics instalado es de doble capa, alcanzando un coeficiente de transmitancia térmica bajo.

Como se puede observar en la termografía nº 1 (pag 8), el punto más caliente en la cubierta esta en el translucido antiguo de policarbonato (46.1 cº). Por lo tanto la sustitución de dichos

translucidos por lucernarios Lledó Sunoptics evita la entrada de calor en la nave. Teniendo una mejora térmica general en el envolvente del edificio.

Otro punto que aporta bastante calor, esta en la iluminación artificial, según termografía nº2 (pag 8) alcanza 75.4 cº.

Gracias a la luz natural podemos tener apagadas las luminarias durante gran parte del día evitando este aporte de calor y consiguiendo unos ahorros en electricidad importantes.

#### 5.4 . Mejoras en calidad de vida de los empleados:

Después de conversar con varios empleados, la opinión generalizada es que se ha producido una gran mejora en la iluminación. El ambiente de trabajo es más agradable y saludable.

Paradójicamente la queja inicial era la aportación de calor. Algunos empleados nos acompañan en las mediciones térmicas y se convencen que no es así.

Al ver un aumento en la luz natural, la sensación térmica ( solo aparente ) es mayor que en zonas oscuras

#### 5.5 . Mejoras medioambientales

El uso de la luz natural hace que se reduzcan los consumos de electricidad, por lo que se minimizan las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación medioambiental.

Las emisiones a la atmósfera de gases contaminantes evitadas gracias a la instalación del sistema objeto de este estudio son las siguientes:

REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (kWh): 104.492,00

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO			REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS	
CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD	ALTA ACTIVIDAD
0,343 (kg/kwh)	0,00073 (kg/kwh)	0,000519 (kg/kwh)	0,00218 (cm <sup>3</sup> /kwh)	0,267 (g/kwh)
↓	↓	↓	↓	↓
35.840,76 kg	76,28 kg	54,23 kg	227,79 cm <sup>3</sup>	27.899,36 gr

## Rehabilitación energética de Edificios de Servicios Portugueses

M. Silva, F. Lourenço & R. Sá

*INEGI, Porto, Portugal*

### RESUMEN:

Los datos del último censo realizado en Portugal en el año 2011 muestran que la edad media de los edificios en el país es de unos 30 años, y desde los años 60 el número total de edificios en Portugal casi se ha doblado. Por otro lado, según ADENE, Agencia para la Energía en Portugal, los edificios más antiguos suelen tener un consumo de energía mayor que los nuevos edificios llegando esta diferencia a ser aproximadamente el doble. De ese modo, se puede concluir que los edificios más antiguos no sólo son la gran mayoría de los edificios actuales sino que también son a los que está asociado un mayor consumo de energía. A la vista de los objetivos de reducción del consumo energético nacional, es inevitable buscar los medios para rehabilitar los edificios de forma que sean más eficientes energéticamente. A través del análisis estadístico se puede comprobar también que hay un componente del consumo energético de los edificios que depende de las soluciones constructivas empleadas, por lo que resulta un conjunto de medidas de rehabilitación energética con un alto potencial de replicabilidad. Sin embargo, la cantidad de energía que se puede ahorrar a través de la implementación de una medida específica no es constante pues que es dependiente de innumerables variables, lo que hace difícil su determinación.

El proyecto E4R tiene como objetivo promover la rehabilitación de edificios existentes en SUDOE (suroeste de Europa) a través de la creación de información práctica para apoyar los profesionales del sector de actividad y por el desarrollo de una herramienta informática con capacidad para estimar el ahorro de energía que puede obtenerse con la aplicación de medidas reales de mejora energética. Durante el proyecto E4R han sido estudiados 4 edificios de oficinas con los siguientes tipos: un hotel, una escuela universitaria, un instituto de investigación y un edificio de ayuntamiento. Por medio de herramientas de simulación han sido cuantificados los ahorros energéticos potenciales con diferentes medidas de rehabilitación. En este estudio son presentados los resultados obtenidos con la identificación de los factores que tienen un impacto mayor en el momento de elegir cuales son las medidas de mejora a adoptar para la rehabilitación de un edificio.

### 1 INTRODUCCIÓN

Los más recientes estudios apuntan que en Portugal, existen cerca de 2,5 personas por vivienda de residencia habitual, existiendo en total más de 3,5 millones de edificios. También se estima que la edad media de los edificios en Portugal es superior a 30 años. Las estadísticas muestran que la relación entre el número de edificios rehabilitados y los edificios nuevos construidos anualmente se ha incrementado en los últimos años a una tasa del 4,6% [1].

Por otro lado, de acuerdo con la ADENE los edificios más antiguos tienen un consumo de energía mayor que los edificios nuevos llegando esta diferencia a ser de aproximadamente el doble [2].

Con vista a las metas establecidas de reducción de consumo de energía acordado por los Estados Miembros y la grave crisis financiera, que afecta especialmente a los países del espacio SUDOE (Portugal, España y el suroeste de Francia), la necesidad de rehabilitación de edificios se hace fundamental. Existe un potencial considerable para reducir el consumo de energía e impulsar las economías nacionales, que permitirá al mismo tiempo un rejuvenecimiento de los centros urbanos con zonas históricas.

Como el mercado de rehabilitación, cada vez con mayor repercusión, existe la necesidad de que los edificios rehabilitados sean más eficientes a nivel energético. Este cuidado sólo es posible cuando existe información técnica disponible, que permita a todos los profesionales envueltos en el sector un conocimiento de los beneficios potenciales de optar por soluciones de rehabilitación que contemplen la eficiencia energética.

El Proyecto E4R, Herramientas de Evaluación de Eficiencia Energética de Edificios, pretende llenar este vacío mediante la creación de una plataforma con herramientas prácticas e información técnica para que los profesionales del sector de la rehabilitación puedan estimular la eficiencia energética de los edificios existentes [3].

En el marco del proyecto se llevaron a cabo cuatro auditorías energéticas de edificios de oficinas existentes en Portugal, buscándo caracterizar el consumo de energía de los mismos y identificar cuáles son las medidas inductoras de mayor reducción del consumo de energía.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio nace con la necesidad de asimilar algunas de las características comunes que componen los edificios existentes, identificando algunas de las medidas de mejora más comunes que sean aplicables en la rehabilitación de un edificio.

Como regla general, para examinar si una medida cuya implantación requiere una inversión inicial es atractiva o no, es necesario calcular el tiempo de retorno de esta inversión debido al ahorro energético obtenido mediante la aplicación de esta medida. Se compara, entonces, el ahorro de energía de la medida con el coste de la inversión estimada para su aplicación, lo que permite conocer el periodo de retorno de la inversión correspondiente. Así, cuánto menor sea el periodo de retorno de esta inversión, más atractiva será la medida de ahorro para los agentes envueltos en el sector de la rehabilitación.

La divulgación y los resultados obtenidos retornan indicadores de confianza para los profesionales, ofreciendo mejor percepción de cuáles son las mejores opciones y cuáles son sus limitaciones.

Para la caracterización del comportamiento térmico de los edificios analizados y la determinación de los ahorros energéticos potenciales de ser alcanzados por la implementación de las medidas de mejora, han sido creados modelos térmicos de los 4 edificios analizados para una posterior simulación dinámica en la herramienta EnergyPlus [4].

## 3 CASOS DE ESTUDIO

Para obtener los resultados esperados fueron elegidos cuatro edificios en Portugal, país perteneciente al espacio SUDOE. Estos edificios se caracterizan por ser edificios con mucha superficie y pertenecen al sector terciario (no residenciales). Los sistemas de climatización existentes son centralizados, solución normalmente empleada en los edificios de oficinas. Los edificios tienen una edad media de construcción (o desde la última rehabilitación) de casi 10 años, con sus superficies útiles que oscilan entre los 2.500 m<sup>2</sup> y los 12.500 m<sup>2</sup>.

### 3.1 CMM

El edificio del ayuntamiento de Maia, construido en 2001, se sitúa en el centro de la ciudad de Maia. Su fachada que es prácticamente toda acristalada se eleva por encima del suelo a una altura de 21 plantas. Estas plantas tienen una forma elíptica con su eje mayor con orientación norte-sur. La superficie útil del edificio es aproximadamente 12.000m<sup>2</sup>.



Figura 1 – Vista Exterior: Edificio de la CMM

Para la climatización de los espacios interiores del edificio, se emplean unidades interiores del tipo Fancoils a dos tubos, que son a su vez alimentadas con agua caliente o fría producida por 4 bombas de calor. Para garantizar buenas condiciones de Calidad del Aire Interior existe una Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) por planta, que trata y promueve la renovación del aire. El calentamiento o enfriamiento del aire se lleva a cabo a través de agua caliente o fría producida por 4 bombas de calor, ya mencionadas.

### 3.2 INESC

El edificio INESC, construido en 2001, es un edificio que recurre a soluciones constructivas propias de la época de su construcción, por lo que su fachada está aislada térmicamente. Este edificio tiene una superficie útil de poco más de 3.000m<sup>2</sup> distribuida en seis pisos, en que uno de estos se encuentra parcialmente enterrado. La fachada principal del edificio está orientada al sur, lo que permite un mejor aprovechamiento de la luz natural.



Figura 2 – Fachada principal de INESC

Para mantener las condiciones interiores de confort, este edificio utiliza un sistema centralizado. La producción de calor es realizada por una caldera a gas y la producción de frío por una enfriadora eléctrica. Con el fin de promover el uso de la enfriadora en periodos más favorables, fue instalado un sistema de placas de hielo, que acumula el frío producido durante la noche, cuando la tarifa eléctrica es más baja y la eficiencia del funcionamiento de la enfriadora es mayor. La renovación del aire de los espacios es garantizada por climatizadoras (UTAs). Todavía existen algunas unidades de expansión directa en las salas de servidores y laboratorios.

### 3.3 FPCEUP

El edificio FPCEUP se encuentra en la ciudad de Porto, en una zona semiurbana. Su forma en base rectangular con un patio interior permite la rentabilización de la envolvente expuesta, permitiendo un mejor aprovechamiento de la iluminación natural. El edificio se divide en 4 plantas, con una superficie de cerca de 10.000m<sup>2</sup>, su construcción fue concluida durante el año 2006.



Figura 3 – Vista aérea de la FPCEUP

En la mayoría de los espacios, la climatización del edificio es mediante radiadores alimentados con agua caliente producida en una caldera de gas natural. Los auditorios y la biblioteca son servidos por sistemas todo-aire, en que la climatización es realizada por Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs). Para la calefacción de los espacios, estos sistemas recurren al circuito de distribución de agua caliente producida por las calderas, mientras que para refrigeración existen dos enfriadoras que producen agua fría.

### 3.4 Hotel Moliceiro

El hotel Moliceiro está compuesto por dos bloques reconstruidos en periodos distintos, el primer bloque fue reconstruido en 1998 y el segundo bloque en 2006. El edificio está situado en la ciudad de Aveiro, en una zona relativamente próxima a la costa marítima. En total existen cerca de 49 habitaciones distribuidas por los tres pisos superiores del edificio. Por su parte la planta baja alberga espacios comunes y la mayor parte de los servicios internos.



Figura 4 – Fachada principal de Hotel Moliceiro

La superficie útil del edificio es de 2.630 m<sup>2</sup>, siendo el área climatizada de 1.850 m<sup>2</sup>. El sistema de clima-

tización está compuesto por equipamientos que recorren al principio de compresión de vapor, con capacidad de producir tanto frío como calor. Las habitaciones son servidas por unidades de expansión directa tipo “split”, alimentadas por las unidades exteriores VRV colocadas en la fachada del edificio. La ventilación se realiza por medio de ventiladores mecánicos, que insuflan el aire nuevo junto a la zona de admisión de aire de las unidades “split” existentes en cada habitación.

#### 4 CONSUMOS

El consumo específico de energía (térmica y eléctrica) de los 4 edificios es presentado en la Figura 5. La diferencia del consumo específico de energía de los 4 edificios que tienen diferentes tipologías de uso es evidente, encontrando el valor mínimo cerca de los 20 kgep/m<sup>2</sup> y el valor máximo por encima de 60 kgep/m<sup>2</sup>.

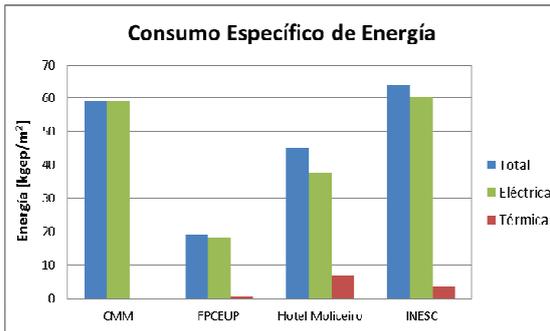


Figura 5 – Consumo Específico de Energía

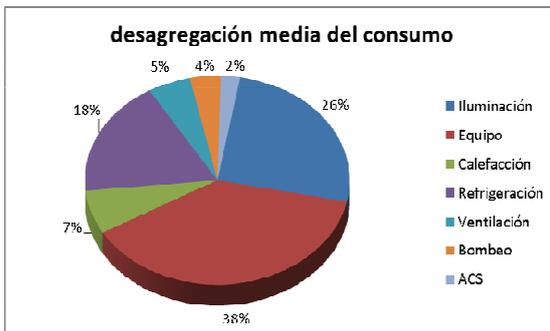


Figura 6 – Desagregación del consumo de energía de la muestra analizada

Los equipos son responsables por la mayor parte del consumo de energía, representando casi 40% del consumo total de los edificios en análisis. La utilización de energía para iluminación y refrigeración de los espacios climatizados son entre los sectores con mayor consumo de energía. El tipo de equipos exis-

tente en cada edificio, está sobre todo relacionado con el tipo de edificio y su utilización.

#### 5 MEDIDAS DE MEJORA ESTUDIADAS

Son enumeradas en la tabla 1 un conjunto de medidas de mejoría del consumo de energía, estudiadas en los edificios en análisis.

Iluminación	Tubos fluorescentes T5 LED
Refrigeración	Enfriamiento gratuito (Free Cooling)
Calefacción	Aislamiento de la envolvente del edificio Película en los vidrios Calderas de Biomasa Recuperación de calor
Ventilación	Sistema VAV Mejora de la eficiencia de la ventilación
ACS	Colectores Solares
Otros	Micro generación

Tabla 1 – Medidas de rehabilitación analizadas

El estudio de las medidas que se pueden aplicar en cada edificio, permitió saber los posibles ahorros económicos, la inversión necesaria para su implementación y su impacto en el balance energético del edificio.

La auditoria energética permitió identificar para cada edificio cuáles eran las medidas de mejora aplicables a cada caso. Para la contabilización de los ahorros de energía alcanzados se utilizó la simulación dinámica de edificios.

#### 6 RESULTADOS

Para que una medida de mejora energética sea atractiva debe reunir las siguientes condiciones:

- Aplicabilidad;
- Reducción satisfactoria del consumo de energía;
- Inversión;
- Período de retorno de la inversión (PRI) relativamente bajo.

Los valores de la inversión necesaria para la implementación de todas las medidas, representados por unidad de área útil, así como los de ahorro económico esperados por su aplicación son presentados en la figura 7.



Figura 6 – Índices de inversión y ahorros totales

Los valores de inversión específicos para la implementación de todas las medidas propuestas rondan los 30€/m<sup>2</sup>, con excepción en el edificio de la FPCEUP. Por su parte, la implementación de las medidas resulta en un ahorro de 4 a 5 €/m<sup>2</sup>, que también es inferior para edificio de la FPCEUP.

De todas las medidas propuestas y analizadas se han realizado los resultados de las tres medidas inductoras de mayores ahorros y de las tres medidas con periodos de retorno de inversión más bajos.

Los PRI's fueron calculados teniendo como escenario el cambio de los sistemas existentes, aún en periodo útil de vida, por equipos nuevos. Por lo tanto, en caso de instalación de nuevos equipos para remplazar equipos existentes en final de vida encontraría valores de PRI diferentes, una vez que el cálculo del PRI no incidiría en el valor de inversión, pero sí en el coste acrecido del equipo o de la solución técnica energéticamente más eficiente.

### 6.1 Mediciones con un ahorro de energía superior

La Figura 8 muestra las tres medidas que provocaron mayores ahorros de consumo global de energía primaria. Los mayores ahorros son alcanzados por la utilización de un sistema de micro-cogeneración, seguidos por la instalación de caldera de biomasa para producción de calor y por la sustitución de luminarias existentes por luminarias del tipo LED.

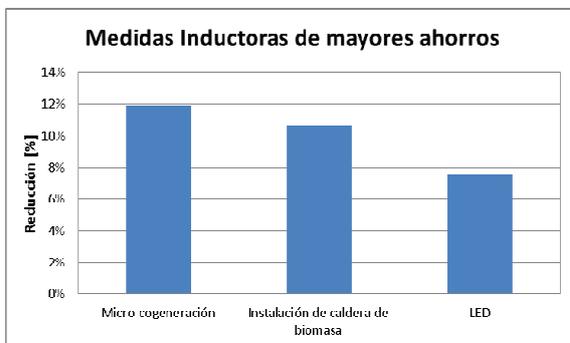


Figura 8 – Medidas Inductoras de mayores ahorros

Estas tres medidas alcanzan un impacto significativo en el consumo total de energía de los edificios, que oscilan entre los 7,5% y los 12%. Por otro lado, al no

haberse considerado que la venta de energía eléctrica producida por el sistema de micro-cogeneración a la red fuera bonificada, el PRI para esta medida es de 18 años. La sustitución de calderas fue sugerida en dos de los casos de estudio, pero el PRI medio obtenido para la implementación de esta medida fue de 20 años.

La renovación de las luminarias existentes de menor eficiencia por luminarias del tipo LED presenta un valor de PRI medio inferior a 7 años, lo que hace su implementación bastante atractiva.

### 6.2 Medidas con mejor Período de retorno de la inversión (PRI)

Las tres medidas para las cuales fueron obtenidos valores menores de PRI son presentadas en la figura 9. De estas tres, dos están asociadas a la mejora de los sistemas de ventilación existentes y una asociada al recurso de sistemas de iluminación artificial más eficientes.

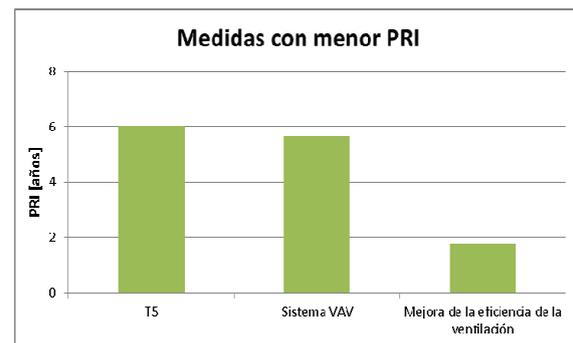


Figura 9 – Medidas con menor PRI

Los periodos de retorno de inversión (PRI) alcanzados son satisfactorios, siendo por eso asociados a inversiones con una buena tasa de retorno.

La medida que a resultado como la más eficiente para el sistema de ventilación, que devuelve el menor PRI, consiste en la corrección de algunas patologías de un sistema ya existente. Asociándose a la misma, por eso, un valor de inversión relativamente baja para los ahorros energéticos que proporciona.

Por otro lado, la medida relativa a la rehabilitación de los sistemas de iluminación es a que produce una mayor reducción del consumo de energía, siendo esta reducción de casi 7% del consumo de energía del edificio.

A pesar de los valores de PRI alcanzados para la dos medidas que visan el mejoramiento del sistema de ventilación sean los más bajos, la reducción del consumo de energía del edificio que producen son también más bajas, en la orden de los 2%.

## 7 CONCLUSIONES

La desagregación de los consumos de energía de los edificios analizados permitió percibir que una parte significativa del consumo de energía de los edificios de oficinas está presente en el funcionamiento de equipos, cuya utilización está asociada a la tipología del edificio y no a soluciones constructivas empleadas durante la construcción o rehabilitación del edificio.

Las medidas de eficiencia energética relativas a sistemas de iluminación son las que mejor concilian la reducción del consumo de energía y los periodos de retorno de inversión (PRI), presentando valores de ahorro y de PRI que pueden ser considerados satisfactorios.

Se observa, aún, que tendenciosamente las medidas con menor valor de PRI resultan en ahorros globales más bajos del que los obtenidos con medidas de PRI mayor. Revelando que a las soluciones que proporcionan mayor ahorro de consumo de energía, está muchas veces asociado un valor de inversión que es proporcionalmente bastante superior.

## 8 AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa Interreg IV B SUDOE, cofinanciador del proyecto E4R, y a todos los socios que participaron en este proyecto permitiendo la elaboración y presentación de la presente comunicación.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] – Estatísticas da Construção e Habitação 2011 – Resultados Provisórios, Instituto Nacional de Estatística, [www.ine.pt](http://www.ine.pt), Estatísticas oficiais, Lisboa, Portugal, Edição 2012
- [2] – Seminário reabilitação energética de edifícios, Agência para a Energia – ADENE, 2011
- [3] – RSECE, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios, Decreto Lei nº 79/2006, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006
- [4] – Energyplus, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy
- [5] – Proyecto E4R, Herramientas de Evaluación de Eficiencia Energética de Edificios - Rehabilitación en el Espacio SUDOE, <http://www.e4rproject.eu>

## Rehabilitación Energética de Edificios en Galicia

S. Rodríguez & F. Coutado & P. Carrasco & A. Faraldo

*Instituto Tecnológico de Galicia, A Coruña, España*

S. Zaragoza

*Universidade da Coruña, A Coruña, España*

### RESUMEN:

El sector edificación, absorbe más del 40% del consumo final de energía en la UE. En España este valor es del 26% y se encuentra en fase de expansión, tendencia que previsiblemente hará aumentar el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Durante los últimos 10 años se ha producido una notable concienciación por parte de la administración, tanto a nivel europeo como nacional, de las necesidades de mejorar la eficiencia energética del sector de la edificación y reducir así su consumo energético. Este interés es el causante que, durante este periodo, surjan las diferentes normativas y políticas dirigidas a reducir el consumo energético de este sector.

Es por ello que resulta de gran importancia el estudio de la eficiencia energética y sus posibles alternativas de mejora en edificios. De esta forma las inversiones económicas que se realicen en los edificios irán dirigidas al uso de una tecnología correcta para este fin así como la optimización de los recursos disponibles.

En este trabajo, se proponen las mejoras que serían necesarias para la rehabilitación energética en edificios, analizando todos los condicionantes que pueden influir en el diseño de una solución óptima.

### Introducción

El sector de la edificación es el responsable de una gran parte de las emisiones de dióxido de carbono, además de otros contaminantes, que están asociadas con el uso de la energía. El porcentaje de la energía total utilizada en edificios no industriales varía de país a país entre el 20 y el 60 %.

Una rehabilitación fiable requiere un método de diseño con seguridad de alcanzar los fines previstos, pero dadas las variaciones de las condiciones climáticas, de las propiedades de comportamiento de los materiales con el tiempo, de la capacitación de la mano de obra, del comportamiento de los ocupantes etc., las técnicas actuales de evaluación que comúnmente se utilizan no garantizan a medio y largo plazo el logro todos los objetivos deseables.

En España existe normativa relativa a la eficiencia energética aplicable a la construcción desde 1957, RD 1490/75 del 12 de junio. Pero no es, hasta 1979 con la entrada en vigor de la norma básica de la edificación, cuando la administración pública adopta las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios. La norma básica de la edificación sobre condiciones térmicas en los edificios, sufre una evolución en las medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético, con la entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación [RD 314/2006] en sus apartados de Ahorro de energía y salubridad.

En el presente trabajo se ha estudiado la rehabilitación energética de 12 edificios de la comunidad autónoma de Galicia con el objetivo de mejorar el confort térmico de los mismos, manteniendo en todo

momento una buena calidad de aire interior, y optimizar el consumo energético.

Este estudio se realiza en función de la normativa que le fue aplicada en la construcción de cada caso, de la zonificación climática, de la tipología constructiva, de las costumbres de sus ocupantes y de la calidad de aire interior.

El clima es un factor primordial a la hora de concebir un edificio; su efecto se refleja en la forma, en la orientación, en la iluminación interior y exterior así como en los materiales empleados, e influye notablemente en su comportamiento energético, ya que afecta a las cargas térmicas tanto en verano como en invierno, aumentando o disminuyendo las necesidades energéticas del edificio. Siendo conscientes de la importancia del clima, en la realización del proyecto, se han identificado diferentes tipos de clima que se pueden encontrar en Galicia:

- Zona Santiago - A Coruña- Ferrol - Norte de Lugo
- Zona Vigo-Pontevedra
- Zona Centro y Sur de Lugo – Este de Ourense
- Zona Occidental de Ourense

Los 12 edificios seleccionados para la elaboración de este estudio se distribuyeron proporcionalmente por zonas climáticas: Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao, Edificios de Bomberos del Ayuntamiento de A Coruña, Edificio del Consorcio de Santiago de Compostela, Ayuntamiento de Mondoñedo, Escuela de Música en Mondoñedo, Casa de la Cultura del Ayuntamiento de Mondoñedo, Ayuntamiento de Pontevedra, Palacete de Mendoza en Pontevedra, Edificios de Urbanismo del Ayuntamiento de Pontevedra, Ayuntamiento de Rivadavia, Casa de la Cultura de Rivadavia, Ayuntamiento de Orense.

Desde el punto de vista constructivo los edificios estudiados se han clasificado en tres tipologías:

- Más de 100 años, con cerramientos de mampostería
- Décadas 60-80 con cerramientos de ladrillo
- Últimos 15 años, con soluciones constructivas actuales.

Por su antigüedad también se ha tenido en cuenta la influencia de las diferentes normativas de aplicación a lo largo del tiempo, antes de la NBE-79,

cuando no existía ninguna normativa referente a la eficiencia energética de los edificios, con la NBE 79, dónde ya se empieza a tener en cuenta, y con el CTE, dónde ya existe un documento básico específico referente a la eficiencia energética del edificio.

Se centrará este documento en el estudio específico del edificio de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao ya que las conclusiones podrían ser extrapolables a otros edificios.

### Metodología

#### *Edificio de la Autoridad Portuaria de Ferrol-San Cibrao*

Se trata de un edificio de 3 plantas construido en el año 1928 con remodelaciones sucesivas a lo largo de los años, y con una superficie útil de 613 m<sup>2</sup>. Se encuentra ubicado en la ciudad de Ferrol en la provincia de A Coruña y la orientación de la fachada principal es Suroeste, desviada 218° con respecto al Norte.

Los cerramientos exteriores están compuestos por una capa de ladrillo de hueco doble y las particiones interiores por ladrillo de simple. La cubierta la forma un forjado de 25 cm de hormigón armado con un acabado de teja cerámica. El forjado en contacto con el terreno es una solera de hormigón de 15 cm con un acabado de baldosa cerámica, y el resto de forjados intermedios son forjados unidireccionales de 25cm con acabado de madera. El principal tipo de ventana utilizado es de vidrio doble con cámara de aire y con carpintería metálica.

El sistema de climatización del edificio está compuesto por un sistema centralizado de calefacción y otro individual para refrigerar. El sistema de calefacción lo forman una caldera de Gasóleo C de 130 kW y radiadores de agua caliente como unidades terminales. El sistema de refrigeración está compuesto por sistemas de expansión directo y las unidades terminales son tipo Split.

El sistema de iluminación del edificio de la Autoridad Portuaria de Ferrol está compuesto por lámparas fluorescentes de tubo de 58 W, 36 W y 18 W, lámparas compactas de 26 W y 18 W, Halógenos de 50 W e incandescentes de 60 W. El número total de

lámparas asciende a 527 unidades, con una potencia total de 20.406 W.

El uso del edificio es puramente administrativo, y con las condiciones aquí expuestas existía una disconformidad generalizada de las condiciones de confort por lo que se solicitaba desde la dirección del centro una optimización del sistema de climatización.

### Procedimiento experimental

El procedimiento para realizar el estudio del edificio se inicia con la toma de medidas, así como un análisis detallado de las características constructivas de cada una ellas, dimensiones, orientación y materiales de construcción de las mismas:

- Medidas de temperatura, humedad relativa y niveles de CO<sub>2</sub> durante 72 horas en las diferentes estancias del edificio, de forma que fueran suficientemente representativas. Y, en las dos épocas más adversas del año, verano e invierno.
- Medidas de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y presión barométrica en el exterior de edificio.
- Termografías, para evaluación de las temperaturas superficiales, cálculo de la temperatura operativa interior y detección de irregularidades como infiltraciones o humedades.

Al mismo tiempo que se monitorizaron los datos meteorológicos, la calidad de aire interior y exterior, se evaluaron las costumbres de los ocupantes mediante un cuestionario, en donde se establecieron los datos horarios de entrada y salida de la estancia, conexión y desconexión de los dispositivos que puedan hacer aumentar la carga térmica interior (principalmente ofimáticos), apertura y cierre de ventanas o el número de ocupantes de la estancia.

Con los datos de las mediciones exteriores e interiores se calcularon los promedios horarios, obteniendo directamente los valores de la calidad de aire interior de la vivienda, de acuerdo con la normativa Española (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE) que clasifica la calidad del aire, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Clasificación	Calidad	Niveles de CO <sub>2</sub> en ppm*
IDA 1	óptima	350
IDA 2	buena	500
IDA 3	media	800
IDA 4	baja	1200

\*Concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) por encima de la concentración del aire exterior de 400 ppm.[4]

Con la información obtenida hasta este momento se realiza el cálculo de las renovaciones de aire. Éste se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{Q}{V} + nC_o - a_{dg}C_i - nC_i$$

Donde,  $C_i$  [mg/m<sup>3</sup>] es la concentración del contaminante en el aire interior;  $Q$  [mg/h] la tasa de emisión;  $V$  [m<sup>3</sup>] el volumen de espacio interior;  $C_o$  [mg/m<sup>3</sup>] la concentración del contaminante en el aire atmosférico;  $n$  la tasa de ventilación por hora; y  $a_{dg}$  la tasa de degradación interior horaria del gas (en este caso es 0 ya que el CO<sub>2</sub> no se degrada).[5]

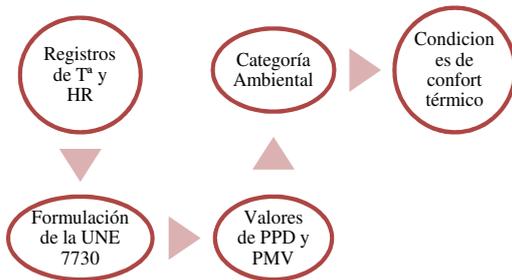
De esta expresión se obtiene  $n$ , número de renovaciones de aire por hora.

Destacar que las renovaciones de aire en el interior de un edificio son debidas al efecto combinado de la diferencia de densidades debido a las condiciones no isotérmicas y a las diferencias adicionales de presión producidas por el viento exterior entre las zonas, los ventiladores. Las renovaciones de aire pueden ser voluntarias, por aperturas de ventanas o involuntarias debidas a entradas de aire por intersticios como son las rejillas de ventilación de los baños, intersticios en las carpinterías, etc. Aplicando un balance de materia a un contaminante se obtienen las renovaciones totales de aire en el interior. Este valor también está regulado por el Código Técnico

de la Edificación (CTE) para viviendas residenciales en un mínimo de 0.5 renovaciones a la hora.

A continuación se calculó los PPD y PMV según la norma UNE 7730, para obtener las condiciones de confort térmico del edificio en cada época del año.

Se puede resumir lo comentado hasta ahora en este flujograma:



Finalmente se realizó un balance de energía en cada vivienda en régimen estacionario, mediante la siguiente expresión:

$$\frac{dE_{almac}}{dt} = \dot{E}_{en} + \dot{E}_{sal} + \dot{E}_{gener}$$

Donde,  $E_{en}$  [W] es la energía de entrada por renovación de aire calculada mediante el balance de materia referida al CO<sub>2</sub> monitorizado, la energía a través de la radiación solar y fenómenos de re-radiación y la energía de entrada por los efectos de convección y conducción a través de los cerramientos;  $E_{sal}$  [W] es la energía de salida por renovación de aire y por los efectos de convección y conducción a través de los cerramientos;  $E_{gener}$  [W] es la energía generada por los ocupantes y los dispositivos.[6]

Se analizó el balance de energía durante todo el año en el edificio y se evaluó el tiempo y la energía necesaria para mantener el confort térmico con la calidad de aire adecuada. El balance de energía se realizó mediante el software de simulación dinámica Design Builder y a través de un software desarrollado específicamente en el marco de este proyecto que permite además contemplar aspectos de confort térmico de los usuarios y de calidad del aire interior.

En función de los datos hallados, se realizaron de nuevo todos los cálculos considerando las posibles mejoras factibles térmica y económicamente. Se

evaluó el ahorro energético que ha supuesto la mejora y se presentó la propuesta correspondiente.

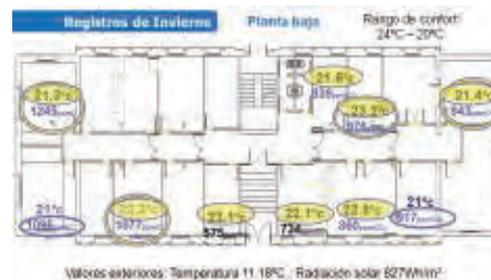
## Resultados y discusión

Los resultados de los ensayos fueron los siguientes:

1. Categoría ambiental en verano A: Rango de temperaturas de confort térmico 24,5+-1°C
2. Categoría ambiental en invierno B: Rango de temperaturas de confort térmico 22+-2°C
3. Los registros de temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> en verano e invierno para la planta baja, que fue la que peor condiciones de confort térmico presentaba, fueron:



Se puede observar que casi todas las estancias se encuentran dentro de los rangos de temperatura de confort pero con concentraciones de CO<sub>2</sub> elevadas en las esquinas del edificio. Además el RITE no permite climatizar en verano por debajo de 26°C cuando para ello se requiera el uso de energía convencional, con lo que las pocas estancias que están fuera de este rango confort solo una podría climatizarse con energía convencional.



A

En invierno los resultados de las mediciones son parecidos, el edificio está dentro de las condiciones de temperaturas de confort pero el nivel de concentraciones de CO2 es elevadísimo en general, y en las esquinas del edificio en particular.

La explicación a estas mediciones es la siguiente. El edificio presenta una escalera central que comunica todas las plantas y que genera un tiro bastante elevado con los consecuentes problemas de estratificación y estancamiento del aire; lleva el aire frío y limpio hacia los pisos de arriba y deja el aire caliente y con alta concentración de CO2 en la planta baja, ya que el CO2 presenta una alta densidad. Además este tiro de la escalera hace que los espacios que están alrededor de esta se encuentren en unas buenas condiciones de confort y de calidad del aire ya que existen numerosas renovaciones a la hora, y sin embargo se estanque en las esquinas el aire con alta concentración en CO2.

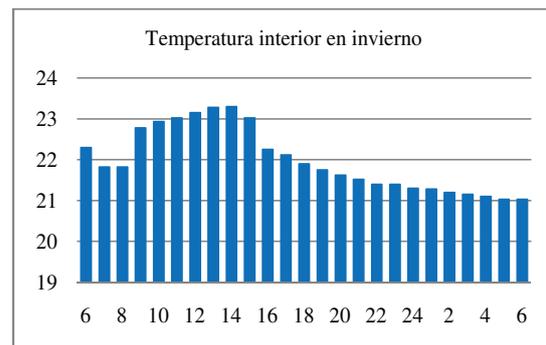
Cabe destacar también que la razón de que las concentraciones de CO2 sean menores en verano que en invierno es porque en esta época las ventanas se abren durante unas horas al día, cosa que en invierno no sucede y el aire no se renueva hasta que entra el equipo de limpieza.

Si se hace un análisis comparativo de la calidad del aire interior en las peores condiciones, en invierno, del despacho que tiene una peor calidad frente al edificio en su conjunto se puede ver el resultado erróneo al que se llegaría mediante un estudio global.

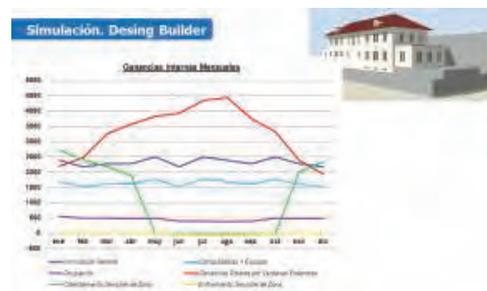
Resumen de Resultados		Resumen de Resultados	
Indicador	Valor	Indicador	Valor
Temperatura Interior (°C)	21.5	Temperatura Exterior (°C)	5.0
Humedad Relativa (%)	65	Consumo de Energía (kWh/m²/año)	15.0
Concentración de CO2 (ppm)	1200	Consumo de Agua (litros/m²/año)	10.0
Índice de Calidad del Aire (AQI)	100	Consumo de Gas (kWh/m²/año)	8.0

El edificio en su conjunto tiene una calidad del aire buena, y en aquellos momentos en los que empeora, en menos de 1 hora está renovado el aire y se vuelve a condiciones óptimas. Sin embargo el peor despacho a medida que avanza en día la concentración de CO2 aumenta de forma desproporcionada hasta alcanzar valores pésimos en las horas centrales del día y volver a disminuir cuando cesa la jornada laboral.

- Los resultados de las termografías y de las mediciones de temperatura en invierno a lo largo de las 24h del día demuestran que los cerramientos tienen un buen comportamiento energético, existen pocas pérdidas de calor, nunca se baja de 21°C. Por esto no se considera necesario ningún tipo de actuación en los cerramientos.



- Los resultados de las simulaciones con el software comercial Design Builder, que emplea en motor de cálculo Energy Plus, y con el software desarrollado por ITG-UDC fueron los siguientes:



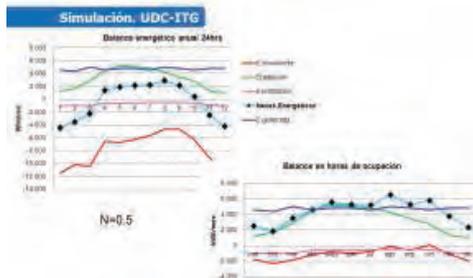
De la simulación con el Design Builder se obtienen las siguientes conclusiones:

- Existe una alta ganancia interna de energía térmica por radiación solar, y se justifica por la orientación suroeste de la

A

fachada principal del edificio y alto número de ventanas que posee.

- Existe una alta carga térmica por iluminación. Hay 527 luminarias, más de 20 kW.



La simulación con el software desarrollado por ITG y UDC ha permitido llevar a cabo una simulación complementaria a la desarrollada con software comerciales, analizando la calidad del aire interior en cada estancia, valorar el confort técnico de los usuarios y ajustar la simulación a las horas de ocupación del edificio, y de esta manera centrar el diseño de las solución de climatización óptima, sin tener en cuenta la demanda que pudiera existir fuera de esas horas y que obligaría a sobredimensionar las instalaciones.

### Conclusiones

- 1) Las condiciones de calidad del aire interior en determinadas partes del edificio son pésimas y el confort térmico de los usuarios en determinadas épocas del año y períodos del día no se está satisfaciendo, debido principalmente a problemas de ventilación.
- 2) Existe una elevadísima carga interna por iluminación, que tras un estudio de necesidades reales se demuestra que con una potencia total de unos 12kW sería suficiente, de tal forma que se dejaría de emitir unos 8 kW de calor al edificio en verano, lo que mejoraría notablemente sus condiciones de confort. Además, con esta reducción de potencia se ahorrarían más de 2000€/año de facturación de electricidad.
- 3) La potencia de calefacción está sobredimensionada y puesto que la caldera tiene más de 20 años se recomienda sustituirla

por otra de 50 kW, más ajustada a la demanda real del edificio y que emplee gas natural como combustible, ya que existe toma de red en la zona y se trata de un combustible más económico y menos contaminante. Con esta medida se ahorrarían unos 4.000€/año y se recuperaría la inversión en 1,2 años.

- 4) La climatización en verano no es necesaria, con un sistema de enfriamiento gratuito sería suficiente. De las mediciones de temperatura en el exterior, se obtiene el dato que la temperatura del aire exterior siempre es inferior a 23°C por lo que mediante un sistema de ventilación que introduzca aire del interior se conseguirá una doble mejora en verano, reducir la temperatura interior y reducir la concentración de CO<sub>2</sub>. En invierno para no reducir demasiado la temperatura del interior y conseguir introducir el suficiente aire del exterior, con este sistema, lo que se propone hacer es cruzar la corriente de aire de exterior con la corriente de aire del interior que vamos a extraer, pero sin que existe contacto de ambas corrientes para no contaminar con el CO<sub>2</sub> que extraemos el aire que entra.

### Bibliografía

- [1] Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios, del 16 de diciembre del 2002. DO L 1 de 4.1.2003
- [2] IDAE. Instituto para la diversificación y ahorro de energía. <http://www.idae.es/>
- [3] IEA. International Energy Agency. Exco Energy Conservation in buildings and community systems. ECBCS Annual Report 2009. AECOM House. 66-73 Victoria street, St Albans, Hertfordshire, AL 1 3ER, United Kingdom
- [4] RITE. Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (Julio 2007): Real Decreto 1027/2007 de 20 de julio (Spain).
- [5] Organización Mundial de la Salud (OMS). 1987. *Air Quality Guidelines for Europe*. European Series,

no. 23, 426pp. Copenhague: Publicaciones Regionales de la OMS.

[6] ACCA, (2003). Manual J residencial load calculations, 8th Edition. Air Conditioning Contractors of America, Arlington, VA 22206, (703) 575-4477.

[7] CTE Código técnico de la edificación. Real decreto 314/2006 y posteriores modificaciones

[8] UNE-EN ISO 7730 (Octubre 2006). Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

[9] EES, Engineering Equation Solver, for Microsoft Windows Operating Systems.

[10] Ardeshir Mahdavi, Eva-María oppelbauer, A performance comparison of passive and low-energy buildings, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1314-1319

[11] T.G. Theodosiou, K.T. Ordoumposanis, Energy, confort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of greece, *Energy and Buildings* 40 (2008) 2207-2214

A

# Rehabilitación energética a escala urbana

## ee-WiSE: Transferencia de Conocimiento para la Rehabilitación Energética en países Mediterráneos

M.J. Bohórquez, A. Perianes & R. Vega

*Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, Cáceres, España.*

### RESUMEN:

Los países de la región mediterránea reúnen distintos problemas directamente vinculados con el sector de la construcción como la crisis económica, la escasa implementación de medidas de ahorro energético, y el desapego generalizado con los objetivos energéticos europeos del 2020. El proyecto ee-WiSE, aprobado en el Séptimo Programa Marco (2012), tiene como objetivo utilizar la transferencia de conocimiento a nivel transnacional con el fin de fomentar la eficiencia energética para la rehabilitación de edificios. Este documento pretende dar detalles sobre la metodología y plan de trabajo diseñados en el proyecto para alcanzar este objetivo. El resultado esperado más significativo, es el desarrollo de una herramienta validada para mejorar la transferencia y gestión de conocimiento e impulsar el mercado de la eficiencia energética en el sector de la construcción.

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 *La Eficiencia Energética en el Mediterráneo*

Desde la aprobación del protocolo de Kioto, en Europa se han desarrollado distintas políticas ambientales con el fin de cumplir sus objetivos. El Plan Energético del 2020, para reducir en un 20% las emisiones de CO<sub>2</sub>, incrementar otro 20% la explotación de recursos energéticos renovables y reducir un 10% el consumo de biocombustibles, no solo tiene como propósito luchar contra el cambio climático, sino también reducir el consumo energético europeo (Comisión Europea 2007&2010). La política de Eficiencia Energética (EE) se dirige más al sector industrial, de construcción y transportes con normas mínimas de rendimiento energético y etiquetado. En concreto, el sector de la construcción está sujeto a medidas concretas de EE desde la Directiva 2010/31/UE sobre "Eficiencia Energética en Edificios"<sup>1</sup>. Sin embargo, la iniciativa para adoptar medidas eficaces que persigan estos objetivos ha sido muy limitada en los países del área mediterránea.

<sup>1</sup> Resultante de la modificación de la Directiva inicial 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

La zona mediterránea cuenta con un gran número de edificios construidos con materiales débiles y características constructivas e instalaciones ineficientes. Además, estos edificios seguían unas exigencias pobres en demanda energética. Este problema de comportamiento energético de los edificios del Mediterráneo, resulta más perturbador teniendo en cuenta la particularidad de su climatología. La necesidad de una intervención en el parque edificatorio de esta región e impulsar medidas de eficiencia energética resulta evidente. Sin embargo, la falta de desarrollo del mercado de EE y la crisis económica que actualmente sufren algunos de estos países impiden superar estas barreras.

Por otro lado, la Comisión Europea se ha declarado a favor de promover un mercado energético interconectado Euro-Mediterráneo<sup>2</sup>, con el fin de explorar el potencial de las energías verdes, fomentar el desarrollo de infraestructuras comunes y acercarse a una diplomacia energética. Con esto, el desarrollo del mercado de EE enfocado hacia la rehabilitación de edificios, se presenta como una oportunidad de

<sup>2</sup> La Unión Euro-Mediterránea se inició el 1995 en la Conferencia Euro-Mediterránea organizada por la UE y agrupa a 43 países de la UE, el norte de África y Oriente Medio del ámbito mediterráneo.

doble beneficio: reducir consumos energéticos y regenerar el sector de la construcción.

### 1.2 *Transferencia de Conocimiento*

La transferencia de conocimiento es un proceso mediante el cual el conocimiento específico generado es capturado y almacenado en formatos y medios, permaneciendo disponible para otros cuando lo necesiten, conduciendo a mejoras innovadoras, rentables y sociales. En un marco real, el conocimiento producido en el sector de la EE difícilmente repercute en beneficios tangibles. Mientras que en la comunidad I+D junto con otros agentes, se genera este conocimiento, el usuario final apenas se beneficia de él. Por tanto, esta transferencia de conocimiento no es efectiva dentro de la cadena de valor y resulta en el principal problema del sector de la EE.

Existen proyectos de cooperación a nivel transnacional que siguen los objetivos de la política Euro-Mediterránea. En el ámbito energético destacan distintas iniciativas como el programa MED-EMIP, que pretende establecer una plataforma regional para el diálogo de políticas energéticas. La iniciativa "Solar Mediterranean Plan" es un programa que tiene la finalidad de fomentar todas las áreas de las energías renovables, y ayudará a identificar proyectos con impacto regional en la economía y el empleo. "Med-governance" es otro proyecto europeo que conduce la implementación de políticas regionales comunes del oeste Mediterráneo en sectores clave para su desarrollo, entre ellos energía, medio ambiente e innovación.

Muchas otras iniciativas de EE se están llevando a cabo en la actualidad, sin embargo ninguna aborda estas cuestiones desde un punto de vista integral del conocimiento. Por tanto, no existe ningún proceso identificado, que se desarrolle en países mediterráneos, que optimice la transferencia de conocimiento en la cadena de valor para impulsar el sector de la EE y con especial atención a las PYMES. El proyecto presentado en esta comunicación se diseña con este fin, dirigido a superar tres retos específicos: ayudar al desarrollo de un Mercado Mediterráneo interconectado, mejorar la eficiencia energética de edificios a través de acciones de rehabilitación, y fomentar la transferencia de conocimiento en la cadena de valor del sector de la EE dentro y fuera de los países.

Al tratarse de un proyecto iniciado recientemente, las siguientes secciones incluirán la descripción y planteamiento del proyecto, el plan de trabajo diseñado y los resultados esperados.

## 2 EL PROYECTO EE-WISE

El proyecto ee-WiSE, es un proyecto aprobado en el Séptimo Programa Marco, en la convocatoria del 2012<sup>3</sup>. Su objetivo principal es desarrollar un marco de transferencia de conocimiento en de la cadena de valor del sector de la EE en rehabilitación de edificios, con especial atención a las PYMES, orientado en países del Mediterráneo. Los objetivos específicos del Proyecto incluyen:

- Identificar puntos de ruptura en el flujo de transferencia de conocimiento y diseñar herramientas para resolverlos en beneficio de las PYMES.
- Desarrollar guías prácticas para fomentar la implementación de medidas de Eficiencia Energética.
- Desarrollar nuevos modelos de negocios.
- Transmitir al usuario final ventajas y beneficios de invertir en ahorro energético.
- Potenciar la recuperación de un sector estratégico en crisis creando empleos de calidad y riqueza a través de una economía verde.

### 2.1 *El origen del proyecto*

Con la intención de abordar los problemas descritos anteriormente e impulsar el mercado de la EE dirigido a la rehabilitación de edificios en el Mediterráneo, el proyecto responde a tres preguntas clave: ¿por qué rehabilitación?, ¿por qué el Mediterráneo?, y ¿por qué ahora?

Al incrementar la actividad de rehabilitación del parque edificado se producirán mayores beneficios de EE que con actuaciones de obra nueva. Reducir el impacto energético de los edificios existentes, conseguirá un verdadero cambio en las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes del consumo energético asociado al sector de edificios. En el enfoque mediterráneo, este proyecto mejorará la comunicación entre agentes de los diferentes países, con mejores prácticas y actividades para climatologías similares. Además, la falta de una gestión comunitaria del conocimiento generado durante años por los agentes implicados en cada país, será el principal problema a resolver. En cuanto a la cuestión temporal, la situación económica actual de los países mediterráneos y del sector, se consideran motivos suficientes para buscar cuanto antes la unión, invención, innovación y conocimiento compartido a nivel regional.

Otro de los fundamentos del proyecto ee-WiSE es su alineación con las políticas europeas. Puesto que el interés principal de la UE en política medioam-

<sup>3</sup> Enmarcado en el 7PM dentro de la categoría de *Acción de coordinación y apoyo*, en la temática de "Metodologías para la transferencia de conocimiento dentro de la cadena de valor y en particular para PYMES" [EeB.NMP.2012-6].

biental y energética es reducir las emisiones de los edificios existentes, para poder alcanzar los objetivos del 2020, considera de gran importancia los siguientes aspectos: el elevado potencial de EE en el sector de la construcción y en particular de las actividades de rehabilitación, las diferencias geográficas, la importancia del conocimiento compartido, la importancia de involucrar a todos los agentes, una certificación energética común a nivel europeo, mejorar la cualificación sectorial y la necesidad de desarrollar medidas para el sector de la EE. El ee-WiSE, al tener en cuenta todas estas características, se identifica fácilmente dentro de las iniciativas europeas.

## 2.2 Metodología

El Proyecto ee-WiSE, lanzado oficialmente en Octubre del 2012, tiene una duración prevista de 2 años y cuenta con un presupuesto de 1,2 M€. Cuenta con un consorcio internacional de 13 participantes de empresas (y PYMES), institutos de investigación, universidades y entidades públicas: EOLAS (España), Projects in Motion (Malta), BCC - Camara de Construccion de Bulgaria, AIDICO (España), ENERCYA (España), Puerto de Rafina (Grecia), Positive Energy (Grecia), EGE University (Turquía), IMA Architecture (Chipre), X-Panel (Chipre), IS-TEDIL-ANCE (Italia), AVACA (Grecia), y finalmente INTROMAC (España), que coordina el proyecto. La propuesta fue desarrollada en conjunto por INTROMAC y EOLAS, donde se tuvo en cuenta el perfil de cada socio con el fin de llegar a todos los agentes de la cadena de valor en el sector a lo largo de distintos países del Mediterráneo. Esta variedad participativa supone un valor añadido al proyecto, sin embargo requiere una metodología y plan de trabajo estrictos para asegurar la homogeneidad del mismo y la consecución de resultados válidos.

El proyecto se estructura en 7 paquetes de trabajo (WP) operativos y 1 de gestión. Estos 7 WP se agrupan en 4 fases distintas diseñadas para la correcta ejecución de las tareas y consecución de objetivos: *Metodología, Análisis, Diseño/ Implementación/ Validación, y Difusión*. La primera fase consistirá en el desarrollo de una metodología de compilación y análisis de la información. La ejecución de esta fase tiene como fin dar homogeneidad al trabajo realizado por el consorcio en las siguientes fases y garantizar la coherencia de los resultados. La siguiente fase, *Análisis*, consiste en el estudio del estado del arte del conocimiento y las necesidades del sector incluyendo procesos de transferencia. La fase de *Diseño/ Implementación/ Validación* ofrecerá una herramienta validada de transferencia y gestión del conocimiento, con guías para: modelos de negocios, activación del mercado, cooperación intersectorial, certificación y licitación en sector de la EE. Finalmente la fase de

*Difusión* se llevará a cabo de forma transversal a todo el proyecto con el fin de llegar a la comunidad y agentes relevantes del sector, y compartir el proyecto.

## 3 ANALISIS DEL SECTOR Y PROCESOS DE TRANSFERENCIA

En la fase metodológica, WP1 “Desarrollo del marco metodológico de análisis”, además de establecer ese protocolo de trabajo común para todo el consorcio, se identificará la cadena de valor, del sector de la EE en rehabilitación de edificios. Se definirán también conceptos para establecer una perspectiva común entre todos los socios participantes. La *Figura 1* recoge esta primera aproximación a la cadena de valor diseñada en la propuesta del proyecto. Puesto que todo el proyecto gira en torno a esta cadena de valor, es fundamental identificar los múltiples agentes que forman parte del sector y los flujos de conocimiento entre ellos. Una vez definida la cadena de valor, el proyecto se centra en el conocimiento y los procesos de transferencia dentro la misma. El trabajo llevado a cabo en la fase de *Análisis* ofrecerá un estudio del estado actual del sector de la EE en cuanto al conocimiento existente y el que se necesita para transformar el sector. Esta fase se divide en 2 paquetes de trabajo: WP2 y WP3.

El WP2, “Estudio del estado del arte en el sector de la EE en la rehabilitación de edificios”, tiene como objeto recopilar y estudiar la situación actual de prácticas en el sector de la EE, así como identificar los procesos de transferencia de conocimiento entre agentes y detectar carencias existentes. Por un lado, esta recopilación será un proceso de investigación que mostrará la situación de todas las prácticas de EE en rehabilitación. La información será recogida y clasificada en una base de conocimiento donde se atenderá a:

- Modelos de negocio de EE
- Soluciones y técnicas de EE
- Análisis del parque edificado
- Medidas de reactivación del mercado
- Medidas de promoción y apoyo para la EE
- Cooperación intersectorial
- Procesos de certificación

Por otro lado, en este WP se conllevará el diseño de un mapa que identificará los flujos de transferencia de conocimiento entre los agentes de la cadena de valor, sus puntos de ruptura, flujos que no aparecen, problemas de transmisión, y su análisis.

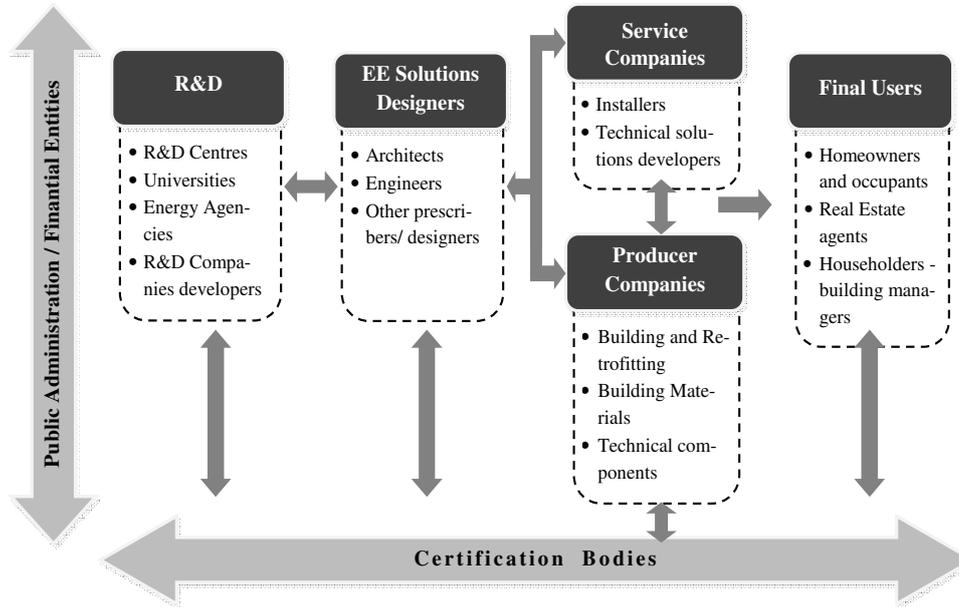


Figura 1. Esquema inicial de la cadena de valor del sector de la EE en rehabilitación de edificios.

El WP3 “Análisis de la generación de conocimiento y procesos de transferencia”, tiene como objetivo detectar la demanda existente de conocimiento de EE en rehabilitación para el Mediterráneo. Para ello, en primer lugar, en esta fase se realizará un análisis de las necesidades reales de EE para evaluar el estado actual de la transferencia de conocimiento dentro de la cadena de valor y en la sociedad en general. Luego se identificarán mejores prácticas y otras posibles soluciones para superar los problemas de transferencia detectados, y por último, se seleccionarán las mejores herramientas y técnicas para llevar a cabo procesos de transferencia de conocimiento en el sector de la rehabilitación energética.

#### 4 MARCO DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

La fase de *Diseño/ Implementación/ Validación* resultará en el marco de transferencia de conocimiento y está dividida en 3 paquetes de trabajo: WP4, WP5 y WP6. El WP4 “Marco de transferencia de conocimiento y diseño de herramientas para el sector de la EE en rehabilitación de edificios”, es la primera tarea de diseño. La relación lógica entre la demanda y oferta del conocimiento analizado en los WP anteriores es la esencia del WP4. El cruce de soluciones para los puntos de ruptura en la transferencia y mejores prácticas estudiadas, guiará el diseño del Marco de Transferencia de Conocimiento (KTF – *Knowledge Transfer Framework*) y herramientas de apoyo. El objetivo principal es el desarrollo de estas herramientas y actividades para las necesidades de transferencia detectadas, mejorar la capacidad de las

PYMES, promover nuevas formas de cooperación entre agentes, y diseñar actividades de validación para el siguiente WP. El resultado más significativo de este WP4 es el desarrollo de una primera versión de la herramienta virtual de transferencia.

En el WP5, “Validación del marco y herramientas dentro de la cadena de valor y otros agentes involucrados”, el KTF y las herramientas se pondrán a prueba con el fin de obtener una versión validada de las mismas. Este WP evaluará la efectividad de estas herramientas antes de la finalización del proyecto, de forma que se puedan realizar los ajustes necesarios de acuerdo con los resultados experimentados por los miembros del consorcio, la cadena de valor y otros agentes involucrados.

Finalmente, se desarrollarán guías y recomendaciones en el WP6, “Definición de la estrategia global de transferencia de conocimiento: guías y recomendaciones”, relacionados con temas clave dirigidos a conseguir los impactos marcados en el proyecto. Se tendrá en cuenta a los diferentes tipos de agentes, de forma que las guías atenderán a distintos perfiles.

La explotación de resultados del proyecto y el diseño de negocios transcurre de forma transversal a su duración, indicando medidas específicas para asegurar la duración del KTF con acciones de mantenimiento y actualización, ampliando su impacto al resto de países del Mediterráneo.

## 5 RESULTADOS ESPERADOS

El proyecto ee-WiSE es una iniciativa para mejorar los flujos de comunicación entre los diferentes agentes de la cadena de valor y abordar con éxito el desarrollo de un mercado, con un potencial significativo, para impulsar el crecimiento económico y las oportunidades de negocio para PYMES; añadiendo además, una contribución importante de cara a los objetivos medioambientales europeos. Concretamente, el impacto y resultados esperados más destacados del proyecto son:

- a) Mejorar la transferencia de conocimiento a lo largo de la cadena de valor, asegurando la participación de empresas en el conocimiento de investigación, y aportando soluciones a las exigencias del usuario final a través de los agentes diseñadores y prescriptores.
- b) Añadir valor a soluciones constructivas y materiales testeados funcionales y rentables, desarrollados por agentes productores.
- c) Ofrecer una metodología validada que sirva de garantía a entidades financieras para apoyar a las empresas para desarrollar su actividad.
- d) Ofrecer una herramienta para que las diferentes administraciones puedan coordinar el desarrollo de normativas y controlar mecanismos de conformidad con un criterio uniforme y objetivo.
- e) Al considerar organismos de certificación en este proyecto, se acercará, a las administraciones, entidades financieras y usuarios finales, a un agente capaz de certificar edificios en términos de EE.
- f) El usuario final y la sociedad en general, estarán informados de las ventajas económicas que aportan las medidas de EE para edificios existentes, favoreciendo la erradicación de la falta de conocimiento que hoy en día es una barrera.

Con la consecución de este proyecto, toda la cuenca mediterránea se beneficiará de primera mano de una herramienta desarrollada para mejorar la transferencia y gestión de conocimiento e impulsar el mercado de la EE en el sector de la construcción.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- COMISIÓN EUROPEA, 2007, *An Energy Policy for Europe*, Comunicación de la Comisión, Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA, 2010, *Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*, Comunicación de la Comisión, Bruselas.
- PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO, 2010, *Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)*. DO L 153/13, Bruselas.

## PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS APLICADO A EXTREMADURA

B.Montalbán Pozas

Escuela Politécnica de Cáceres, Universidad de Extremadura. España

### RESUMEN

En esta comunicación se propone una metodología para realizar la rehabilitación energética a escala urbana mediante la evaluación del parque de viviendas existentes en zonas representativas del territorio. Se plantea necesario agrupar las tipologías que compartan los mismos condicionantes de intervención. La simplificación es necesaria para poder abordar la evaluación del parque, aunque siempre será necesaria una auditoría puntual posterior para valorar la actuación.

En el muestreo que se ha realizado se han evaluado las viviendas construidas en tres zonas de la comunidad extremeña: una comarca de pequeños pueblos, una localidad de tamaño medio y una capital de provincia.

La metodología se desarrolla en tres etapas. En la primera se obtienen de forma estadística las viviendas edificadas en cada período, en una zona determinada, dato que permite valorar los períodos en los que hay mayor demanda. En una segunda fase se identifican las tipologías y soluciones constructivas. En ambas se ha utilizado como base la Escala de Calificación Energética de Edificios Existentes, redactada por el Ministerio de Fomento y el IDAE.

En una tercera fase se generan los casos de cálculo, combinando para cada tipología las soluciones constructivas posibles en cada período e introduciéndolas en el Procedimiento Simplificado CE3 del Ministerio de Industria, para obtener sus indicadores energéticos.

### 1. INTRODUCCIÓN

El parque edificatorio de viviendas es elevado, inabarcable si se plantean actuaciones individuales de rehabilitación energética. Para ampliar el alcance de éstas se debe intervenir a mayor escala: manzanas, barrios,...que refieran a más de una vivienda o un bloque de viviendas.

En esta comunicación se propone una metodología para realizar la rehabilitación energética a escala urbana mediante la evaluación del parque de viviendas existentes en zonas representativas del territorio. Este texto está basado en la recopilación de tres trabajos fin de grado de alumnos de Ingeniería de Edi-

ficación, tutorizados por la autora de la comunicación.

Este estudio se centra únicamente en los edificios de uso residencial y no incluye los destinados a usos terciarios. Los edificios de viviendas representan el 85% de la superficie construida en nuestro país. Los edificios del sector terciario son muy diferentes entre sí, tanto funcionalmente, como por usos, tipologías edificatorias, instalaciones empleadas o soluciones constructivas, por lo que no es posible agruparlos, y el estudio de su mejora a energética se debe realizar a nivel individual.

A

El escenario utilizado ha sido la Comunidad de Extremadura, y en ella tres zonas que podrían representar gran parte del territorio.

- Una capital de provincia, Cáceres, con unos 100.000 habitantes, 10.000 edificios destinados a vivienda, y en ellos unas 41.000 viviendas (es decir con profusión de edificios plurifamiliares).
- Un municipio de tamaño medio, con arquitectura del llano de la Baja Extremadura, Orellana La Vieja, con unos 3.000 habitantes, 1.800 edificios destinados a vivienda y en ellos 1.900 viviendas (hay supremacía de la vivienda unifamiliar).
- Una comarca de pequeños pueblos en la montaña cacereña, las Hurdes, con seis concejos: Caminomorisco, Casares de las Hurdes, Ladrillar, Nuñomoral, Pinofranqueado y Casar de Palomero (con una media cada uno de 1000 habitantes), y unas 40 alquerías (de no más de 100 habitantes cada una). En total, unos 6.500 habitantes, 4.000 edificios destinados a vivienda y en éstos 4.500 viviendas (igual que antes, no hay casi edificios plurifamiliares).

## 2. METODOLOGÍA

Para establecer el escenario de comparación se ha utilizado de referencia el documento “Escala de Calificación Energética de Edificios Existentes” desarrollado para la ciudad de Madrid, y basado en la misma metodología que el documento de Edificios de Nueva Construcción, ya reconocido. Para obtener las propuestas de actuación se ha utilizado el procedimiento simplificado CE3. Ambos son Documentos del Ministerio de Industria, desarrollados por el IDAE.

### 2.1. Escenario de comparación.

Se ha realizado un estudio y posterior clasificación de la vivienda edificada, según los períodos de construcción, las tipologías constructivas o las soluciones constructivas.

#### 2.1.1. Establecimiento y análisis de los períodos de construcción.

Se adoptan los mismos períodos propuestos por el documento del IDAE:

- Antes de 1900, y hasta 1940 → Arquitectura Tradicional. Cerramientos de gran espesor e inercia térmica.

- De 1941 a 1960 → Arquitectura de Posguerra. Inicio del uso de cerramientos de doble hoja sin aislamiento.

- De 1961 a 1980 → Arquitectura Moderna Sin Aislamiento (en vigor normas MV). Cerramientos de doble hoja sin aislamiento.

- De 1980 a 2006 → Arquitectura Moderna con Aislamiento (en vigor normas CT-79). Cerramientos de doble hoja con aislamiento. Soluciones de cubierta aislada. Mejora de vidrios y de carpinterías.

Si analizamos el parque residencial español en general, encontramos que más de la mitad de las viviendas se construyeron en el segundo y tercer período, es decir entre 1940 y 1980, caracterizado por cerramientos de doble hoja sin aislamientos. Sabemos, por ello, que gran parte de la vivienda edificada en España carece de unos requisitos mínimos que limiten su demanda de energía.

Para el parque edificatorio de los escenarios propuestos la situación es diferente, según se puede analizar en la tabla 1.

	TOTAL	Hasta 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1981 a 2001
Cáceres	9887	1394	2066	1975	4361
		14,1 %	20,3 %	20,0 %	44,1 %
Orellana	1798	536	602	330	330
La Vieja		29,8 %	33,4 %	18,4 %	18,4 %
Las Hurdes	4017	747	740	1514	1016
		18,6 %	18,4 %	37,7 %	25,3 %

Tabla 1. Número de edificios destinados principalmente a vivienda y porcentajes de edificios en cada período.

En Cáceres, el grueso del parque, que está en el último período precedente del boom inmobiliario y del éxodo a las ciudades, contaría con aislamiento mínimo según CT-79. En Orellana, y en las Hurdes, los parques más grandes están en el segundo y tercer período respectivamente, períodos con las peores

condiciones edificatorias desde el punto de vista energético (en número absoluto cualquier período de ambas zonas es inferior en viviendas a las de la capital). Además, en Orellana hay un gran número de viviendas de arquitectura tradicional, con grandes espesores e inercia térmica, cercanos al confort térmico. En Las Hurdes habría que añadir como problemático el último período, ya que la construcción, hasta hace muy poco tiempo, se ha realizado sin normativa alguna, y supone más de un 25% del total construido.

### 2.1.2. Selección de tipologías constructivas por período de construcción.

Se seleccionan las tipologías de viviendas, tanto unifamiliares como en bloque, que representen las tipologías constructivas del parque existente en la zona elegida en las tablas 2, 3 y 4.

El documento del Ministerio propone estimar cada provincia y su capital, sin embargo, en algunas ocasiones, por ser territorios muy extensos, con diferencias climáticas o culturales, entendemos que las tipologías no se pueden extrapolar con la media de su provincia. En el muestreo se eligieron tres zonas que aportan claras diferencias, y que juntas podrían representar a gran parte de la comunidad.

A partir de una recopilación inicial de edificios en cada zona, se ha seleccionado una serie de muestras que fueran características; de acuerdo con las estadísticas del INE, entrevistas y la inspección visual realizada en la zona de actuación.

La representatividad se ha basado en el número de edificios de cada tipo, superficie construida, situación respecto a otros edificios, forma, huecos y número de plantas según los períodos.

Nº de viviendas	Unifamiliar			Plurifamiliar			
	1	2	3 o más	3 o menos	4 a 6	7 a 9	10 o más
Antes de 1900	TIPO A	TIPO A	-	TIPO E	-	-	-
1900 a 1940	TIPO A	TIPO A	-	TIPO E	-	-	-
1941 a 1960	TIPO B	TIPO B	-	TIPO F	TIPO F	-	-
1961 a 1980	TIPO C	-	-	TIPO G	TIPO G	TIPO G	-
1981 a 2000	TIPO D	TIPO D	TIPO D	TIPO H	TIPO H	TIPO H	-

Tabla 2. Cáceres. Selección de tipologías constructivas por período de construcción.

Nº de viviendas	Unifamiliar			Plurifamiliar 3 o menos
	1	2	3	
Antes de 1900	TIPO 1 y 2	TIPO 1 y 2	-	-
De 1900 a 1940	TIPO 1 y 2	TIPO 1 y 2	-	-
De 1941 a 1960	TIPO 1 y 2	TIPO 1 y 2	-	-
De 1961 a 1980	TIPO 3 y 4	TIPO 3 y 5	TIPO 3	TIPO 5 y 6
De 1981 a 2000	TIPO 3 y 4	TIPO 3 y 5	TIPO 3	TIPO 5 y 6

Tabla 3. Orellana La Vieja. Selección de tipologías constructivas por período de construcción.

Nº de viviendas	Unifamiliar			Plurifamiliar 3 o más
	1	2	3 o más	
Antes de 1900	TIPO I	TIPO I	-	-
De 1900 a 1940	TIPO II	TIPO II	-	-
De 1941 a 1960	TIPO III	TIPO III	TIPO III	-
De 1961 a 1980	TIPO IV	TIPO IV	TIPO IV	TIPO IV
De 1981 a 2000	TIPO V	TIPO V	TIPO V	TIPO V

Tabla 4. Las Hurdes. Selección de tipologías constructivas por período de construcción.

La codificación de celdas responde a la nomenclatura de las tipologías descritas en el Anexo I. Por la extensión de las mismas sólo se han recogido en dicho anexo algunos ejemplos de cada localidad.

### 2.1.3. Identificación de soluciones constructivas por período.

Se exponen en las tablas 5, 6 y 7. Existen más soluciones, sin embargo, son de transmitancias térmicas muy aproximadas a las seleccionadas, por eso se toman estas como representativas.

En el Anexo II se incluyen las características de alguna de estas soluciones. No se han incluido todas por su extensión. Hay que aclarar que las soluciones de las tres zonas no son las mismas, aunque sí lo es la nomenclatura. Los valores de caracterización de los sistemas se han obtenido del Documento de Estudios Tipológicos de Cerramientos en la Comunidad de Extremadura, de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda, y del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

	PERÍODOS				
	Antes de 1900	De 1901 a 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1981 a 2000
<b>FACHADAS</b>					
Fachada 1	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Fachada 2	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Fachada 3	NO	NO	SÍ	NO	NO
Fachada 4	NO	NO	NO	SÍ	NO
Fachada 5	NO	NO	NO	NO	SÍ
Fachada 6	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>SUELOS</b>					
Suelo 1	NO	NO	NO	NO	SÍ
Suelo 2	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Suelo 3	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
<b>CUBIERTAS</b>					
Cubierta 1	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Cubierta 2	NO	NO	SÍ	NO	NO
Cubierta 3	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
Cubierta 4	NO	NO	NO	NO	SÍ
Cubierta 5	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>HUECOS</b>					
Hueco 1	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Hueco 2	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
Hueco 3	NO	NO	NO	NO	SÍ

Tabla 5. Soluciones constructivas por períodos en Cáceres.

	PERÍODOS				
	Antes de 1900	De 1901 a 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1981 a 2000
<b>FACHADAS</b>					
Fachada 1	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Fachada 2	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Fachada 3	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
Fachada 4	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
Fachada 5	NO	NO	NO	SÍ	NO
Fachada 6	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>SUELOS</b>					
Suelo 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Suelo 2	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Suelo 3	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Suelo 4	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Suelo 5	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>CUBIERTAS</b>					
Cubierta 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Cubierta 2	NO	NO	NO	SÍ	NO
Cubierta 3	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>HUECOS</b>					
Hueco 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Hueco 2	NO	NO	NO	SÍ	NO
Hueco 3	NO	NO	NO	NO	SÍ

Tabla 6. Soluciones constructivas por períodos en Orellana.

	PERÍODOS				
	Antes de 1900	De 1901 a 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1981 a 2000
<b>FACHADAS</b>					
Fachada 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Fachada 2	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Fachada 3	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Fachada 4	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>SUELOS</b>					
Suelo 1	NO	NO	NO	NO	SÍ
Suelo 2	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Suelo 3	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
<b>CUBIERTAS</b>					
Cubierta 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Cubierta 2	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Cubierta 3	NO	NO	NO	NO	SÍ
<b>HUECOS</b>					
Hueco 1	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Hueco 2	NO	NO	NO	SÍ	NO
Hueco 3	NO	NO	NO	NO	SÍ

Tabla 7. Soluciones constructivas por períodos en Las Hurdes.

2.1.2. Obtención de la distribución de equipos correspondientes a instalaciones de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Dada la variedad de equipos instalados en los edificios se ha realizado una generalización para acometer el estudio a escala urbana. Los sistemas de acondicionamiento que se han contemplado son:

- Para Cáceres el sistema de ACS y calefacción será caldera de combustión estándar con gas natural, con instalación o renovación en 1999, con un rendimiento nominal del 84 % y calefactando el 100 % de la vivienda. No se incluye ningún sistema de refrigeración.
- En Orellana La Vieja el sistema principal de calefacción será eléctrico, tipo estufa o radiador eléctrico con un rendimiento nominal del 95%, y una superficie pequeña a calefactar, 20%. La refrigeración tipo split con una EER nominal del 95%, y una superficie media a refrigerar, 50%
- Para las Hurdes no se ha contemplado sistema de calefacción, ni de refrigeración.

2. Obtención de los indicadores energéticos: demandas, consumos y emisiones, de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, asociados a estos edificios.

Se ha utilizado el programa CE3, procedimiento simplificado de certificación de edificios existentes, elaborado dentro del Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios Existentes. Este programa se estructura en:

- Entrada de datos: definición de sección constructiva, características geométricas y sistemas de acondicionamiento. Los casos de cálculo se han generado combinando, para cada una de las tipologías, las diferentes soluciones constructivas posibles en cada uno de los periodos establecidos.
- Resultados y certificación: indicador de eficiencia energética global del edificio y calificación final, así como calificaciones parciales de calefacción, refrigeración y producción de ACS. Nos permite evaluar de manera aproximada la situación energética inicial del edificio en las tablas 8, 9 y 10.

PERIODOS	Hasta 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1980 a 2006
Calefacción	0,82	1,13	0,87	0,63
Refrigeración	0,16	0,2	0,19	0,17
A.C.S	0,16	0,16	0,16	0,16
Global	1,15	1,49	1,28	0,96
Calificación Energética	D	E	D	D

Tabla 8. Cáceres. Indicadores de Eficiencia Energética.

PERIODOS	Hasta 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1980 a 2006
Calefacción	1,67	1,70	1,55	1,07
Refrigeración	0,16	0,15	0,17	0,13
A.C.S	0,19	0,19	0,19	0,22
Global	2,02	2,04	1,91	1,42
Calificación Energética	E	E	E	D

Tabla 9. Orellana La Vieja. Indicadores de Eficiencia Energética.

PERIODOS	Hasta 1940	De 1941 a 1960	De 1961 a 1980	De 1980 a 2006
Calefacción	2,27	2,42	2,81	2,33
Refrigeración	0,26	0,27	0,32	0,25
A.C.S	0,28	0,28	0,23	0,23
Global	2,81	2,98	3,36	2,81
Calificación Energética	F	F	G	F

Tabla 10. Las Hurdes. Indicadores de Eficiencia Energética.

-Selección de medidas de mejora precuantificadas. Permite evaluar el potencial de mejora que el edificio presenta. El desarrollo de estas medidas excede el propósito de esta comunicación, podemos considerar que cada uno de estos casos de cálculo tiene su estrategia de rehabilitación más idónea según las características constructivas de las que partamos, y que si somos capaces de focalizar los problemas energéticos de las envolventes, podremos



proponer unas direcciones claras para las actuaciones de rehabilitación.

### 3. CONCLUSIONES

Tras analizar la metodología, podemos concluir que es posible un método simplificado para la obtención de los valores medios y de los indicadores del parque de edificios de viviendas existente. Es aplicable a cualquier localidad, contando con las fuentes de información descritas y permite una generalización que puede abordar el estudio de la rehabilitación energética a escala urbana.

Es decisivo realizar un muestreo correcto ya que las diferencias entre una zona y otra son significativas, y sin embargo la agrupación simplifica mucho el análisis final

No se debe perder de vista en ningún momento el impacto de la propuesta que se realice, teniendo siempre en cuenta el potencial de viviendas en cada zona o período.

Disponer de estudios del potencial de ahorro energético, con líneas de actuación bien definidas, facilita el nacimiento de políticas que propongan objetivos realistas y asumibles, y que reduzcan significativamente el consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los edificios de viviendas existentes. Así sería más viable impulsar un orden de actuaciones, y las redacciones de Planes de Rehabilitación de Eficiencia Energética en cada localidad, provincia o región.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

1. Batuecas Sánchez, R, 2012, Proyecto Fin de Grado de Ingeniería de Edificación, tutora Montalbán Pozas, Beatriz, Escuela Politécnica de Cáceres.
2. Dirección General de Catastro. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Sede Electronica del Catastro, 2012, Consulta de cartografía, datos catastrales.
3. Edea Renov. Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo. Junta de Extremadura, 2011, Estudios Tipológicos de Cerramientos en la Comunidad Autónoma de Extremadura, Mérida.
4. Iglesias Pérez, S, 2012, Proyecto Fin de Grado de Ingeniería de Edificación, tutora Montalbán Pozas, Beatriz, Escuela Politécnica de Cáceres.
5. Instituto Nacional de Estadística, Construcción y Vivienda, Censo de viviendas 2001.
6. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011, Escala de calificación energética de edificios existentes, Madrid.
7. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2012, Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3.
8. López Cerro, M.M, 2012, Proyecto Fin de Grado de Ingeniería de Edificación, tutora Montalbán Pozas, Beatriz, Escuela Politécnica de Cáceres.
9. Ministerio de Fomento, 2011, Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.
10. Secretaría de Estado de Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2012, Procedimiento simplificado para la certificación energética de edificios existentes, CE3.
11. WWF/Adena, 2012, Informe: Potencial de Ahorro Energético y de Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub> del Parque Residencial Existente en España en 2020, Madrid.

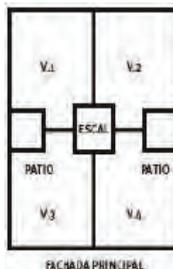
## ANEXOS.

### ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS EDIFICATORIAS POR PERÍODO.

#### A1. Ficha ejemplo de Cáceres

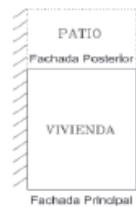
##### EDIFICIO TIPO G 1961-1980

TIPO	Tipo G.1	Tipo G.2	Tipo G.3
Tipología	Plurifamiliar	Plurifamiliar	Plurifamiliar
Nº Plantas	≤ 3	4-6	7-9
Posición	Entre Medianera	Entre Medianera	Entre Medianera
Orientación Fachada Ppal.	Sur	Sur	Sur
Ático	No	No	No
Sótano	Si	Si	Si
Área de Planta (m <sup>2</sup> )	365	365	365
Longitud Fachada Ppal. (m)	19	19	19
% Huecos Fachada Ppal.	26	28,2	27,9
% Huecos Fachada Posterior	23,4	25,4	25,11
Posición de Patios	A medianera	A medianera	A medianera
Área total de Patios (m <sup>2</sup> )	30	30	30
Profundidad del Patio (m)	3	3	3
% Huecos Fachadas Patio Orient. Sur	27,8	27,8	27,8
% Huecos Fachadas Patio Orient. Norte	27,8	27,8	27,8
% Huecos Fachadas Patio Orient. Este	8	8	8
% Huecos Fachadas Patio Orient. Oeste	8	8	8
Área Total de Caja de Escaleras (m <sup>2</sup> )	15	15	15
Profundidad de la Caja de Escaleras	3	3	3



#### A2. Ficha ejemplo de Orellana

TIPOLOGÍA 3			
TIPO	3.1	3.2	3.3
TIPOLOGÍA	Unifamiliar	Unifamiliar	Unifamiliar
Nº DE PLANTAS	1	2	3
POSICIÓN	Entre medianeras	Entre medianeras	Entre medianeras
ORIENTACIÓN	Sur	Sur	Sur
ÁTICO (DOBLADO)	Si	Si	Si
SÓTANO	No	No	No
PATIO	Si	Si	Si
SUP. CONSTUIDA PLANTA	130 m <sup>2</sup>	130 m <sup>2</sup>	130 m <sup>2</sup>
LONGITUD FACHADA	9 m	9 m	9 m
% HUECOS FACHA PPAL	20,55	20,55	20,55
% HUECOS FACHA SEC.	20,55	20,55	20,55
% HUECOS FACHA LATE	-	-	-
SUP. ESCALERA	-	-	-



#### A3. Ficha ejemplo de Las Hurdes

##### EDIFICIO TIPO IV 1961-1980

SUBTIPO	SUBTIPO IVA.	SUBTIPO IV B.	SUBTIPO IVC
Tipología	Unifamiliar	Unifamiliar	Plurifamiliar
Nº de plantas	2	3	3
Posición	Entre medianeras	Entre medianeras	Entre medianeras
Orient. principal	Sur	Sur	Sur
Ático	No	No	No
Sótano	No	No	No
Área de Planta	50	50	60
Long. f. principal	8	7	7
% Huecos	8%	8%	
% Huecos	-	-	
Sup. caja esca-	-	-	10

Vivienda

Fachada princ.



A

## ANEXO 2: SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Fachadas			
Nombre	Transmitancia	Capas Materiales	Sección
FACHADA 1	$U = 2,87 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fachada de una sola hoja de fábrica de mampostería de Granito, de 50 cm de espesor, con juntas de mortero. Enlucido por el exterior y el interior.	 $e = 0,5 \text{ m}$
FACHADA 2	$U = 2,52 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fachada de una sola hoja de fábrica de mampostería de Pizarra, de 50 cm de espesor, con juntas de mortero. Enlucido por el exterior y el interior.	 $e = 0,5 \text{ m}$
FACHADA 3	$U = 2,34 \text{ W/m}^2\text{K}$	Fachada de una sola hoja de fábrica con revestimiento exterior continuo a base de mortero de cemento, 1 pie de fábrica de ladrillo cerámico perforado, con junta de mortero de cemento y revestimiento interior de enlucido de yeso.	 $e = 0,5 \text{ m}$

Suelos			
Nombre	Transmitancia	Capas Materiales	Sección
SUELO 1	$1,79 \text{ W/m}^2\text{K}$	Solera de hormigón con barrera antihumedad en contacto con el terreno a base de grava, y capa separadora a base de fieltro geotextil, con acabado de solado de baldosas cerámicas tomadas con mortero de cemento.	 $e = 0,33 \text{ m}$
SUELO 2	$3,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	Solera de hormigón apoyada sobre el terreno. Acabado a base de baldosas cerámicas tomadas con mortero de cemento de 4 cm de espesor.	 $e = 0,21 \text{ m}$

Huecos			
Nombre	Transmitancia	Capas Materiales	Esquema
HUECO 1	$U = 3,76 \text{ W/m}^2\text{K}$	Hueco formado por marco de madera de densidad media-baja que forma el 55 % del hueco con vidrio monolítico de 6 mm.	 $e = 0,15 \text{ m}$

## Proyecto Lourdes Renove. Rehabilitación Integral del Barrio de Lourdes. Tudela. Navarra.

Ana Bretaña

*Navarra de Suelo y Vivienda, S.A. Nasuvinsa. Pamplona. España.*

**RESUMEN:** El proyecto Lourdes Renove se enmarca dentro del Programa Europeo Concerto, que apoya a las Administraciones Locales para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este proyecto, promovido por el Ayuntamiento de Tudela, se concibe como la primera fase para la Rehabilitación Energética Integral del Barrio de Lourdes, barrio de vivienda social construida entre 1954 y 1972.

Las condiciones constructivas de las edificaciones han situado a este barrio en la banda más baja del mercado inmobiliario, lo que ha originado que se esté produciendo un fenómeno de paulatino deterioro.

En este contexto, el Ayuntamiento, convencido de los beneficios (Medioambientales, Económicos y Sociales), apuesta por llevar a cabo un proceso de Rehabilitación Global, que marque unas pautas de calidad.

En diciembre de 2009, entra en el proyecto, la empresa pública Nasursa (hoy Nasuvinsa) con el papel de Equipo de Gestión, que coordine los aspectos técnicos, financieros y sociales.

Los objetivos alcanzados en esta primera fase han sido:

- Proyectos Piloto. Rehabilitación Integral de 10 portales (146 viviendas). Envolvente Térmica, Accesibilidad y renovación de las Instalaciones Generales.
- Renovación Integral de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista con la inclusión de biomasa (486 viviendas).
- Reurbanización de parte del ámbito.

### 1. ANTECEDENTES. PROYECTO ECO-CITY.

El proyecto Lourdes Renove se enmarca dentro del Proyecto Eco-City (2005-2012), desarrollado dentro de la Iniciativa Europea Concerto, financiada por el 6º Programa Marco. Esta iniciativa apoya a las Administraciones Locales para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, por medio de la adopción de medidas de Eficiencia Energética y la inclusión de Energías Renovables.

En la iniciativa Concerto participan 44 ciudades europeas de 18 países diferentes.

Dentro del proyecto Eco-City, los socios europeos del Ayuntamiento de Tudela son las ciudades de Helsingor (Dinamarca), Helsingborg (Suecia) y Trondheim (Noruega). Dentro de los socios nacionales podemos mencionar al Gobierno de Navarra, Asesoría Zabala, Cenifer y Cener.

En diciembre de 2009, el proyecto original de la Eco-City, se reorienta a dos nuevas actuaciones:

- La construcción de obra nueva con altas medidas de eficiencia energética en el Barrio del Queiles. (Queiles Eficiente).
- La Rehabilitación Energética Integral del Barrio de Lourdes (Proyecto Lourdes Renove).

En este momento entra en el proyecto la Empresa Pública Nasursa (hoy Nasuvinsa, Navarra de Suelo y Vivienda, S.A.), para llevar a cabo la Gestión Integral del Proyecto, lo que incluye los aspectos técnicos, financieros y sociales.

El plazo para el desarrollo y ejecución de las obras se extendía hasta octubre de 2011, contando con el año 2012 para la monitorización de los datos de consumos energéticos de las viviendas e instalaciones sobre las que se hubiera intervenido.

## 2. LOURDES RENOVE.

El proyecto Lourdes Renove se concibe como la primera fase de un Proyecto Global de Rehabilitación Energética Integral del Barrio de Lourdes, que es un Barrio de Vivienda Social promovida entre 1954 y 1972, con unos sistemas constructivos muy básicos (carentes de cualquier tipo de aislamiento térmico) y en los que han sido frecuentes los procesos de autoconstrucción.

Las condiciones constructivas de las edificaciones y los problemas de accesibilidad han situado a este barrio en la banda más baja del mercado inmobiliario, lo que ha originado que en los últimos años, a medida que se pierde la población original del barrio, muy envejecida, se esté produciendo un paulatino fenómeno de deterioro.

Desde el punto de vista energético, destacamos la ineficiencia energética tanto de los edificios como de las instalaciones; en particular de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista, que daba servicio a un total de 31 portales con 486 viviendas, y que se encontraba al límite de su vida útil. Todo ello, originaba que se localizaran y localicen abundantes casos de la denominada "pobreza energética".

En este contexto el Ayuntamiento de Tudela, convencido de los importantes beneficios (Medioambientales, Económicos y Sociales) de la Rehabilitación Energética, apuesta decididamente por llevar a cabo un proceso de Rehabilitación Global, que marque unas pautas de calidad para el conjunto del Barrio.

## 3. ÁMBITO DE ACTUACIÓN.

Para esta primera fase se seleccionan tres áreas del barrio, en las que se incluyen 4 tipologías edificatorias, que responden a la vivienda colectiva social más antigua del barrio, y que presentaba una mayor problemática, tanto constructiva como social. Se trata por lo tanto, de las Comunidades del Barrio que a priori necesitaban un mayor apoyo para la consecución de los Acuerdos favorables para la ejecución de las obras de Rehabilitación.

Dentro de ese ámbito se programan las siguientes actuaciones:

1. Proyectos Piloto de Arquitectura para las 4 tipologías edificatorias seleccionadas: Los

100 Pisos, Bloques de los Años 60-70, Bloques de los Años 50 y Las Torres.

2. Proyecto de Reurbanización de parte del Ámbito del Proyecto Lourdes Renove.
3. Renovación Integral de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista.
4. PRINCIPALES DIFICULTADES PARA AFRONTAR EL PROCESO.

- Gestión Social. La Rehabilitación Integral de Barrios de los años 50 al 70, en el seno de la ciudad consolidada, son procesos muy complejos desde el punto de vista técnico, urbanístico y financiero; pero sobre todo presentan una gran complejidad de gestión social. Esta complejidad se acentúa por la avanzada edad de una parte de la población, y por el hecho de que en estas zonas se concentra generalmente la franja más baja del mercado inmobiliario, ocupada en un alto porcentaje por población de origen inmigrante, con presencia de crecientes situaciones de vulnerabilidad social.
- Situación económica actual. El proceso de participación y adopción de los acuerdos en el seno de las Comunidades de Propietarios se inicia a finales del año 2010, en un momento en el que la crisis económica actual ha golpeado con gran dureza al Barrio de Lourdes.
- Plazo temporal muy reducido. El plazo para el desarrollo del proyecto se extendía desde enero de 2010 hasta octubre de 2011. Es este periodo de tiempo se debían definir los proyectos, buscar la máxima implicación de las diversas administraciones, conseguir una línea de financiación, alcanzar los acuerdos favorables en el seno de las Comunidades de Propietarios y ejecutar las obras. De forma que a lo largo del año 2012 se llevara a cabo la monitorización con la cuantificación de los ahorros energéticos.
- Indefinición previa de los fondos disponibles. Al inicio del proyecto no se conocía con exactitud los fondos que cada administración iba a destinar al proyecto; estos se fueron concretando a lo largo del proceso.

## 5. ASPECTOS CLAVE DEL PROYECTO LOURDES RENOVE. LECCIONES APRENDIDAS.

- El Barrio entendido como Unidad de Actuación. Es fundamental la promoción de Actuaciones Globales de Intervención, que contemplen todos los aspectos implicados (sociales, económicos y técnicos), de forma que se garanticen unos resultados de calidad, y se obtenga el máximo impacto en la sociedad.
- La Rehabilitación Energética de Barrios implica importantes beneficios a distintos niveles: medioambientales (ahorro energético, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, uso más racional del suelo,...), económicos (generación de empleo, retorno fiscal, reducción del gasto energético, optimización del gasto público en nuevas infraestructuras y servicios) y sociales (mejora de la calidad de vida, consolidación de las redes sociales y afianzamiento de la identidad ciudadana).
- Rehabilitación Energética Integral. Se debe llevar a cabo la definición de unos objetivos claros en los que la Eficiencia Energética debe estar en la base de todas las acciones.

En el proyecto Lourdes Renove se establecía la exigencia mínima de que los edificios rehabilitados debían alcanzar las condiciones de aislamiento que el Código Técnico de la Edificación (CTE) fija para la obra nueva. Siendo, en algunos aspectos superadas, por las exigencias técnicas del Programa Europeo Concerto.

- Generalización del Modelo de Gestión (Equipo de Gestión). El modelo de gestión adoptado en el proyecto Lourdes Renove se ha basado en la figura del Equipo de Gestión (asumido por la empresa pública Nasuvinsa), que ha llevado a cabo una gestión integral y multidisciplinar de todos los aspectos implicados en la Rehabilitación: económicos (obtención de financiación, tramitación de ayudas,...), técnicos (seguimiento proyectos, obras), jurídicos (juntas de vecinos, adjudicaciones, contratos,...) sociales (dinamización y participación), divulgativos,...

Además, de asumir el papel de coordinación entre todos los agentes implicados:

- Administración (Ayuntamiento de Tudela y Gobierno de Navarra), que ha creado un marco adecuado, que ha apoyado y facilitado los procesos de Rehabilitación.
- Los vecinos. Ingrediente imprescindible para el desarrollo del proyecto.
- Sector de la Construcción: los técnicos redactores, las empresas constructoras, las ESEs, las empresas suministradores de materiales...
- Participación y Dinamización Social. Desde el inicio del proyecto se ha buscado la máxima participación del vecindario, de forma que los propietarios fueran parte fundamental de todo el proceso. En este apartado se debe mencionar la importancia de la implicación y participación de los administradores de fincas.

En marzo de 2010, Nasuvinsa, abre en el ámbito del propio proyecto, la Oficina Lourdes Renove, que ha sido un punto de encuentro entre técnicos y vecinos, así como el eje de la participación de todo el proceso. Para facilitar el acceso al conjunto de la población, la Oficina ha tenido horario de mañana y tarde. Además, en este espacio se han llevado a cabo las reuniones con las Comunidades de Propietarios, normalmente a partir de las 8:00 de la tarde, para facilitar el acceso al conjunto de los propietarios.

En paralelo, el Ayuntamiento de Tudela contrata la redacción y puesta en marcha de un "Plan de Participación y Dinamización Social" a la empresa Kamira, integrando a una trabajadora social en el equipo técnico de Nasuvinsa de la Oficina Lourdes Renove.

Los aspectos claves de esta participación han sido:

- Favorecer el acceso a una información clara y precisa. Para evitar procesos especulativos.
- Apoyo a los propietarios y administradores en todo el proceso, a través del Equipo de Gestión. Reuniones informativas, apoyo en las juntas, tramitaciones con la administración, tramitación de las ayudas,...
- Favorecer la máxima confianza. Para ello es recomendable que los Equipos Gestión, no estén vinculados de forma directa a procesos productivos.

Las actividades desarrolladas con los vecinos de Barrio buscaban un doble objetivo; por una parte

favorecer los procesos de Rehabilitación Integral Energética, y por otra formar y concienciar a la población para generalizar unos hábitos energéticos responsables. Ya que el modo de garantizar importantes ahorros energéticos en la ciudad, y por tanto la reducción de emisiones contaminantes, es la combinación entre la Rehabilitación Energética y un adecuado comportamiento de los habitantes.

- Metodología de actuación. Desarrollado armonizado de varios procesos. El Proyecto Lourdes Renove, ha permitido la obtención de una metodología de trabajo contrastada. Enumeramos algunos de los principales paquetes de trabajo:
  - Obtención de información previa. Levantamiento de planos, inspecciones técnicas, visitas y encuestas a los vecinos, termografías, cuantificación de los consumos energéticos previos...
  - Concurso de Arquitectura. Que además de la solución arquitectónica propuesta, debían incluir los costes estimados de las inversiones.
  - Concurso de Comunidades. Con este término se denominó la fase en la que se ha buscado la obtención de los Acuerdos favorables en el seno de las Comunidades de Propietarios. En la Oficina Lourdes Renove, se llevan a cabo reuniones informativas en las que se exponen las características técnicas de los anteproyectos, la cuantificación de las ayudas y las condiciones de financiación alcanzadas.
  - Apoyo en la Adopción de los Acuerdos.
  - Tramitación de las Ayudas de forma centralizada desde la Oficina Lourdes Renove, que ha actuado a modo de ventanilla única.
  - Licitación de las Obras.
  - Formalización de la Financiación.
  - Seguimiento de las Obras y sus Incidencias.
  - Cierre económico (ayudas y financiación).
- Coordinación de las Administraciones Públicas. Dada la situación económica del Barrio se buscó la máxima implicación de las Administraciones, con el objetivo de alcanzar los máximos fondos posibles. En conjunto se alcanzó una ayuda media del 60% del coste total de la inversión. Al unir los esfuerzos de las distintas Administraciones se ha conseguido el máximo impacto con los fondos disponibles.

En cuanto a las ayudas obtenidas, debemos además, destacar dos aspectos significativos:

- Las ayudas extras obtenidas para el Proyecto Lourdes Renove quedaban condicionadas a la adopción de medidas de Eficiencia Energética. Por ejemplo en el caso de los Proyectos Piloto la actuación mínima a desarrollar era la ejecución de la Envolvente Térmica.
- El Ayuntamiento de Tudela habilitó unas ayudas económicas destinadas a la atención de la Precariedad Social, que venían a apoyar a los propietarios con una mayor vulnerabilidad.
- Obtención de la financiación. Se buscó un acuerdo marco de financiación, que ofrecía financiación directa a las Comunidades de Propietarios. La Caja de Ahorros de Navarra ofreció financiación por el 100% de la inversión (incluido los impuestos) de forma que se garantizaba que la totalidad de los propietarios incluidos en las Comunidades de Propietarios tenían acceso a la financiación. La práctica totalidad de los proyectos que se han ejecutado dentro del Proyecto Lourdes Renove se han acogido a esta financiación.

## 6. PROYECTOS PILOTOS DE ARQUITECTURA.

En junio de 2010 el Ayuntamiento de Tudela convocó 4 concursos de ideas con intervención de jurado (en el que se incluían representantes vecinales), para seleccionar una propuesta para cada una de las tipologías seleccionadas.

El objeto de la Rehabilitación eran las Zonas Comunes de los inmuebles, la intervención en el interior de las viviendas no era objeto del proyecto Lourdes Renove.

Dentro de las Zonas Comunes se debía analizar de un modo aislado y en conjunto las siguientes actuaciones:

- Envolvente Térmica. Fachadas, medianerías vistas, cubiertas y plantas bajas.
- Eliminación de las Barreras Arquitectónicas.
- Renovación de las Instalaciones Generales del inmueble hasta cada vivienda.
- Incorporación de Energías Renovables.
- Monitorización de los resultados. Con el objetivo de cuantificar de un modo preciso los ahorros energéticos de las viviendas.

En octubre de 2010 se organiza en el Barrio de Lourdes una Jornada de puertas abiertas en las que se exponen a los vecinos las propuestas ganadoras del Concurso, además del Proyecto de Reurbanización para parte del ámbito del Proyecto Lourdes Renove.

A continuación se incluye la relación de los equipos adjudicatarios:

- Los 100 Pisos. Margallo y Orgambide, arquitectos.
- Bloques de los años 60-70. MARQUITEC-TOS. Gerardo Molpeceres.
- Bloques de los años 50. LKS Ingenieros.
- Las Torres. Olano y Mendo arquitectos.

A partir de este momento se inicia la fase de mayor participación y divulgación en el Barrio (Concurso de Comunidades), realizando labores de concienciación y formación, centrándose fundamentalmente en dos ideas.

Por una parte se insistía, en que para dar una solución adecuada a las pérdidas energéticas a través de los cerramientos, era necesario intervenir de una forma conjunta, tanto en la parte ciega (fachadas, cubierta y plantas bajas en contacto con locales y forjados sanitarios), como en los huecos.

Por otra parte concienciar al conjunto de la sociedad de las ventajas de la Rehabilitación Integral; es decir, actuar de forma conjunta sobre la Accesibilidad, la Envolvente Térmica y las Instalaciones Generales de los inmuebles.

Tipología: Los 100 Pisos.

- Nº de portales: 7 (PB+4)
- Nº de viviendas: 106
- Equipo ganador: Margallo y Orgambide, arquitectos
- Alcance de la obra: 5 portales (90 viviendas)
- Coste total de la actuación: 1.851.000 euros.

Cuadro resumen repercusión por vivienda (Portales de 18 viviendas). Tipología Los 100 Pisos			
Alcance de las Obras.	Inversión media total (incluidos impuestos).	Inversión media descontadas las ayudas.	Cuota medio del crédito (euros/mes).
Rehabilitación Integral	22.750 €	9.700 €	95
Rehabilitación Energética	12.200 €	4.200 €	41

Rehabilitación Integral: Accesibilidad, Envolvente Térmica e Instalaciones Generales.

Rehabilitación Energética: Envolvente Térmica e Instalaciones Generales.

Esta agrupación presentaba el peor estado de conservación del conjunto de los inmuebles incluidos en el ámbito del Lourdes Renove, además se trata de una edificación muy expuesta, al encontrarse rodeada de edificaciones de baja densidad.

El proyecto ha contemplado la Ejecución de la Envolvente Térmica, la resolución de la Accesibilidad y la renovación de las Instalaciones Generales.

Sobre las fachadas existentes se ha colocado un Sistema SATE, con placas de EPS Grafito de 60mm, con la terminación de Estuco Flexible de Parex.

La fachada original contaba con unas piezas de hormigón ejecutadas in situ, que presentaban importantes problemas de filtraciones de aire, además de ser unos grandes puentes térmicos, la solución propuesta consistió en forrar estas piezas con las placas de EPS de Grafito y terminarlos con el mismo estuco del resto de la fachada.

Las zonas accesibles de planta baja se han reforzado con una segunda capa, mediante un mortero anti-vandálico tipo Coteterm-M IMPACT, incluyendo malla reforzada de la misma casa comercial y acabado con árido de sílice. La transmitancia conseguida después de la actuación ha sido de  $U = 0,36 \text{ WW/m}^2 \text{ K}$ .

Se han duplicado las carpinterías por el exterior, por medio de ventanas correderas de aluminio gris antracita, regularizando la dimensión de los huecos. Se han colocado doble vidrio bajo emisivo y protección solar de la casa comercial Guardian denominado Sunguard (4/8/6).

Las viviendas de plantas bajas en contacto con locales no calefactados se han aislado por medio de un proyectado de mortero termoaislante de 60 mm de espesor Aislone de la casa comercial Weber.

Se ha renovado por completo la cubierta, con la eliminación de la teja y la colocación de paneles Sandwich con 60mm de espesor Ondatherm 900 C, con núcleo de espuma de poliuretano de  $40 \text{ kg/m}^3$ . Sobre estos paneles, en 1 de los 5 portales, la Empresa Suministradora de Energía, MB Solar, ha colocado una instalación de paneles fotovoltaicos con una potencia total de 20 KW.

En las fachadas se han colocado unas celosías de aluminio, que además de favorecer el sombreado de los huecos en verano, permiten ocultar el trazado de las nuevas instalaciones, tendederos y cajas de aire acondicionado.

A falta de recibir el informe definitivo de la monitorización (que elaborará el Cener; socio del proyecto), se ha podido constatar por medio de las facturas de consumo que los consumos se han visto reducidos de entorno al 50% respecto al año anterior

Tipología: Bloques de los Años 60-70

- Nº de portales: 27 (PB+4)

- Nº de viviendas: 374
- Equipo ganador: MARQUITECTOS. Gerardo Molpeceres.
- Empresa constructora: Obras y Servicios, TEX.
- Alcance de la obra: 3 portales (44 viviendas)
- Coste total de la actuación: 954.000 euros.

Cuadro resumen repercusión por vivienda. Tipología Bloques Años 60-70.			
Rehabilitación Integral (A, E.T. e IG).	Inversión media total (incluidos impuestos).	Inversión media descontadas las ayudas.	Cuota medio del crédito (euros/mes).
Portal de 18 viviendas	21.650 €	9.850 €	90
Portal de 8 viviendas	31.550 €	13.700 €	56*
* Este portal ha optado por hacer una aportación previa de 7.500 euros/vivienda.			

En la resolución del concurso se valoró positivamente, que la propuesta de Rehabilitación permitía una adecuada integración en el conjunto edificatorio. Se ha llevado a cabo la Rehabilitación Integral de 3 portales. De ellos, dos de 18 viviendas y otro de 8 viviendas. Las obras ejecutadas han sido la Accesibilidad, la Envolventes Térmicas y la Renovación de las Instalaciones Generales.

En relación a la Envolvente Térmica, indicar que se ha aplicado un Sistema SATE (aislamiento térmico exterior de fachadas); con la colocación directa de placa Neopor de 60mm, por medio de tacos plásticos de 15cm y adhesivo, en la totalidad de las fachadas, tanto al exterior, como en los patios y medianeras vistas (Sistema Cotetherm).

Las fachadas originales incluían unas piezas de hormigón ejecutadas in situ, que presentaban grandes filtraciones al aire, para solucionar este aspecto se han colocado piezas de chapa plegadas de aluminio con 8cm de aislamiento de lana de roca en su interior, y sellado con espuma de poliuretano. En estas piezas se han integrado unas carpinterías correderas por el exterior, de forma que se ha evitado el tener que intervenir en el interior de las viviendas; los vidrios varían en función de la dimensión del hueco y de su orientación, pero en general están comprendido entre 4/16/4 y 6/12/3+3; bajos emisivos y con control solar.

Los locales se han aislado respecto a las viviendas por medio de la colocación directa de lana mineral de 100mm bajo el forjado.

Se ha renovado por completo la cubierta, con la colocación continua de 60mm de poliestireno extruido, sobre el mismo se han dispuesto rastreles longitudinales, lámina impermeabilizante, rastreles transversales y teja.

Como consecuencia, se ha obtenido una transmitancia de la cubierta de 0,42w/m<sup>2</sup>K, en fachadas de

0,48w/m<sup>2</sup>K, en huecos de ventana entre 1,90 y 2,60w/m<sup>2</sup>K (según las orientaciones y proporción de vidrio), en el forjado de los locales de 0,22w/m<sup>2</sup>K y forrado de las jácenas de 0,52w/m<sup>2</sup>K.

Estas viviendas además, han visto renovado por completo su sistema de Calefacción, al formar parte de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista.

Se ha constatado un ahorro energético en gastos de calefacción superior al 60%, mejorando sustancialmente el confort térmico de estas viviendas. Además, este ahorro puede ser superado en las próximas campañas, dado que la Envolvente no se encontraba completamente ejecutada al iniciarse la Campaña de Calefacción 2011-2012.

Tipología: Bloques de los Años 50

- Nº de portales: 32 (PB+1; PB+2)
- Nº de viviendas: 176
- Equipo ganador: Ingeniería LKS.
- Empresa constructora: Sadar. ACR.
- Alcance de la obra: 2 portales (12 viviendas)
- Coste total de la actuación: 262.000 euros.

Cuadro resumen repercusión por vivienda. Tipología Bloques Años 50 (portales 6 viviendas)			
Alcance de las Obras	Inversión media total (incluido impuestos).	Inversión media descontadas las ayudas.	Cuota medio del crédito (euros/mes).
Envolvente Térmica, Instalaciones Generales y construcción de la Galería.	26.884 €	12.500 €	115
Envolvente Térmica e Instalaciones Generales.	16.848 €	10.000 €	72

Rehabilitación integral de las zonas comunes de dos inmuebles, que incluye la Envolvente Térmica y las Instalaciones Generales.

Las obras de la Envolvente Térmica han consistido en un sistema SATE compuesto por un panel de lana de roca de doble densidad (100 y 40kg/m<sup>3</sup>) de 60mm de espesor (Ventirock DUO de Rockwool). Con capa resistente de mortero de la casa Baumit. Transmitancia del muro asciende a 0,442 W/m<sup>2</sup>k.

Sustitución de la cubierta original de teja, por panel sándwich de doble chapa de acero prelacado con aislamiento interior de 80mm de espesor de lana de roca, colocado sobre omegas de acero galvanizado de unos 3cm de espesor. Transmitancia de la cubierta de 0,265 W/m<sup>2</sup>k.

Se mantienen las carpinterías originales y se colocan otras nuevas correderas por el exterior; con vidrios

de 4/10/4. En uno de estos dos portales se ejecuta una instalación fotovoltaica.

El elemento más significativo de este proyecto es la construcción de unas galerías hacia el patio interior de las viviendas; en el que se amplía los balcones hasta 1,50m de ancho. Estas galerías están dotadas de sistemas de ventilación que garantizan un adecuado comportamiento térmico tanto en verano como en invierno. Además están dotadas de lamas orientables al exterior. Los laterales de las galerías se cierran con deployé, y en estas zonas se agrupan de forma ordenada los tendederos, unidades exteriores de aire acondicionado e instalaciones. Los vidrios empleados han sido laminados Aislaglas (Guardian). Para llevar a cabo el presente proyecto fue necesario la tramitación de un Estudio de Detalle; dado de que el Plan General en esta área permitía incrementos de la edificabilidad, pero este debía de ser ordenado.

## 7. PROYECTO DE REURBANIZACIÓN.

Proyecto de Reurbanización del espacio urbano que coincide con el ámbito espacial de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista. En total, supone una superficie de 9.872,7 m<sup>2</sup>.

- Equipo redactor: Blasco. Esparza. Asociados. Arquitectos.
- Presupuesto total de la actuación: 981.616,63 euros.

Los objetivos de este proyecto han sido:

- Priorizar la presencia del peatón, favoreciendo los recorridos peatonales y ciclistas.
- Minimizar el consumo y las emisiones producidas por el transporte motorizado.
- Inclusión de zonas verdes.
- Supresión de barreras arquitectónicas.
- Instalación de un nuevo alumbrado público en el que ha primado las medidas de eficiencia energética.
- Posibilitar y facilitar la renovación de las Redes de Distribución de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista que discurren por espacio público.

## 8. RENOVACIÓN INTEGRAL DE LA CALEFACCIÓN DE BARRIO SAN JUAN BAUTISTA.

Se trata de un proyecto que ha sido un enorme reto, destacando la implicación ciudadana y la gestión de todo el proceso. Definición del modelo, consecución del acuerdo para la ejecución de las obras (ratificada en dos votaciones), tramitación y gestión de todas las ayuda, consecución de la financiación, programación de las obras de forma que no se ha interrumpido en ningún momento el servicio de calefacción, coordinación de las obras con el Proyecto

de Reurbanización y planificación de las obras en el interior de todas las viviendas.

De forma que, además de la renovación de los sistemas de Producción con la inclusión de la biomasa (fuente de energía principal de la instalación), se ha conseguido la renovación integral de las Redes de Distribución, incluida la distribución interior de las viviendas.

- Estado original de la instalación

La instalación de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista, daba servicio a un total de 31 portales y 486 viviendas. Esta instalación presentaba importantes problemas de funcionamiento, hasta el punto de que a corto o medio plazo la solución que se presentaba como más viable era la descentralización de la misma.

La sala de calderas se encontraba completamente fuera de normativa, y las viejas calderas además de tener un rendimiento muy reducido eran objeto de continuadas reparaciones. Además, el sistema no contaba con ningún sistema de regulación.

Sin embargo, el principal problema que presentaba la instalación era el mal estado de conservación de las redes de distribución. Esto ocasionaba importantes fugas que, además de provocar importantes pérdidas energéticas, exigía inyectar agua a la red de forma periódica, así como vaciados regulares de la misma para llevar a cabo las reparaciones, con el consiguiente problema para las calderas. Además, esta falta de estanquidad impedía trabajar a una presión adecuada, que unido a la pendiente que presenta el terreno, imposibilitaba que las viviendas más alejadas y elevadas respecto a la sala de calderas alcanzaran la temperatura de confort.

Por último, el diseño original de la instalación impedía la posibilidad de incluir termostatos y contadores individuales de consumo, dado que la instalación presentaba un esquema en peine, con columnas verticales que unían los radiadores en altura, de forma que una misma columna alimentaba a radiadores de varias viviendas e incluso de distintos portales.

- Propuesta de Renovación. Descripción técnica de la nueva instalación.

- Empresa Suministradora de Energía: Giroa.
- Presupuesto total de la actuación: 2.757.287 euros.

- Subvención máxima a alcanzar: 1.721.843 euros.

Valorando la situación de origen de la instalación se llegó a la conclusión de que era necesario llevar a cabo una Renovación Integral de la instalación. Los únicos elementos que se mantuvieron de la vieja instalación fueron los radiadores.

#### A. Sistemas de producción.

Se ha diversificado la fuente de alimentación, incluyendo una fuente de energía renovable, la biomasa. La antigua sala de calderas se localizaba en un semisótano en un espacio bastante reducido, de forma que fue necesaria la búsqueda de un espacio alternativo para localizar los equipos de biomasa y el silo de almacenamiento. Para ello, se optó por construir una nueva sala de producción de biomasa al otro lado de la calle, en el lugar en el que se localizaban enterrados los viejos depósitos de gasoil en desuso, desde que se habían cambiado los quemadores de gasoil de las calderas por unos de gas. Por otra parte la sala de gas se renovó por completo, manteniendo su antigua ubicación. Ambas salas se encuentran comunicadas por medio de unas galerías que atraviesan transversalmente la calle que las separa. La potencia total instalada asciende a 3.365 kW a 80/60°C.

- 2 calderas de biomasa marca VISSMANN modelo PYROTEC 720 de 720 kW de potencia nominal con agua a 85/65°C.

- 3 calderas de condensación a gas marca HOVAL modelo ULTRAGAS 720 con una potencia nominal de 665 kW a 80/60°C.

Las dos calderas de biomasa funcionan para satisfacer la demanda de calor base y las calderas de gas funcionan como complemento de las de biomasa, para cubrir las puntas que se den por encima de la demanda base. Así se obtiene la "cascada" adecuada de producción para la consecución del mayor rendimiento de la instalación.

En la nueva instalación se han adoptado sistemas de regulación de forma que se alcance la máxima eficiencia energética:

La temperatura de producción y distribución de calor se adapta a las condiciones de temperatura exterior, con la finalidad de optimizar el rendimiento de producción y distribución.

La distribución de calor se realiza a caudal variable con objeto de mejorar la eficiencia de la instala-

ción. El caudal de distribución se ajusta al caudal demandado por las viviendas.

#### B. Redes de Distribución.

Como ya hemos comentado, el principal problema de la instalación radicaba en las redes de distribución. Su renovación, además de implicar un alto coste económico, presentaba una gran complejidad de ejecución y coordinación. Para facilitar la renovación de estas redes, desde el Ayuntamiento de Tudela, se alteró el orden previsto para la Reurbanización de las calles de este Barrio, de forma que ambas obras coincidieron en el tiempo.

Las conducciones que discurren por espacio público se localizan en unas galerías, y se han ejecutado en tubería Isoplus de EFITERM, tubería de acero pre-aislada que cuenta con un sistema de detención de fugas.

Una vez dentro de los portales, un aspecto importante para la ejecución de la Red de Distribución, fue localizar un espacio adecuado para albergar las montantes verticales generales y los cuadros de contadores a la entrada de cada una de las viviendas, dado que la antigua instalación de calefacción al basarse en montantes verticales que unían radiadores no disponían de elementos en las zonas comunes.

En el interior de cada una de las 486 viviendas, se ha procedido a realizar el anillado de los radiadores. Se ha instalado un termostato inalámbrico que permite a cada vivienda regular su temperatura, además se han incluido válvulas termostáticas en todas las estancias salvo en los baños, y se han renovado todos los purgadores de los radiadores.

Insistir que la instalación de los contadores individuales de consumo, además de ser una pieza fundamental para un comportamiento energético más responsables a nivel de usuario, es una medida básica para que las Comunidades de Propietarios a nivel de portal acometan las obras de la Envolvente Térmica.

#### C. Monitorización.

La instalación se completa con un sistema de monitorización para poder cuantificar la energía producida por las distintas calderas: biomasa y gas, así como los consumos energéticos térmicos de cada una de las viviendas. El sistema permite gestionar y controlar las salas de caldera remotamente (automatas de Telegestión), además de la telelectura de

los mismos. Igualmente permite la lectura vía web, del consumo día a día de cada vivienda, dotando al usuario de una herramienta desde la cual podrá consignar los consumos correspondientes, así como otras gestiones.

- Programación de las obras.

En relación a la ejecución de las obras, aclarar que la sala de biomasa, la red de distribución por espacios públicos y zonas comunes de los portales se ejecutaron a lo largo de la campaña de calefacción 2.010-2011; mientras que la renovación completa de la sala de gas y el anillado de las viviendas se realizó durante el verano de dicha campaña, de forma que no se interrumpió el funcionamiento de la instalación en la campaña 2010-2011, y al arranque de la campaña 2011-2012 la instalación estaba completamente ejecutada.

## 9. CONCLUSIONES.

El proyecto Lourdes Renova ha supuesto una primera fase para la Rehabilitación Global del Barrio. Fijando unos modelos de calidad para el resto del Barrio, en el que las medidas de Eficiencia Energética están en el origen de todas las propuestas.

En cuanto a las actuaciones desarrolladas dentro del Proyecto Lourdes Renove, se debe destacar el valor demostrativo de la Renovación Integral de la Calefacción de Barrio San Juan Bautista.

La actuación sobre la instalación de Calefacción Centraizada (District Heating) San Juan Bautista, ha buscado alcanzar un doble objetivo:

- Posibilitar la supervivencia de esta instalación, que se encontraba al límite de su vida útil, por medio de una renovación integral y la inclusión de una energía renovable (biomasa).
- Demostrar al conjunto de la sociedad que las Calefacciones de Barrio, en buenas condiciones, y aplicando los medios actuales, se tratan de instalaciones muy eficientes, y permiten fácilmente la inclusión de energías renovables. Con el objetivo final de poder favorecer la extensión de este modelo y generalizar la renovación de este tipo de instalaciones construidas a lo largo de los años 60 y 70; que a día de hoy se encuentran al límite de su vida útil.

Por último, destacar la transferibilidad potencial del Proyecto Lourdes Renove y su replicabilidad. Todo el proyecto ha sido orientado a facilitar la replicabilidad en el conjunto del Barrio. De hecho, el objetivo primordial de los primeros Edificios Rehabilitados, los denominados Proyectos Pilotos, es que favorezcan la generalización de los procesos de Rehabilitación en el resto de las edificaciones del Barrio, con una labor fundamentalmente demostrativa. Además, por otra parte, el conjunto del proyecto Lourdes Renove, permite su transferibilidad no sólo a otras Áreas del Barrio de Lourdes o de Tudela, sino a otras localidades que cuenten con Barrios ejecutados a lo largo de los años 50-60 y 70.

## 10. RECOMENDACIONES A FUTURO.

Junto con las Lecciones Aprendidas recogidas en el apartado 5 y las Conclusiones del apartado 9, nos gustaría recoger las siguientes recomendaciones a futuro:

- Importancia de la generalización de una política de Rehabilitación Energética de Barrios. Apoyada por la administración, no sólo por medio de subvenciones a fondo perdido, sino también por medio de la generalización de la figura del Equipo de Gestión.
- Necesidad de contar con un conocimiento real de las situaciones de los distintos Barrios, que permitan establecer prioridades de actuación. Por ejemplo: Inventariado actualizado de las Calefacciones de Barrio con datos de consumos, fuentes de energía utilizados...
- Promoción de Proyectos Globales de Rehabilitación. Tanto en el espacio público y privado y que incluyan todas la realidades de las construcciones (Accesibilidad, Envoltente Térmica, Renovación de las Instalaciones Generales e Inclusión de Energías Renovables).
- Contemplar la Eficiencia Energética como una parte imprescindible de la Rehabilitación.
- Coordinación de la información y las políticas de actuación de las distintas administraciones. Por ejemplo: programación de reurbanizaciones en los distintos ámbitos,...

- Necesidad de un marco legislativo claro. Por ejemplo: Regulación Balance Neto.
- Políticas de apoyo a la Rehabilitación con estabilidad en el tiempo. Definición de las Ayudas Económicas, tratamiento fiscal,...
- Favorecer la participación del Sector Privado. Destacando la importancia y la necesidad de involucrar activamente en este tipo de actuaciones a las Empresas Suministradores de Energía. Lo que permitirá minimizar las inversiones a realizar por parte de los vecinos; un aspecto fundamental a tener en cuenta, dada la actual situación económica.
- Movilización de la sociedad; los habitantes deben estar implicados en todos los procesos de Rehabilitación, para garantizar el éxito de la actuaciones.

## Rehabilitación integral del espacio y la edificación residencial en áreas turísticas. El caso de Platja de Palma.

J. Prieto Montesinos, F. Fernández Alonso, A. Villanueva Paredes.  
AUIA, Arquitectos Urbanistas Ingenieros Asociados S.L.P. Madrid. España.

**RESUMEN:** Uno de los recursos fundamentales para el Consorcio de la Platja de Palma es generar experiencias que sirvan de referencia para la difusión del proceso de rehabilitación residencial. Se ha elaborado un diseño de experiencias piloto trasladable a la planificación de actuaciones en el medio y largo plazo. Esta experiencia piloto abre un proceso de innovación, creación de empleo y mantenimiento y mejora de la edificación. La propuesta de rehabilitación técnica se ha concretado, en una primera fase, en un anteproyecto de rehabilitación de una manzana formada por tres edificios situados en una plaza muy representativa del tejido arquitectónico y la vitalidad urbana de Can Pastilla, uno de los núcleos urbanos de la Platja. La propuesta de rehabilitación establece medidas pasivas y activas para la reducción del consumo energético global.

### 1 LA REHABILITACIÓN DEL ESPACIO RESIDENCIAL EN PLATJA DE PALMA

Los trabajos que se resumen aquí están directamente relacionados con la realización, del “Plan de Reconversión Integral de la Platja de Palma” y los instrumentos de desarrollo que el Consorcio de la Platja de Palma ha elaborado para la revalorización de este destino turístico que, a pesar de los problemas actuales de declive, tiene también un reto y enormes oportunidades de regeneración.

El Consorcio de la Platja de Palma se creó en 2005 para su mejora y embellecimiento, con el objetivo de promover la rehabilitación de la planta hotelera, de los servicios complementarios del turismo y del entorno urbano. Desde la creación en 2008 de la figura de la Comisionada para el Consorcio de la Platja de Palma por el Consejo de Ministros, los trabajos se han orientado hacia la definición de un nuevo modelo turístico, que sea referente mundial y que incluya en sus resortes de cambio la sostenibilidad, el cambio climático, el cambio global, la cohesión social y residencial.

La planificación urbanística que forma parte de los instrumentos de desarrollo del Plan asume la reconversión de la movilidad, redes de infraestructuras, sistemas de equipamientos, etc., en un tratamiento integrado de los objetivos medioambientales, de calidad de vida y del espacio urbano.

En un escenario de contención del crecimiento, la ordenación de los sistemas urbanos incluye *la programación de la rehabilitación de la edificación como medio fundamental de intervención sostenible en la vivienda y los hoteles. Platja de Palma parte*

*de un problema: la baja calidad de la edificación y de la imagen del espacio público.*

Las colonias de casas bajas de turistas creadas en los núcleos de Can Pastilla, Arenal de Palma y Arenal de Lluçmajor, desde la primera mitad del siglo XX, se ha densificado extraordinariamente, hasta formar un tejido urbano diverso, de calidad media en muchos casos, pero sin zonas verdes, plazas ni dotaciones suficientes. Los problemas de colmatación, abandono y degradación en las áreas más antiguas provienen de la permisividad urbanística, la obsolescencia de la edificación y la falta de atractivo para la inversión y actualización en el parque hotelero. Puntualmente existen, en los edificios de todas las épocas, problemas de seguridad por patologías en las estructuras, deficiencias en la accesibilidad y habitabilidad, etc., y son generalizables los problemas y el coste energético derivados de la ausencia de aislamientos o soluciones constructivas deficientes frente a la humedad.

***La estrategia principal para la reconversión de la Platja de Palma en el sector de la edificación es la rehabilitación sostenible.***

Con el importantísimo parque de edificación residencial y turística, y un escenario de contención del crecimiento, la revalorización y reconversión de la Platja de Palma pasa por su adecuación en criterios de seguridad, habitabilidad, calidad de vida e imagen, y con carácter estratégico, por la reducción de significativa de su impacto ambiental en todo el ciclo de vida. Los criterios básicos del proceso son:

## 1. Calidad de la edificación, calidad de vida, calidad del destino turístico

El objetivo es actuar en la mejora de las condiciones de seguridad, habitabilidad y funcionalidad de un parque de viviendas que, en muchos casos, no responde a expectativas de calidad de vida y experiencia turística actuales.

Con la ruptura de las dinámicas de decadencia se pretende fijar la población existente, evitando tanto la marginalidad como la entrada en procesos de gentrificación ligada a procesos de fuerte renovación. La rehabilitación es una oportunidad para mejorar la calidad de las viviendas, consolidar su valor patrimonial y aumentar la cohesión de todos sus ciudadanos, conservando el entramado social y económico, que aporta implicación, identidad y experiencia en el desarrollo de este destino. Se trata de un plan mixto, un plan de barrios solapado e integrado con los programas de rehabilitación de hoteles urbanos, la mejora de equipamientos, la reurbanización, etc.

### 2. Sostenibilidad ambiental de la edificación

El objetivo es sistematizar la rehabilitación y sus resultados, y extenderla a largo plazo a todos los edificios existentes. Para establecer la relación entre rehabilitación o renovación de la edificación y el objetivo final de reducción del consumo e impacto de los edificios, partimos de algunos diagnósticos previos:

- La rehabilitación reduce los costes monetarios en un 40% y los costes ambientales entre un 50-60%, y sin embargo, en edificios con problemas de difícil resolución o afecciones graves al espacio urbano, hay que asumir la renovación parcial o total como parte del programa.
- Consideración del ciclo de vida completo, las fases de extracción-fabricación concentran el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y el uso-mantenimiento el 65%, sumando el 95% del impacto. Es decir, en la opción de la rehabilitación, y reducido el impacto por derribo, generación de residuos y aportación de nuevos materiales, hay que integrar la gestión del uso como parte fundamental del proceso.

La calidad percibida de los destinos y los establecimientos turísticos está, cada vez más, ligada a la responsabilidad ambiental y se trata, por tanto, de ir más allá del ahorro en facturas. Forma parte de los elementos que los diferencia y cualifica: la trascendencia, en un sector innovador y en proceso de renovación, de la sostenibilidad asociada a la imagen-marca del turismo, está asumida como un valor añadido a la calidad.

## 2 EXPERIENCIAS PILOTO EN UN OBJETIVO A 3 AÑOS

Uno de los recursos fundamentales para el Consorcio de la Platja de Palma es generar experiencias que sirvan de referencia para la difusión del proceso, ejemplos que tienen que ser un exponente coherente con los criterios estratégicos de reducción de la carga ecológica local y global. Se ha trazado un diseño de experiencias piloto a 3 años trasladable a la planificación de actuaciones en el medio y largo plazo; el objetivo en el corto plazo es comenzar la implantación selectiva en 10 manzanas sobre Can Pastilla y los arenales de Palma y Lluçmajor, zonas muy significativas para los residentes y el sector turístico en las que se visualice el cambio y las posibilidades de transformación. Para la selección se ha valorado el estado actual de la edificación y la incorporación de distintas tipologías edificatorias residenciales que sean representativas de los distintos modelos de intervención propuestos y de la macla de usos y actividades y situaciones urbanas que concurren en estas manzanas, así como la viabilidad de la gestión, en base a la disponibilidad de los residentes y propietarios para la concertación.

En este momento se estima poder llegar a intervenir en casi 500 viviendas y 200 locales comerciales, sobre un parque edificado con una edad media de 40 a 50 años situado en áreas centrales, siguiendo un sistema de acciones de rehabilitación y renovación, participado desde el inicio con los vecinos y propietarios. La experiencia piloto abre un proceso de innovación, creación de conocimiento y empleo en sectores ligados a la construcción y el mantenimiento de la edificación.

### Primera experiencia piloto en Can Pastilla

La propuesta de rehabilitación técnica se ha concretado, en una primera fase, en un anteproyecto de rehabilitación de una manzana formada por tres edificios, situados en una plaza muy representativa del tejido arquitectónico y la vitalidad urbana de Can Pastilla, uno de los núcleos urbanos de la Platja.

Actualmente, en los edificios se cumplen condiciones de seguridad estructural, podría mejorarse la habitabilidad y accesibilidad de las viviendas (la superficie y organización de las viviendas es correcta, con algunos problemas de calidad, y ninguno de los tres edificios tiene ascensor) y los consumos energéticos son altos, ya que como es común en la zona, las viviendas no tienen aislamiento ni cerramientos eficientes. La mayoría de las viviendas se climatizan mediante bombas de calor alimentadas por energía eléctrica compuestas por unidades exteriores e interiores; el agua caliente sanitaria procede de termos eléctricos o calentadores de gas butano y no se aprovechan las aguas grises ni pluviales. La principal carencia de los tres edificios es, por tanto, la baja eficiencia energética.

La propuesta de rehabilitación establece medidas ambientales pasivas y activas para la reducción del consumo global y de energías no renovables, y el in-

cremento de utilización de energías renovables, la reducción del consumo de agua y el aumento del reciclado.

Síntesis de actuaciones propuestas	
<p><b>A. Medidas ambientales pasivas</b></p> <p><b>Aislamiento y revestimiento de la envolvente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamiento de fachadas y patios, mediante la colocación de aislamiento y revestimientos pétreos o cerámicos, colocados por el exterior.</li> <li>- Aislamiento térmico de cubiertas, nueva impermeabilización y solado flotante de piedra natural</li> <li>- Aislamiento de locales comerciales y forjados sobre espacios no calefactados.</li> <li>- Mejora de problemas de humedades.</li> </ul> <p><b>Protecciones solares en fachadas y cubiertas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cerramiento ligero y móvil de fachadas con celosías y pérgolas ajardinadas en cubiertas.</li> </ul> <p><b>Captación pasiva de calor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejecución de galerías puntuales acristaladas y protegidas, a modo de captadores solares.</li> </ul> <p><b>Mejora de las ventilaciones naturales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediante aperturas en cajas de escalera y patios para favorecer la ventilación cruzada.</li> </ul>	<p><b>B. Medidas ambientales activas</b></p> <p><b>Generación de energías renovables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocación de paneles solares en cubiertas con aprovechamiento de la radiación solar para producir ACS y energía fotovoltaica. Como criterio de partida se ha considerado la posible subida de temperaturas en verano; en este contexto de adaptación al cambio climático, en el proyecto se dota a las viviendas de sistemas de refrigeración de bajo consumo y fuentes energéticas renovables.</li> </ul> <p><b>Captación y reciclado del agua de lluvia y aguas grises</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Previsión de instalación de aljibe para el almacenamiento de agua de lluvia e incorporación a la futura red de aguas depuradas</li> </ul> <p><b>Responsabilidad en el uso y reducción de materiales y residuos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con la opción de la rehabilitación se reduce el uso de nuevos materiales y la creación de nuevos residuos a vertedero</li> <li>- El diseño se realiza evitando la creación de nuevos residuos, utilizando materiales reciclables y de bajo impacto ambiental.</li> <li>- Se incorporan medidas complementarias para el reciclado de residuos.</li> </ul>
<p><b>C. Seguridad, calidad funcional y habitabilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora de los conductos de ventilación y evacuación de gases existentes.</li> <li>- El proyecto incluye mejoras en las condiciones higiénicas, de las instalaciones y en los acabados de viviendas.</li> <li>- Se propone una alternativa para la instalación de ascensor.</li> </ul>	

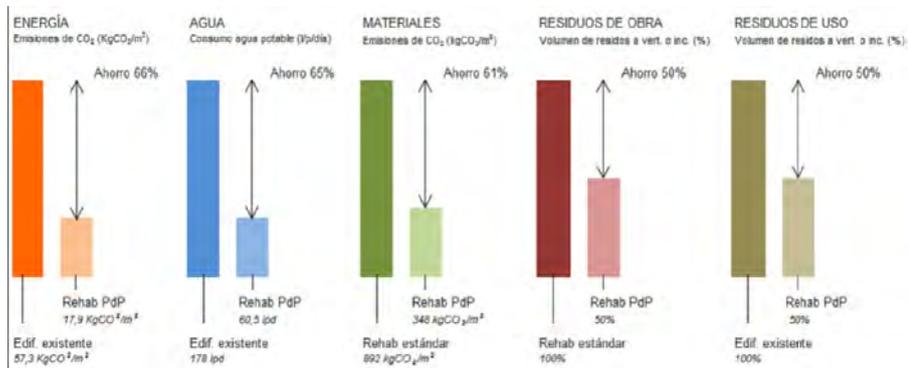
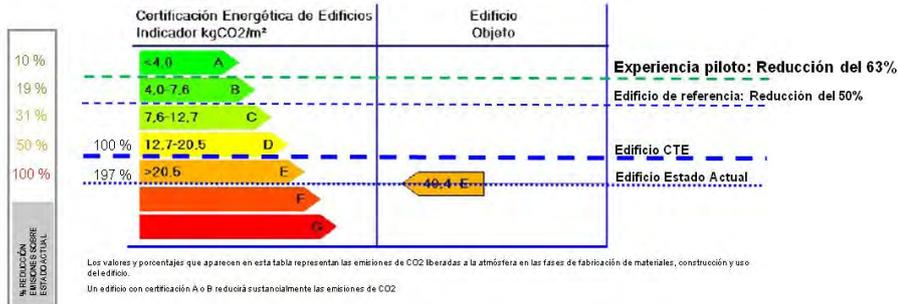
Con estas medidas, además de mejorar el confort ambiental en las viviendas, la certificación energética de los edificios (medida en KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) pasa de E y F al límite entre A o B, y se puede llegar a alcanzar una reducción del 63% de emisiones de CO<sub>2</sub> con relación al estado actual. La mejora es también cualitativa para la identidad del espacio público al actuar sobre las fachadas y muestra las posibilidades de renovación de su imagen urbana. El anteproyecto evalúa la posibilidad de localizar un ascensor en los edificios, una opción que los vecinos valorarán, probablemente, en función de los costes de mantenimiento.

Para la evaluación medioambiental se ha analizado el consumo y gestión de energía y agua, mediante los programas de simulación energética (LIDER, CALENER, ECOTEC), de soleamiento (ECOTEC) además del análisis de los materiales y residuos em-

pleados en la rehabilitación (TQC), el ciclo de explotación y el ciclo de vida de la edificación.

La arquitectura de la rehabilitación sostenible se ha considerado también desde la perspectiva de la mejora de la relación entre los edificios y la escena urbana. Se ha respetado la composición de los edificios en su diversidad, revalorizando los aspectos más significativos, especialmente en el edificio de los años 50. Las soluciones a los problemas de eficiencia energética consideran la utilización de elementos constructivos que aportan sombras en los huecos y galerías, como celosías móviles, parasoles y menorquinas en los huecos de formatos más tradicionales. En las cubiertas las pérgolas que sostienen los paneles fotovoltaicos integran vegetación en los bordes y expresan el cambio en la adecuación con el clima.

A



Esquema comparativo de la certificación energética y de resultados en la primera experiencia piloto. Fuente AUIA y SocietatOrgànica.



Vista actual y de la propuesta de rehabilitación de los edificios

## ORGANIZAN



## COLABORAN

