

**Informe nº:0615Y4PA/11 zk-ko txostena****ESKATZAILEAREN DATUAK / DATOS DEL PETICIONARIO:**

Izen-abizenak / Nombre...: Ibercal Morteros S.L.

Helbidea / Domicilio.....: C/ Carretera de Badajoz, km. 55,8

Herria / Localidad.....: 06200 Almendralejo (Badajoz)

ENTSEIATU BEHARREKO MATERIALA / MATERIAL A ENSAYAR:

TPA-0615-4. Fachada de arcilla aligerada con
revestimientos de mortero Thermocal®.

ESKATUTAKO ENTSEIUAK / ENSAYOS SOLICITADOS:

Modelización térmica en régimen dinámico.

Egiaztagiri honek laborategian jasotako laginei egindako entseiuen emaitzen azalpena jasotzen du, hortaz, Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza, Berrikuntza eta Kontrol Zuzendaritzako Etxegintzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiak bakar-bakarrik du berak entseiatutako ezaugarrien erantzukizuna, alegia, jasotako laginei dagozkienak eta ez produktuari oro har. Hemen biltzen diren ondorioek ez dituzte inolaz ere gainditzen entseiu horiek finkatzea uzten dituzten eragina eta esanahia.

Ez zaie egiaztagiri honen berririk emango hirugarrenei, eskatzaileak berariazko baimena eman ezean, lan horiek izaera partikular eta isilpekoa baitute.

Ez da agiri hau kopia edota argitaratzeko baimenik ematen, Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza Berrikuntza eta Kontrol Zuzendaritzako Etxegintzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiak idatzizko baimena eman ezean, entseiuaren lortutako emaitza guztiak jaso beharko direla bertan.

Egiaztagiri hau Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza, Herri Lan eta Garraio Sailak eta Euskal Herriko Unibertsitateak duten hitzarmenaren oinarri bezala, Etxegintzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiaren Arlo Termikoa lantzeko, igorri da..

Este certificado contiene la exposición de los resultados obtenidos en los ensayos a que han sido sometidas las muestras recibidas en el Laboratorio, por lo que el Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda, Innovación y Control del Gobierno Vasco responde únicamente de las características por él ensayadas, referidas a las muestras recibidas y no al producto en general, y las conclusiones que aquí se formulan no exceden, en ningún caso, el alcance y significado que permiten establecer dichos ensayos.

De este certificado no se facilitará información a terceros, salvo autorización expresa del peticionario, considerando estos trabajos de carácter particular y confidencial.

No se autoriza la transcripción y/o publicación de este documento sin el consentimiento por escrito del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda, Innovación y Control del Gobierno Vasco, debiendo reflejarse en ella todos los resultados obtenidos en el ensayo.

Este certificado se ha emitido en base al Convenio suscrito entre el Departamento de Vivienda, Obras Públicas y Transportes del Gobierno Vasco y la Universidad del País Vasco para el desarrollo del Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación..

Vitoria-Gasteiz, 2011ko otsailaren 16a
En Vitoria-Gasteiz, a 16 de febrero de 2011



ÍNDICE

1. OBJETO.	3
2. SOLICITANTE.	3
3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y EJECUCIÓN DEL ENSAYO.	3
4. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO UTILIZADOS.	4
5. DISPOSICIÓN DE MEDIDA.....	4
Descripción de la muestra.	4
Recintos de ensayo.	8
Condiciones del ensayo.....	10
Equipos de medida.....	13
6. PROCESO DE CÁLCULO Y EVALUACIÓN.	16
7. RESULTADOS.....	19
ANEXO.....	20
A.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	20
A.2 RESULTADOS POR ZONA CLIMÁTICA.....	24



1. OBJETO.

En el presente informe se recogen los resultados del ensayo de caracterización térmica en condiciones exteriores mediante una célula de ensayos PASLINK de una fábrica de arcilla aligerada revestida con Thermocal por ambos lados, siendo el espesor por el lado interior de 2,5 cm y por el exterior de 3 cm. La junta vertical de los bloques de arcilla va machihembrada y la junta horizontal discontinua, ejecutada con mortero gris M-15. La solución constructiva va revestida finalmente con un enlucido de masilla de cal de 2 mm por el lado interior y de 4 mm de mortero magro por el exterior.

El ensayo se ha realizado según los procedimientos descritos en el documento "Van Dick, H.A.L. and Van Der Linden, G.P. **PASLINK Calibration and component test procedures**. TNO, Delf, 1995" desarrollado por la red Europea PASLINK EEIG.

Las fechas de ejecución y acondicionamiento de la muestra son.

Recepción de material:	2 de junio de 2010 (fabrica) 9 de junio de 2010 (Thermocal) 30 de junio de 2010 (revestimientos)
Ejecución del levante:	2 de junio de 2010 (fabrica) 9 de junio de 2010 (Thermocal) 30 de junio de 2010 (revestimientos)
Acondicionado:	6 de julio a 23 de septiembre de 2010
Ensayo:	25 de septiembre a 12 de octubre de 2010

2. SOLICITANTE.

EMPRESA:	Ibercal Morteros S.L.
DIRECCIÓN:	C/ Carretera de Badajoz, km. 55,8 06200 Almendralejo (Badajoz)
PERSONA DE CONTACTO:	José Antonio Navia

3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA Y EJECUCIÓN DEL ENSAYO.

La ejecución del cerramiento y el ensayo se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco, sito en:

C/ Aguirrelanda, nº 10
01013 Vitoria – Gasteiz.

Todas estas actividades se han realizado en virtud del convenio suscrito por el Gobierno Vasco y la Universidad del País Vasco para el desarrollo del Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación.



Los materiales necesarios para la construcción del cerramiento han sido seleccionados y entregados por el solicitante del ensayo. La construcción de la muestra la ha realizado el solicitante, bajo la supervisión del personal del laboratorio los días 2, 9 y 30 de junio de 2010.

La muestra fue acondicionada entre el 6 de julio y el 23 de septiembre de 2010, en equilibrio con una atmósfera a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ Hr hasta su estabilización en peso.

El ensayo se ha realizado entre el 25 de septiembre y el 12 de octubre de 2010.

4. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO UTILIZADOS.

“Van Dick, H.A.L. and Van Der Linden, G.P. **PASLINK Calibration and component test procedures**. TNO, Delf, 1995”: documento de la red Europea PASLINK EEIG desarrollado para posibilitar el obtener una serie de datos del elemento ensayado que pueda ser analizado por métodos de identificación de parámetros en estado transitorio y obtener resultados fiables de los valores de transmitancia térmica, factor solar y capacidad térmica.

“Van Dick, H.A.L. and Téllez, F. **COMPASS Measurement and data analysis procedures**, WTCB-CSTC, Brussel, 1995”: documento de la red Europea PASLINK EEIG desarrollado gracias a un proyecto Europeo denominado COMPASS para posibilitar obtener resultados fiables de los valores de transmitancia térmica, factor solar y capacidad térmica fiables partiendo de los datos obtenidos de un ensayo PASLINK.

5. DISPOSICIÓN DE MEDIDA.

Descripción de la muestra.

Las dimensiones de la muestra han sido 2,7 x 2,7 metros (superficie de la muestra 7,3 m²). La muestra ha sido construida sobre un cerco de madera.

La muestra consiste en un cerramiento vertical compuesto por fábrica de bloques cerámicos de arcilla aligerada de 29 cm de espesor con junta vertical machihembrada y junta horizontal discontinua de mortero gris M-15 de 1 cm de espesor (ver figuras 1 y 2), revestido con 2,5 cm y 3 cm de Thermocal por el lado interior y el exterior, respectivamente (ver figuras 3 y 4) y con un enlucido final de 4 mm de mortero magro por la cara exterior (ver figura 5) y 2 mm de masilla de cal por la cara interior (ver figura 6).

El bloque cerámico de arcilla aligerada tiene unas dimensiones medidas de 192 mm de alto, 307 mm de largo y 290 mm de espesor. El peso del bloque es de 13,2 kg.

La muestra ha sido acondicionada en equilibrio con una atmósfera a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ Hr.

En las siguientes fotos se pueden observar las dimensiones principales del bloque y detalles del levante de la muestra.



Figura 1– Detalle de la unión vertical entre bloques



Figura 2 – Detalles de la junta horizontal



Figura 3 – Muestra antes de proyectar el Thermocal



Figura 4 – Proyección de Thermocal



Figura 5 – Raseo de mortero magro por la cara exterior



Figura 6 – Enlucido de masilla de cal por la cara interior

Recintos de ensayo.

El ensayo se ha realizado en una célula PASLINK. El objetivo principal estos equipos es medir los flujos de calor a través de la muestra con gran precisión, así como la evolución de las temperaturas superficiales y de ambiente asociadas. Al mismo tiempo se registran todos los parámetros del ambiente exterior que afectan a la muestra durante el periodo de estudio y los del interior de la sala de ensayos. La sala de ensayos es básicamente un calorímetro que permite cuantificar con fiabilidad los intercambios energéticos, tanto ganancias como pérdidas, entre el ambiente interior, controlado, y el exterior, libre, discriminándose los intercambios de calor a través del elemento a ensayar de los que se producen a través del resto de paredes del equipo.

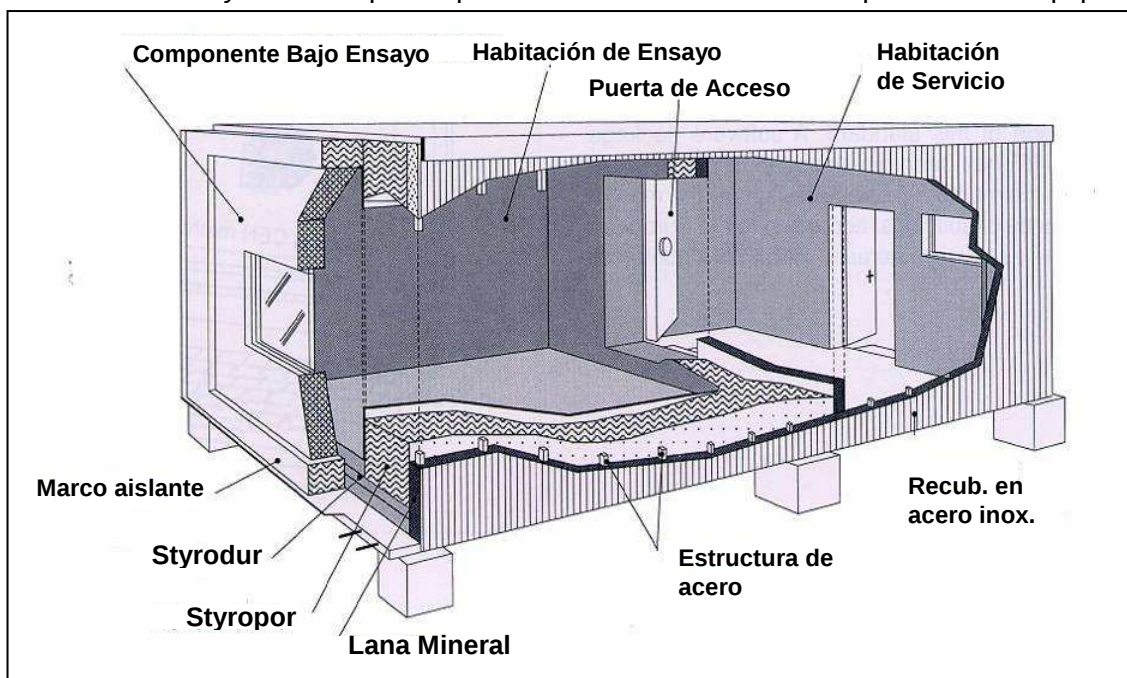


Figura 7- Estructura general de una célula de ensayos PASLINK. (Fuente: "The Passys Services Summary Report", European Comission)

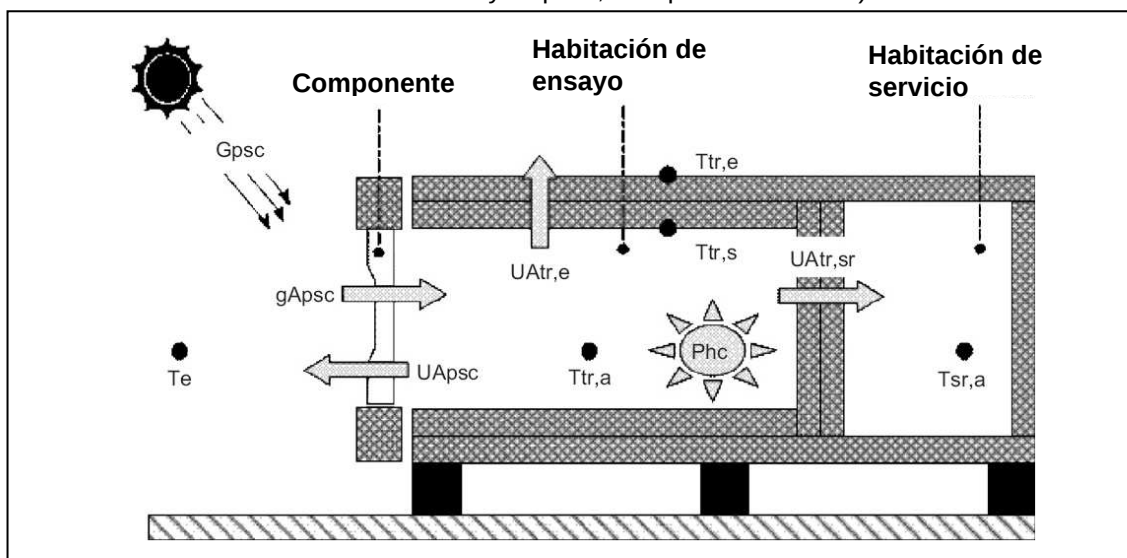


Figura 8 – Flujos de calor en una célula de ensayos PASLINK. (Fuente: "The Passys Services Summary Report", European Comission)

La ecuación en estado estacionario (5.1) muestra como calcular Q_{psc} , que es el calor que atraviesa el elemento constructivo a ensayar (psc = Passive Solar Component).

$$Q_{psc} = P_{hc} - (UA)_{tr,e} \times \Delta T_{tr,e} - (UA)_{tr,sr} \times \Delta T_{tr,sr} \quad (5.1)$$

Por tanto, conocido Q_{psc} , se puede determinar el valor UA y g del elemento constructivo bajo ensayo. Esta relación se muestra en la ecuación (5.2).

$$Q_{psc} = (UA)_{psc} \times \Delta T_{psc} - (gA)_{psc} \times G_{psc} \quad (5.2)$$

En el proyecto PASLINK se consiguió que de la ecuación (5.1) la única incógnita fuera Q_{psc} , y se pudiera cuantificar en régimen dinámico. Esto se ha logrado con la introducción de unos medidores de flujo de calor denominados HFS Tiles. Los HFS Tiles miden directamente el flujo de calor en cada instante a través de la envolvente, de forma que, empleando un adecuado patrón de la señal de excitación P_{hc} , potencia cedida o evacuada en el interior de la habitación de ensayos, Q_{psc} queda completamente definido.

En las figuras 9 y 10 puede apreciarse el movimiento y montaje de la muestra en la célula de ensayos.



Figura 9 – Movimiento de la muestra hacia la célula de ensayos PASLINK



Figura 10 – Muestra montada en la célula de ensayos PASLINK

Condiciones del ensayo.

En el esquema de la figura 11 se puede apreciar la disposición de la muestra.

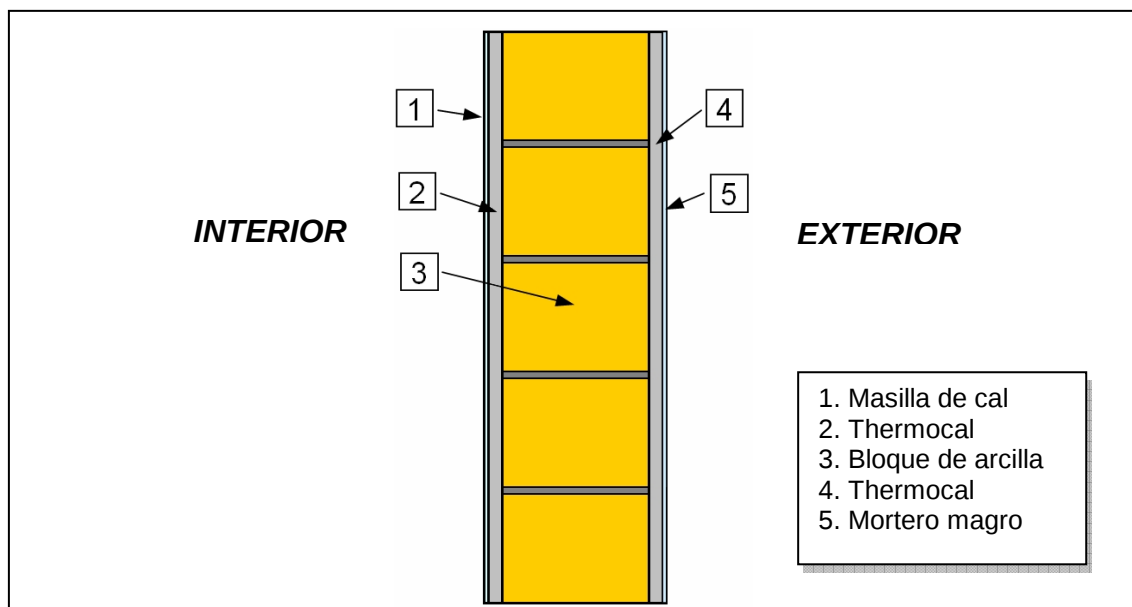


Figura 11 – Disposición de la muestra

La variable que se controla es la potencia cedida en el interior de la sala de ensayos. Dicha potencia es la suma del consumo de un ventilador, para la homogenización del ambiente interior, mas la potencia cedida por la resistencia calefactora. El ventilador

funciona el 100% del tiempo evitando la estratificación del aire en la sala de ensayos, asegurando un gradiente inferior a $0,5^{\circ}\text{C}$. Mientras, la resistencia se utiliza para generar una señal dinámica. En la figura 12 puede observarse la señal utilizada durante el ensayo de la muestra bajo estudio, así como el flujo medido por los fluxímetros de la envolvente de la celda de ensayos. La diferencia entre ambas señales corresponde al flujo de calor que está intercambiando la probeta.

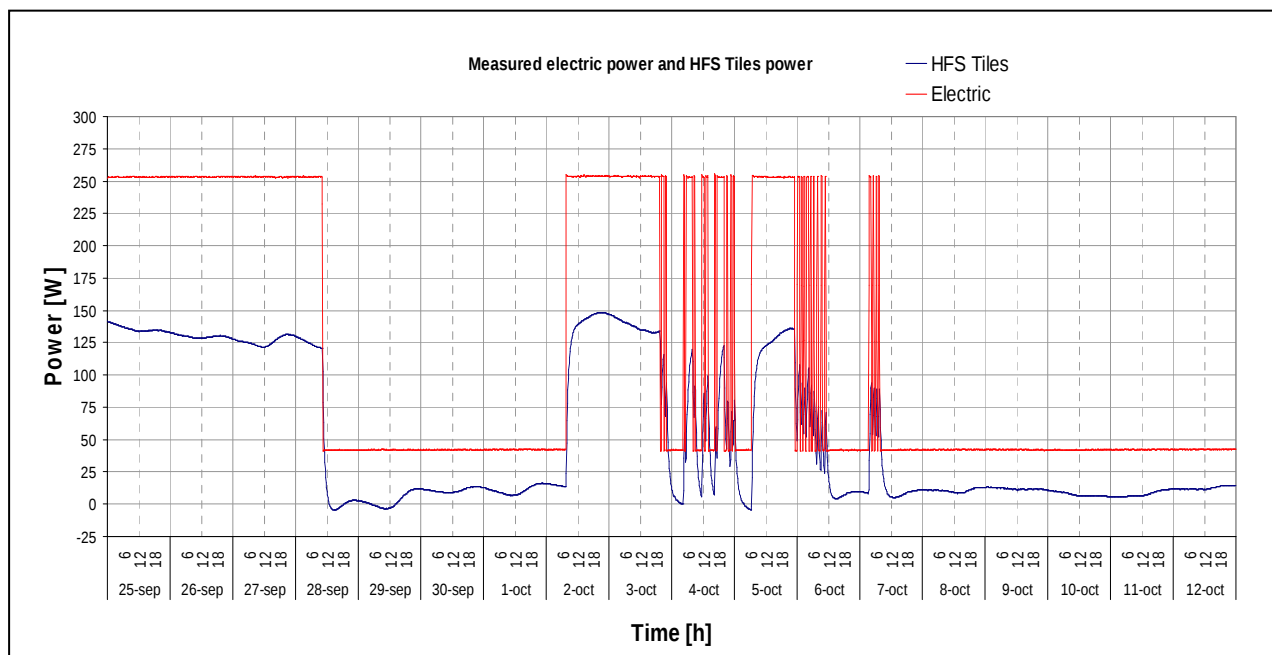


Figura 12 – Potencia introducida en la celda y flujo de calor a través de la envolvente durante el periodo de ensayo

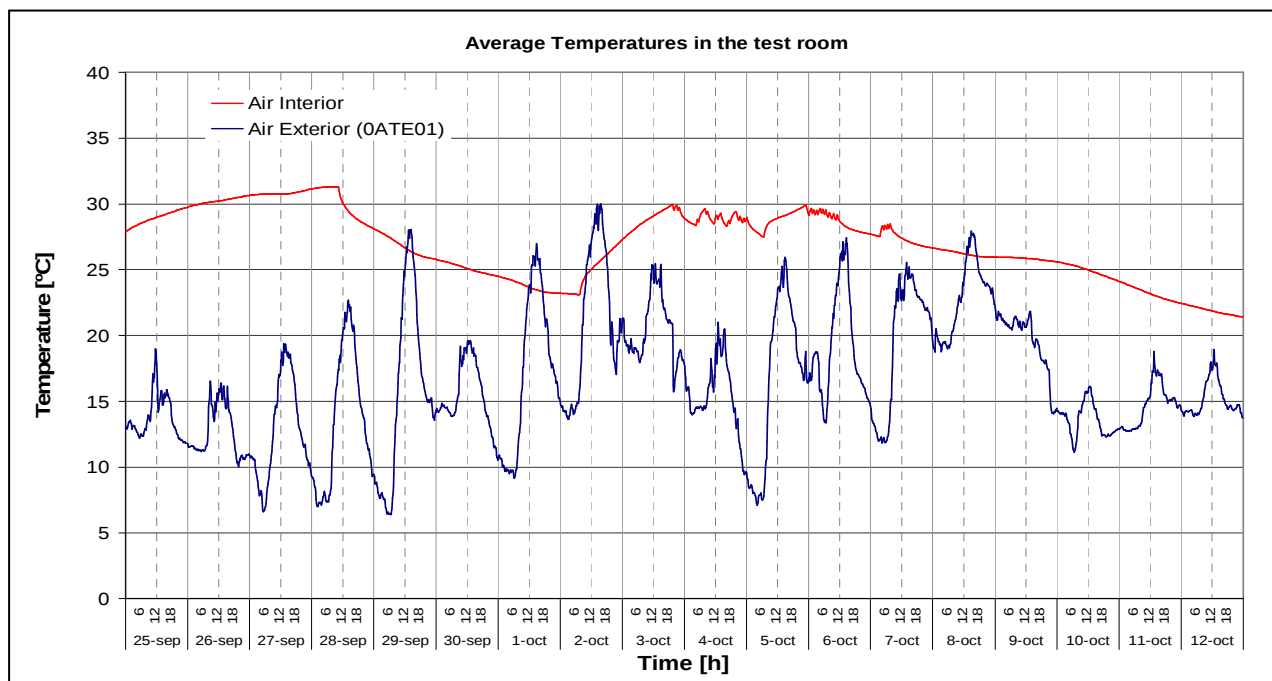


Figura 13 – Evolución de la temperatura interior de la sala de ensayo y del ambiente exterior durante el periodo de ensayo

En la figura 13 puede observarse la evolución de la temperatura interior (obtenida como promedio de las 7 sondas de temperatura del aire interior) y la temperatura exterior ventilada, medida frente a la muestra y con protección solar.

Estas son las principales señales que se utilizarán para el cálculo del modelo de Resistencias “R” y Capacidades “C” del muro ensayado.

En las figuras 14, 15, y 16, se muestran el resto de variables que registran las condiciones ambientales bajo las que estuvo sometida la probeta durante el periodo de ensayo. Es de destacar los datos de radiación global vertical incidente sobre la superficie exterior de la muestra y que participa en gran medida en el comportamiento energético de la solución de fachada.

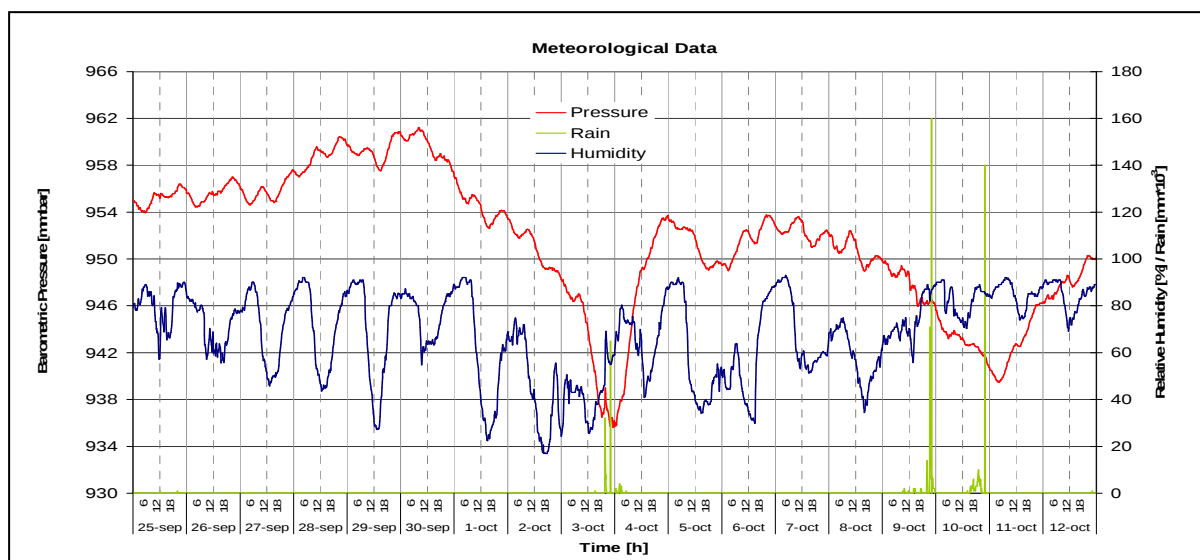


Figura 14 – Evolución de la presión y temperatura del ambiente exterior durante el periodo de ensayo

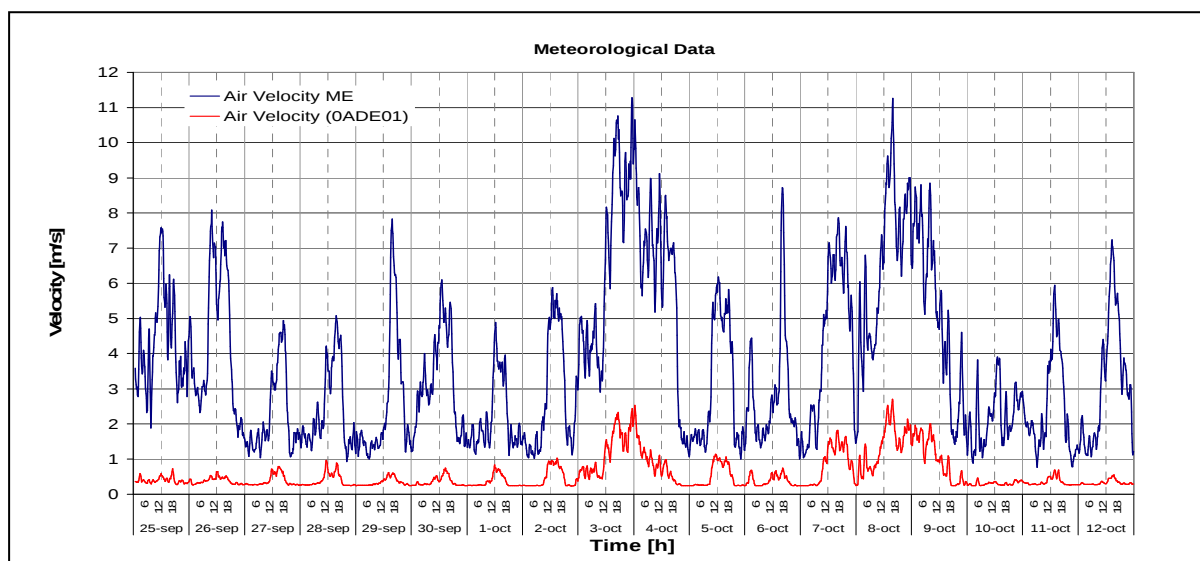


Figura 15 – Evolución de la velocidad de viento frente a la muestra y a 10 metros de altura durante el periodo de ensayo

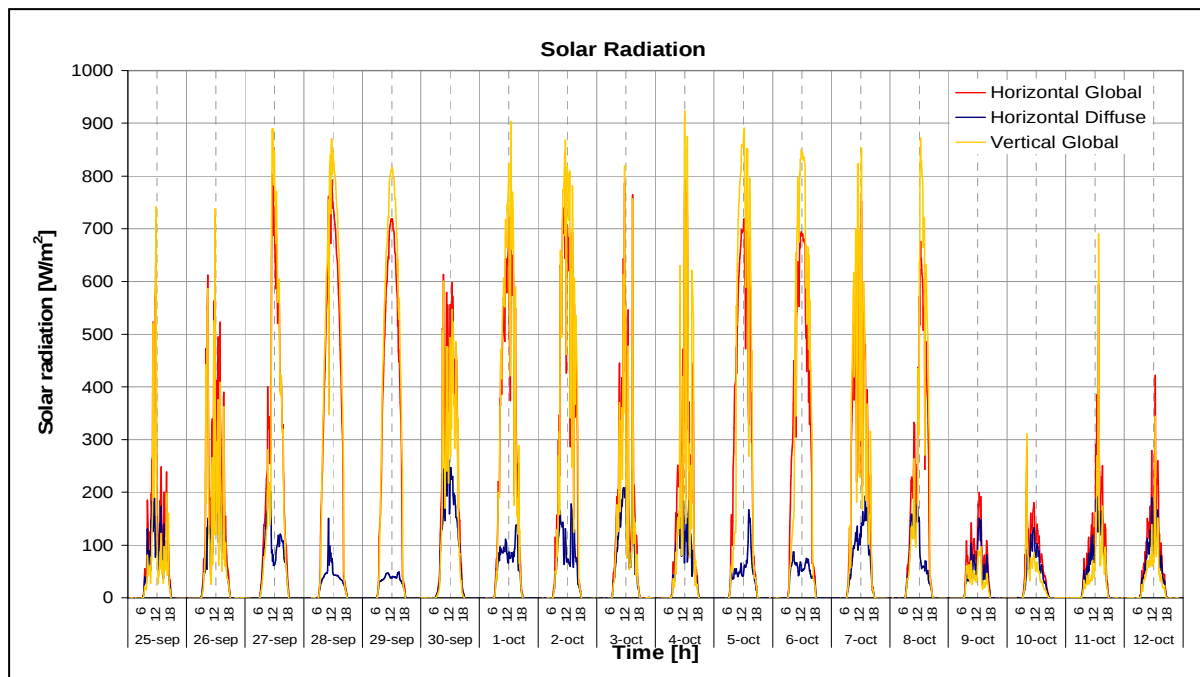


Figura 16 – Evolución de la radiación solar durante el periodo de ensayo

Equipos de medida

En la PASLINK se diferencian dos tipos de equipos de medida: los instrumentos fijos definidos por el documento **“PASLINK Calibration and component test procedures”**. Y los instrumentos que son introducidos en la muestra para poder analizar su comportamiento con mayor precisión. En dicho documento se recogen también los requisitos de precisión y calibración para el cumplimiento de los estándares de calidad de la red DYNASTEE, responsable de la acreditación de este tipo de ensayos.

INSTRUMENTOS FIJOS DE LA PASLINK:

El clima interno de la habitación de ensayos está monitorizada en detalle por:

- Vatímetro de potencia en sala de ensayos ($u_{QSP} = \pm 0,2 \%$).
- 8 sensores de temperatura (PT100) de aire protegidos contra la radiación ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 9 sensores de temperatura (PT100) superficial ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 257 medidores de flujo de calor (HFS Tiles). Estos sensores están conectados en serie y generan 21 señales ($u_{HFS} = \pm 5 \%$).
- Medida inicial y final en cada ensayo de las infiltraciones de aire ($u_{QSP} < 0,5 \%$)

Con el fin de monitorizar las condiciones reales de clima exterior lo más exactamente posible, se utilizan los siguientes sensores:

- 3 sensores de radiación solar: horizontal global, horizontal difusa y vertical global ($u_{Rad} = \pm 3 \%$).

- 5 sensores de temperatura (PT100) de aire ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 3 sensores de temperatura (PT100) superficial ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- Humedad relativa ($u_{RH} = \pm 2\%$).
- Velocidad y dirección del viento ($u_{a-vel} = \pm 1 \text{ m/s}$ / $u_{a-dir} = \pm 10^{\circ}$).

INSTRUMENTOS ESPECÍFICOS DE LA MUESTRA ENSAYADA:

La posición de los sensores en la muestra se puede apreciar en los gráficos adjuntos correspondientes a las capas indicadas en la figura 11. Se han registrado cinco temperaturas por capa, distribuidas de forma que se pudiera determinar el gradiente de temperaturas a lo largo de la muestra, en dirección longitudinal como transversal, a través de sus ejes centrales, de cara a evaluar la validez de la hipótesis de trabajo de flujo unidimensional, en todo momento. A continuación se realiza la descripción de la sensórica utilizada para la muestra.

Sensores de temperatura:

- 10 sensores de temperatura (PT100) superficial ($u_{PT100} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).
- 15 sensores de temperatura (Termopar Tipo T) ($u_{TC-T} = \pm 0,4^{\circ}\text{C}$).

Sensores de flujo:

- 2 sensores de flujo de calor para contraste ($u_{FLUX} = \pm 5\%$).

SUPERFICIE 1 y 5 (interior test room y exterior)

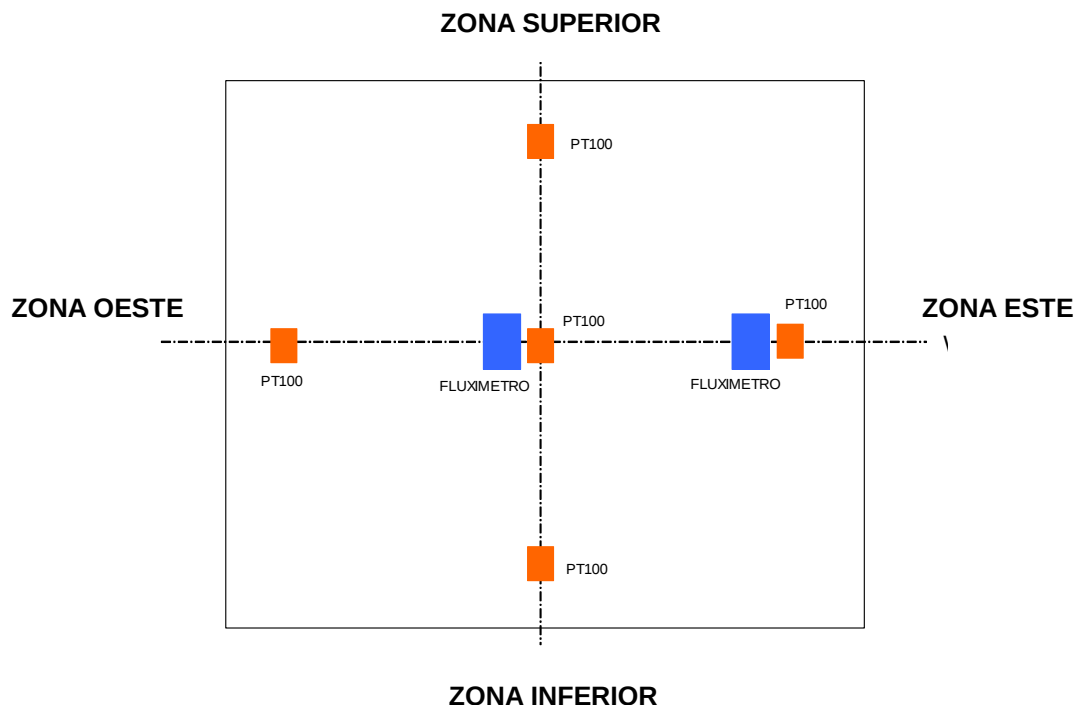


Figura .17 – Disposición de los sensores en las superficies 1 y 5

Los fluxímetros indicados en la figura 17 sólo corresponden a la superficie interior en contacto con el ambiente de la habitación de ensayo.

SUPERFICIE 2,3 y 4 (intermedias)

Debido a la complejidad de la colocación de la instrumentación de temperatura durante la ejecución de las diferentes capas, y por la alta posibilidad de rotura de los sensores tipo PT100 se instalaron termopares tipo T en las capas intermedias.

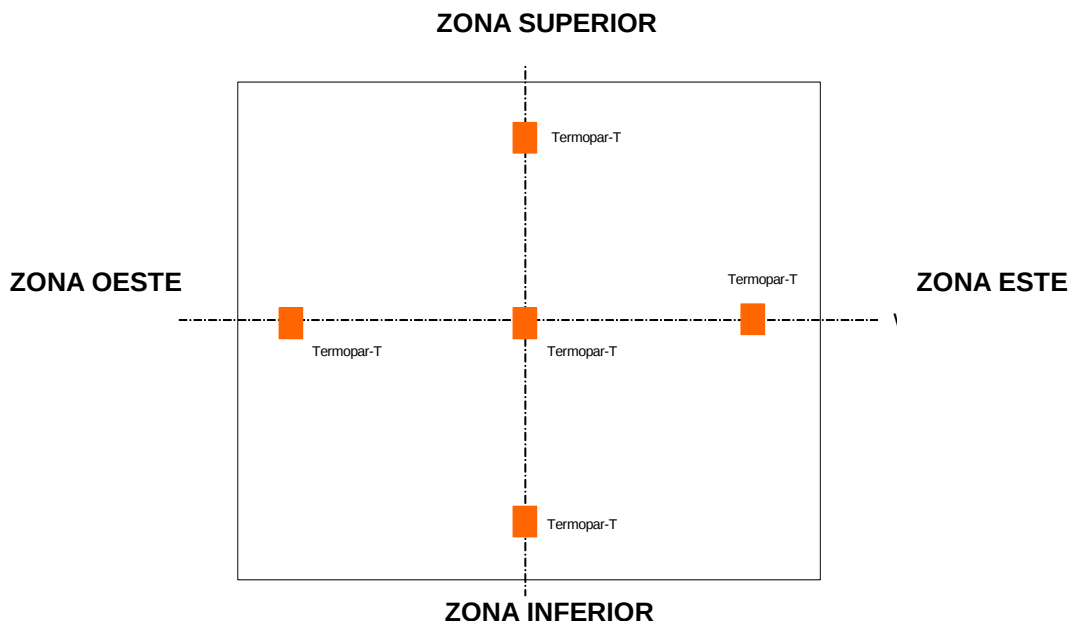


Figura 18 – Disposición de los sensores en las superficies intermedias 2,3 y 4

En la figura 19 se muestran los valores promedio para cada capa registrados durante el periodo de ensayo.

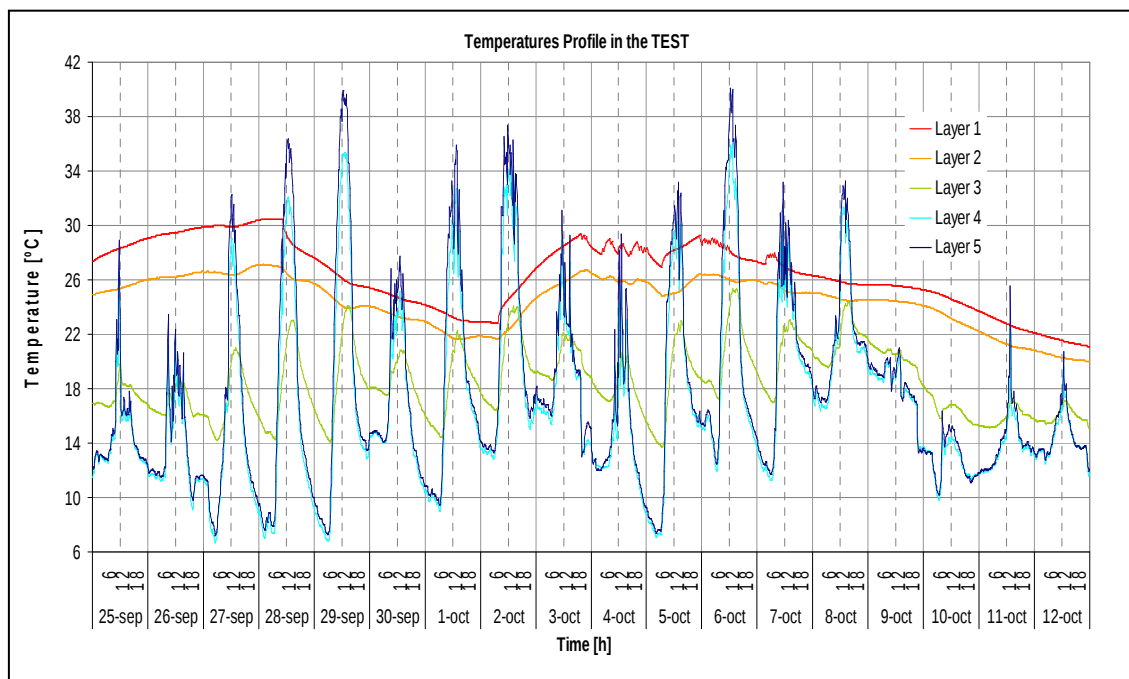


Figura 19 – Temperaturas registradas en la muestra durante el periodo de ensayo

6. PROCESO DE CÁLCULO Y EVALUACIÓN.

Las propiedades de la muestra a determinar se obtienen a través de un modelo de parámetros distribuidos, modelo RC. Dicho modelo es representativo del comportamiento térmico de la solución constructiva. La resolución de las ecuaciones indicadas en el apartado 5, en función del tiempo, se realiza mediante la identificación de parámetros a través de la aplicación del software de cálculo LORD 3.21. Tanto las herramientas como el procedimiento de cálculo han sido desarrollados por la red PASLINK.

En la figura 20 se indica el esquema simplificado del modelo RC planteado para el estudio de muestra de ensayo.

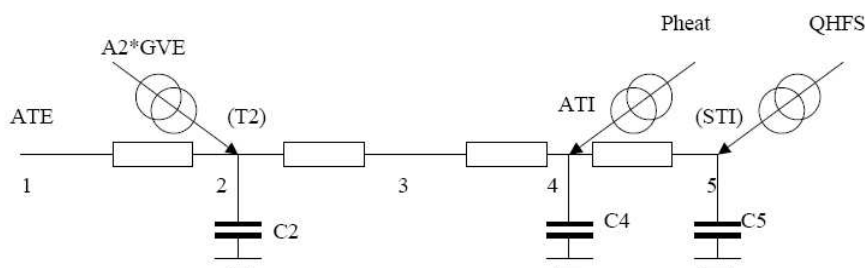


Figura 20 – Esquema del modelo RC del ensayo

Se ha empleado como funciones objetivo las temperaturas de aire en la sala de ensayos y en las dos superficies interiores del bloque de arcilla aligerada, superficies 2 y 3. El sistema de identificación utilizado emplea el método de Montecarlo y el método de “Downhill” para buscar el vector de resistencias y capacitancias térmicas que minimiza el error entre la función objetivo y la función equivalente obtenida a través del modelo.

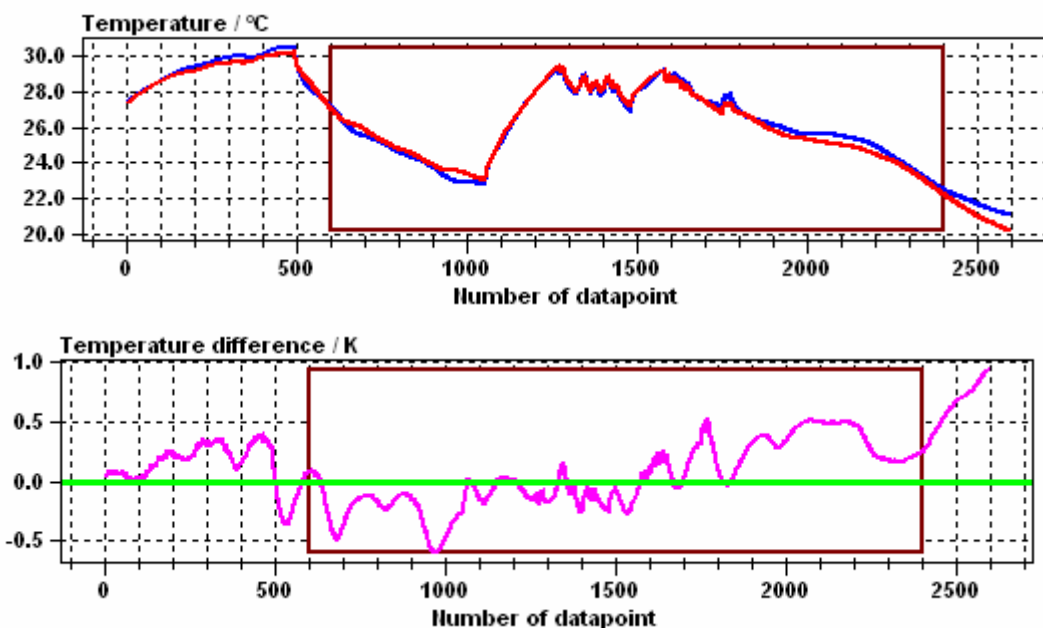


Figura 21 – Temperatura de aire de la sala de ensayos (línea azul) y la obtenida a través del modelo RC (línea roja), y residuos asociados.

El resultado se considera válido siempre que se obtenga un valor de residuos reducido, y no presentando, los mismos, una componente característica diferente al propio ruido de la instrumentación de medida. En la figura 21 se muestra el ajuste entre la curva para la temperatura de aire de la sala de ensayos obtenida por el modelo y la medida durante el ensayo así como el valor de los residuos obtenidos como la diferencia entre ambas curvas para cada punto de cálculo.

En las figuras 22 y 23 se muestran, respectivamente, las curvas correspondientes a las temperaturas de superficies 2 y 3.

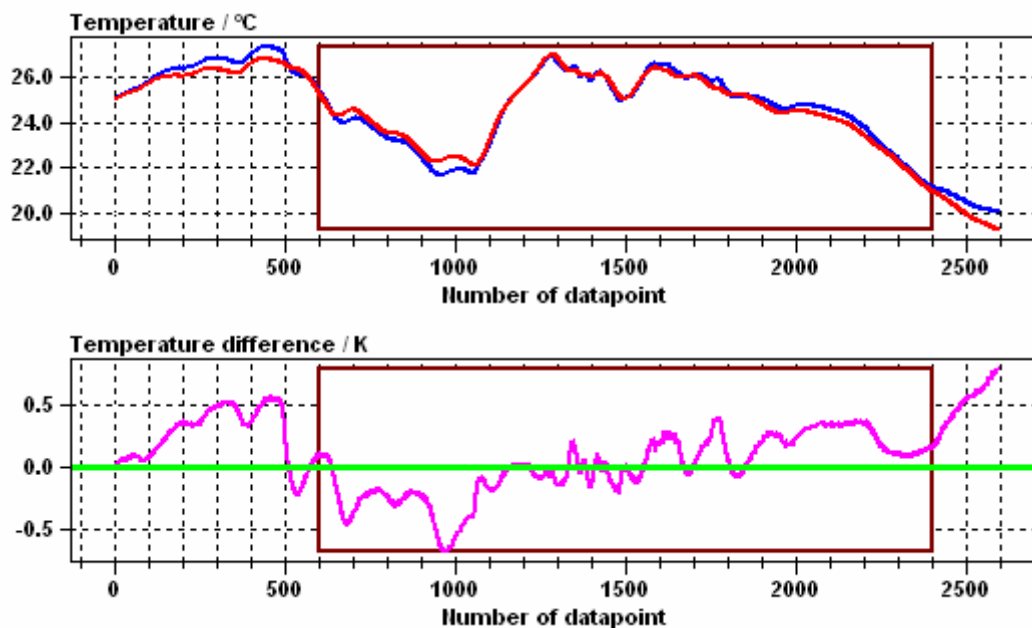


Figura 22 – Temperatura de la superficie 2 (línea azul) y la obtenido a través del modelo RC (línea roja), y residuos asociados.

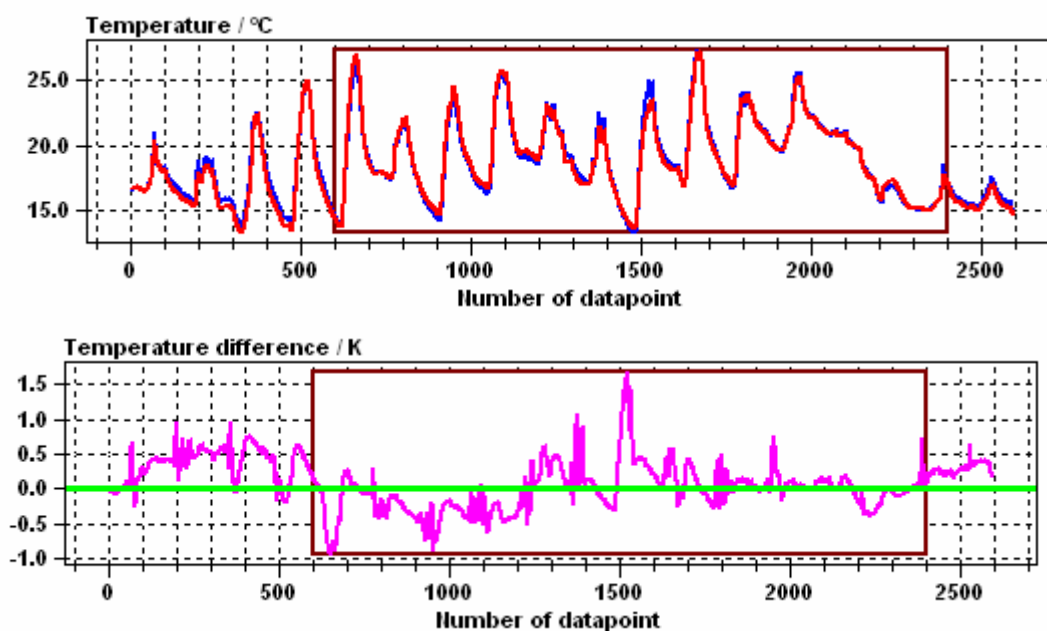


Figura 23 – Temperatura de la superficie 3 (línea azul) y la obtenido a través del modelo RC (línea roja), y residuos asociados.



La calidad de los resultados obtenidos permite aceptar las variables determinadas, resistencia térmica y capacidad térmica, como representativas de las propiedades de la muestra bajo estudio.

Por su parte la transmitancia térmica U ($W / m^2 \cdot K$) vendrá dada por la expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_{se}} \quad [6.1]$$

siendo

R_{si} es la resistencia térmica superficial interior, cuyo valor para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor horizontal es $0,13 \text{ m}^2 \cdot K / W$.

R_{se} es la resistencia térmica superficial exterior, cuyo valor para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor horizontal es $0,04 \text{ m}^2 \cdot K / W$.

Los valores de resistencias superficiales son los indicados por el CTE en su documento DB-HE 1.

7. RESULTADOS.

Cliente: Ibercal Morteros S. L.

Descripción de la muestra: La muestra bajo ensayo consiste en una fábrica de bloque cerámico de arcilla aligerada (307x192x290 mm) con junta vertical machihembrada y junta horizontal discontinua de mortero gris M-15 de 1 cm de altura y revestida con 2,5 cm y 3 cm de Thermocal por el lado interior y el exterior, respectivamente. Por la cara interior lleva un enlucido final de 2 mm de masilla de cal y por la cara exterior una capa final de 4 mm de espesor de mortero magro.

En la siguiente tabla se recogen los valores más importantes del ensayo:

Características del ensayo	Valor Medio	Valor Max	Valor Min	Var
T ^a aire sala ensayo (°C)	26,96	31,42	21,35	6,87
T ^a aire ambiente exterior (°C)	15,72	30,01	4,36	23,71
T ^a superficial 1 (interior) (°C)	26,46	30,49	21,10	6,18
T ^a superficial 2 (interior) (°C)	24,45	27,14	19,96	3,54
T ^a superficial 3 (interior) (°C)	18,44	25,34	13,72	6,43
T ^a superficial 4 (interior) (°C)	16,70	36,17	6,64	38,78
T ^a superficial 5 (interior) (°C)	17,55	40,06	7,23	48,33
Rad solar incidente (W/m ²)	259,2	923,8	-	-
Flujo de calor interior (W/m ²)	6,63	12,52	2,83	8,15

Duración del ensayo (días)	18
----------------------------	----

Con los datos obtenidos el valor de la resistencia y de la capacidad térmica del muro son:

$$R = 1,32 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$C = 483,6 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$$

El valor de la transmitancia térmica de la solución como fachada exterior, según la expresión [6.1] es:

$$U = 0,67 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

* La incertidumbre de las medidas se encuentra dentro del rango fijado por la normativa del ensayo PASLINK.

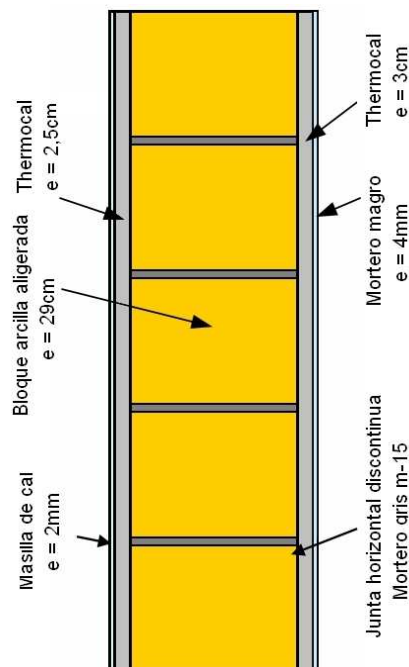
En Vitoria-Gasteiz, a 16 de febrero de 2011



César Escudero
Técnico de ensayos

Iván Flores
Director Técnico

El presente Informe no debe reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.





ANEXO

(ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO EN RÉGIMEN DINÁMICO)

En el presente anexo se calculan y comparan los consumos energéticos de la fachada en régimen dinámico frente al estado estacionario, empleando para ello condiciones exteriores reales.

Se ha escogido una ciudad tipo representativa de cada zona climática que determina el Código Técnico de la Edificación en su documento DB-HE 1. En la tabla A.1 se exponen las capitales de provincia escogidas para calcular los diferentes consumos energéticos.

Zona climática	Capital provincia
A4	Almería
A3	Málaga
B4	Sevilla
B3	Valencia
C4	Badajoz
C3	Granada
C2	Barcelona
C1	Bilbao
D3	Madrid
D2	Valladolid
D1	Vitoria
E1	Burgos

Tabla A.1- Capitales de provincia seleccionadas para el estudio energético

En el apartado A.1 se indica el procedimiento de cálculo seguido en el presente estudio aplicado a un mes y a una ciudad ejemplo. En el apartado A.2 se recogen los valores para cada zona climática, finalmente, en el apartado A.3 se resumen los resultados globales del estudio.

A.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Se ha trabajado con días tipo de cada mes obtenidos del software METEONORM. El cálculo se ha realizado para fachada con orientación sur. En la figura A.1 se muestran los datos de temperatura de aire exterior y radiación global sobre superficie vertical con orientación sur para el mes de enero en la ciudad representativa de la zona E1 (Burgos).

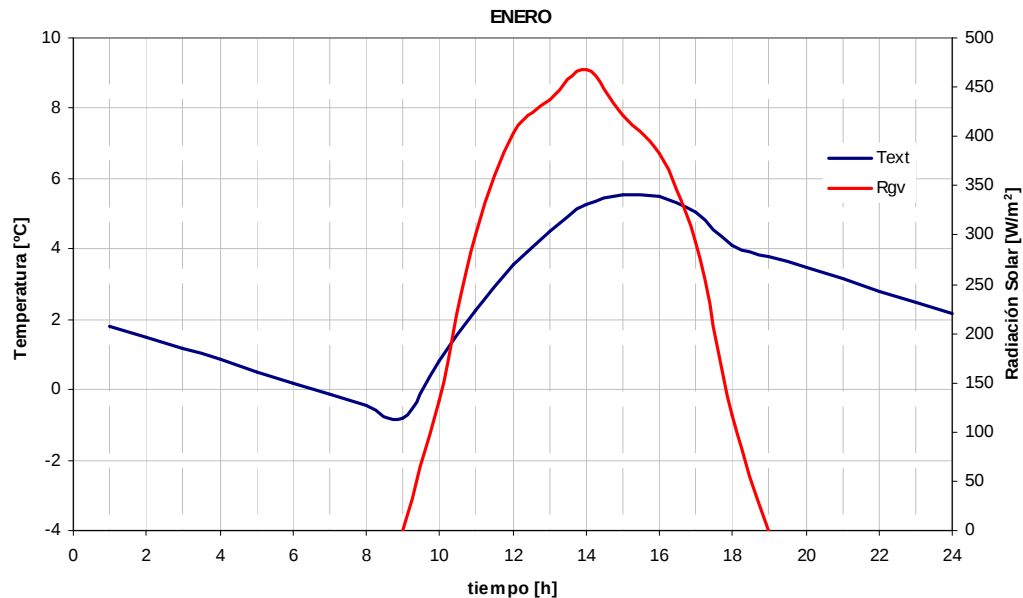


Figura A.1- Datos climáticos día tipo del mes de enero para Zona E1

Tiempo [h]	T _{ext} [°C]	R _{Gv} [W/m ²]
1	1,8	0
2	1,5	0
3	1,2	0
4	0,8	0
5	0,5	0
6	0,2	0
7	-0,1	0
8	-0,5	0
9	-0,8	0
10	0,8	131
11	2,3	300
12	3,6	403
13	4,5	437
14	5,3	468
15	5,6	421
16	5,5	382
17	5,0	292
18	4,1	117
19	3,8	0
20	3,5	0
21	3,1	0
22	2,8	0
23	2,5	0
24	2,2	0

Tabla A.2- Datos climáticos día tipo del mes de enero para Zona E1

Aplicando el modelo RC de la solución de fachada obtenido a través del ensayo, ver apartado 6 del informe, y fijando una consigna de temperatura de ambiente interior, según se explica en el apartado A.2, se obtienen los resultados de temperaturas en cada capa de la fachada que se muestran en la figura A.2. Las curvas Tc1 y Tc2, corresponde a las temperaturas superficiales de las caras exterior e interior, respectivamente, del bloque de arcilla aligerada.

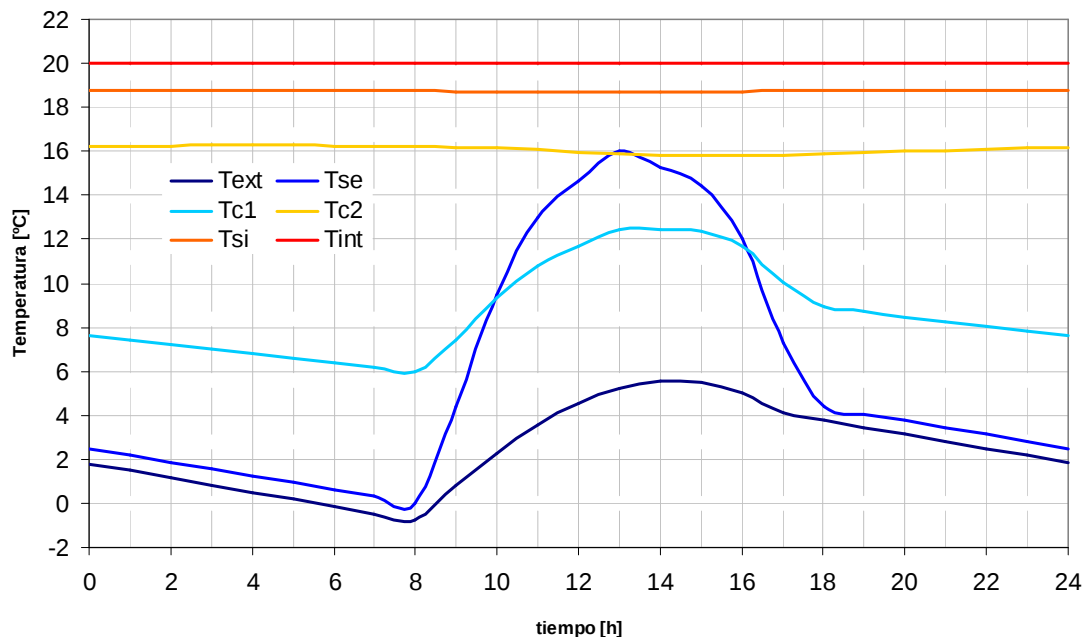


Figura A.2- Evolución de la temperatura en la solución de fachada para un día tipo del mes de enero para Zona E1

Tiempo [h]	T_{ext} [°C]	T_{se} [°C]	T_{c1} [°C]	T_{c2} [°C]	T_{si} [°C]	T_{int} [°C]	$T_{ext}-T_{int}$ [°C]	q_i [W/m ²]
0	1,81	2,49	7,63	16,21	18,80	20,00	18,19	-9,37
1	1,48	2,18	7,42	16,24	18,79	20,00	18,52	-9,38
2	1,16	1,87	7,21	16,26	18,79	20,00	18,84	-9,41
3	0,84	1,57	7,00	16,27	18,78	20,00	19,16	-9,45
4	0,51	1,25	6,79	16,27	18,78	20,00	19,49	-9,50
5	0,19	0,95	6,58	16,27	18,77	20,00	19,81	-9,56
6	-0,14	0,63	6,37	16,26	18,76	20,00	20,14	-9,63
7	-0,46	0,32	6,16	16,24	18,75	20,00	20,46	-9,71
8	-0,79	0,00	5,94	16,22	18,74	20,00	20,79	-9,79
9	0,83	4,38	7,44	16,19	18,73	20,00	19,17	-9,88
10	2,27	9,46	9,33	16,13	18,72	20,00	17,73	-9,95
11	3,58	12,96	10,79	16,05	18,71	20,00	16,42	-10,00
12	4,53	14,61	11,65	15,97	18,71	20,00	15,47	-10,02
13	5,25	16,02	12,44	15,90	18,71	20,00	14,75	-10,01
14	5,55	15,29	12,46	15,84	18,71	20,00	14,45	-9,96
15	5,51	14,41	12,37	15,81	18,72	20,00	14,49	-9,89
16	5,03	12,00	11,67	15,80	18,73	20,00	14,97	-9,80
17	4,10	7,29	10,05	15,82	18,75	20,00	15,90	-9,70
18	3,79	4,39	8,94	15,87	18,76	20,00	16,21	-9,61
19	3,46	4,07	8,69	15,93	18,77	20,00	16,54	-9,53
20	3,14	3,77	8,47	15,99	18,78	20,00	16,86	-9,47
21	2,82	3,46	8,25	16,05	18,78	20,00	17,18	-9,42
22	2,48	3,14	8,03	16,10	18,79	20,00	17,52	-9,39
23	2,16	2,83	7,82	16,14	18,79	20,00	17,84	-9,37
Σ							420,89	-231,80

Tabla A.3- Evolución de la temperatura en la solución de fachada para un día tipo del mes de enero para Zona E1

En la figura A.2 se puede apreciar como el gradiente de temperatura va desde la temperatura mínima correspondiente al aire exterior creciendo hasta el valor máximo de la temperatura de aire interior. Cabe destacar como la temperatura superficial exterior de la fachada supera a la temperatura entre la primera capa de mortero aislante y el bloque de arcilla aligerada durante las horas de radiación solar. También es representativo la atenuación de las oscilaciones de las temperaturas superficiales exteriores e interiores, atenuación que se produce gracias a la capacidad térmica de la solución de fachada como se aprecia en la reducida variación que experimentan las curvas de temperatura a partir de la capa Tc2, correspondiente a la superficie entre bloque de arcilla aligerada y capa interior de mortero aislante.

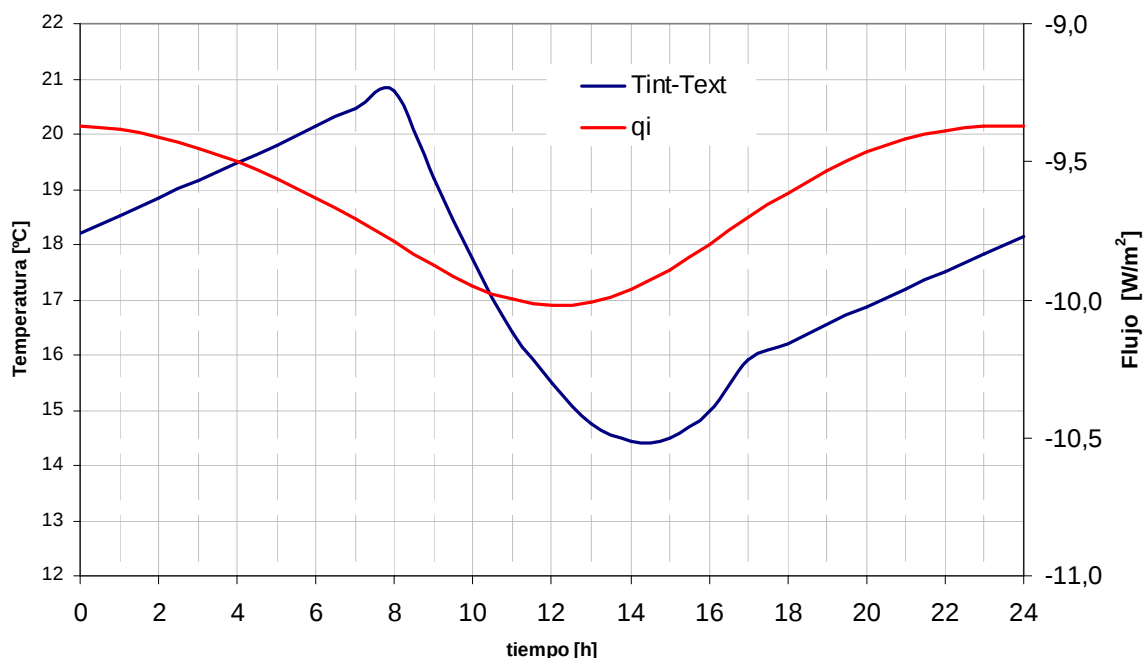


Figura A.3- Evolución de la diferencia de temperaturas entre ambientes interior y exterior y el flujo de calor en la superficie interior de la solución de fachada para un día tipo de la del mes de enero para Zona E1

En la figura A.3 se representa el flujo de calor que intercambia la fachada a través de su superficie interior, y que correspondería con la ganancia térmica de climatización, frente a la diferencia de temperaturas entre ambientes interior y exterior. Se aprecia como la demanda máxima de energía se produce hacia las 12h del día, cuando la situación de máxima diferencia de temperaturas se da lugar hacia las 8h, es decir, la fachada desfasa la onda de calor un intervalo de tiempo del orden de las 4h. De forma similar, la mínima demanda de energía se produce hacia las 23h, siendo la situación de menor diferencia de temperaturas la que se genera a las 14h. Esta asimetría entre máximos se debe a que la curva de temperaturas exteriores y radiación solar no son simétricas respecto al eje de tiempo.

La ganancia térmica diaria que presentaría la solución de fachada bajo estudio se obtendría de la integración de la curva de flujo de calor que atraviesa la superficie interior del muro, q_i (W/m^2), multiplicado por el intervalo de tiempo, ver ecuación (1).

$$C_{dia}^{din} = \int_0^{24} q_i(t) \cdot dt \cong \sum_{j=0}^{23} (q_{i_j} \cdot \Delta t) = \Delta t \cdot \sum_{j=0}^{23} q_{i_j} [Wh / m^2] \quad (1)$$

En el régimen dinámico el efecto de la capacidad del muro de acumular calor, y la interacción con la radiación solar, implica que la carga térmica asociada a la fachada difiera de la calculada mediante el uso de la transmitancia térmica directamente. Una forma de evaluar el efecto de dicha capacidad de acumulación de calor es empleando un coeficiente que represente el comportamiento promedio, a lo largo de un día, de la ganancia térmica respecto a las diferencias de temperaturas entre ambiente interior y exterior. A este coeficiente se le denominará transmitancia dinámica, U_{din} , y se obtiene mediante la expresión (2).

$$U_{din} = \frac{\int_0^{24} q_i(t) \cdot dt}{\int_0^{24} \Delta T_{ext}^{int}(t) \cdot dt} \cong \frac{\sum_{j=0}^{23} q_{i_j}}{\sum_{j=0}^{23} (\Delta T_{ext}^{int})_j} \quad (2)$$

A.2 RESULTADOS POR ZONA CLIMÁTICA

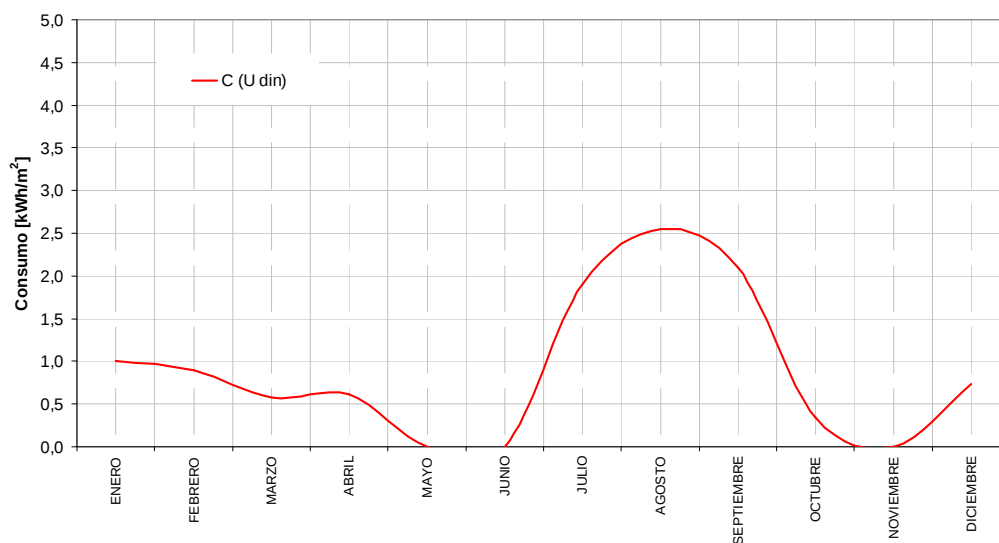
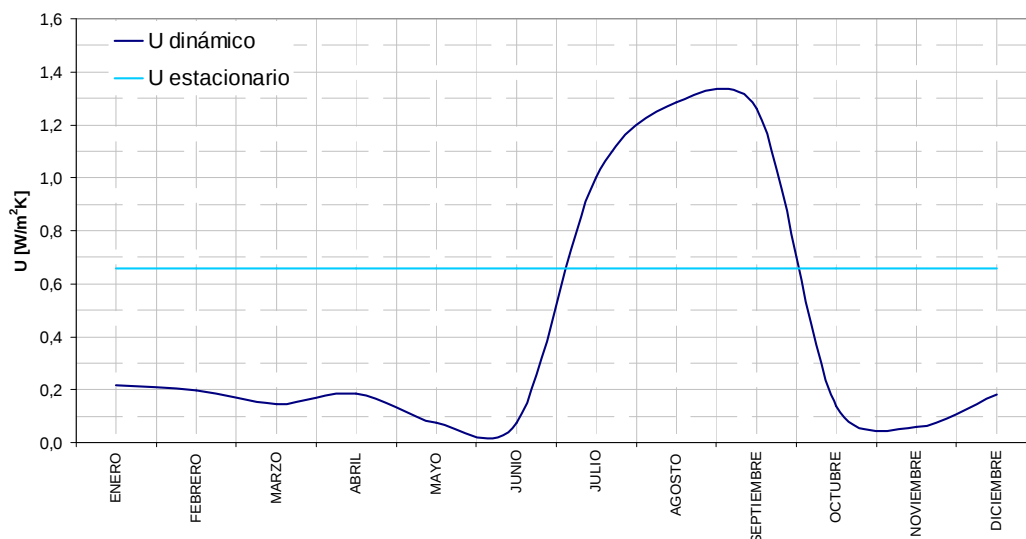
A continuación se exponen los resultados obtenidos en las 12 ciudades estudiadas y por ultimo, un resumen de todas las ganancias térmicas de calefacción y refrigeración. Como consigna de temperatura de ambiente interior se ha tomado el siguiente criterio:

- si $q_i < 0$ para todo $i = 0$ a 23 ; $T_{int} = 20^\circ C$ (ganancia calefacción),
- si $q_i > 0$ para algún $i = 0$ a 23 ; $20^\circ C < T_{int} < 24^\circ C$ (ganancia mixta),
- si $q_i > 0$ para todo $i = 0$ a 23 ; $T_{int} = 24^\circ C$ (ganancia refrigeración).

En los meses en los que se dan ganancias mixtas a lo largo del día de referencia, se determina la temperatura interior de consigna entre $20^\circ C$ y $24^\circ C$ que implica una ganancia integrada nula.

**ZONA A4 (ALMERÍA)**

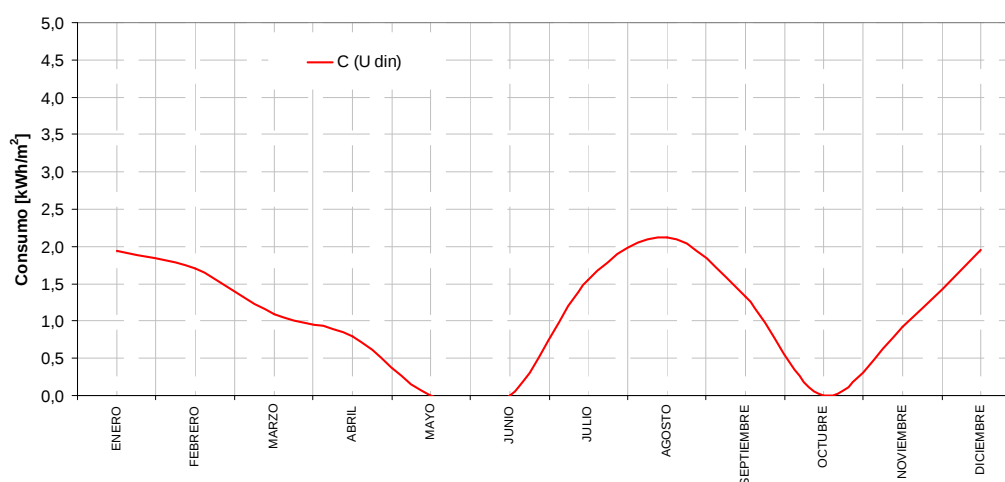
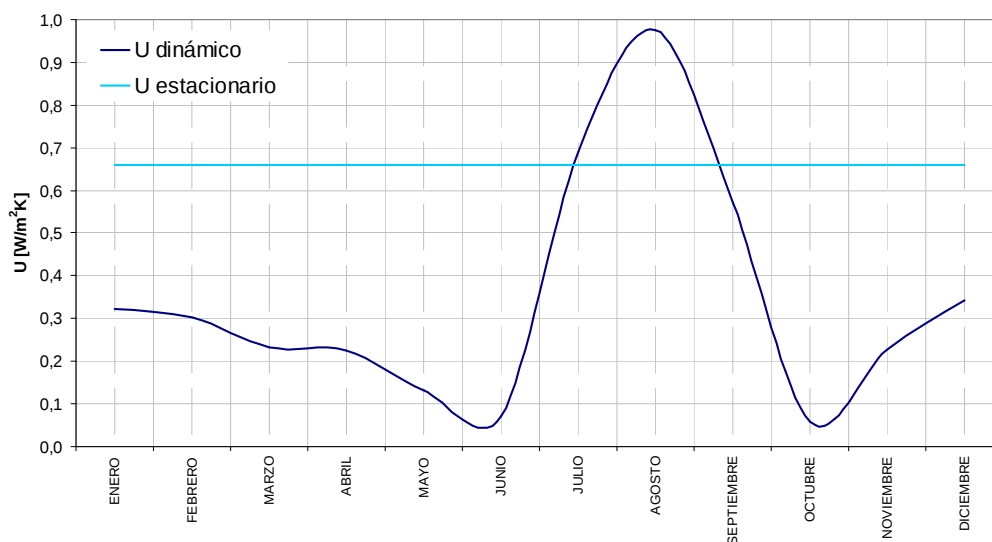
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,22	0,20	0,15	0,18	0,08	0,07	1,00	1,28	1,26	0,14	0,06	0,18	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	1,00	0,90	0,58	0,62							0,00	0,74	3,83
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)					0,00	0,00	1,89	2,55	2,10	0,35			6,89
Tint (°C)	20	20	20	20	21	24	24	24	24	24	20	20	





ZONA A3 (MÁLAGA)

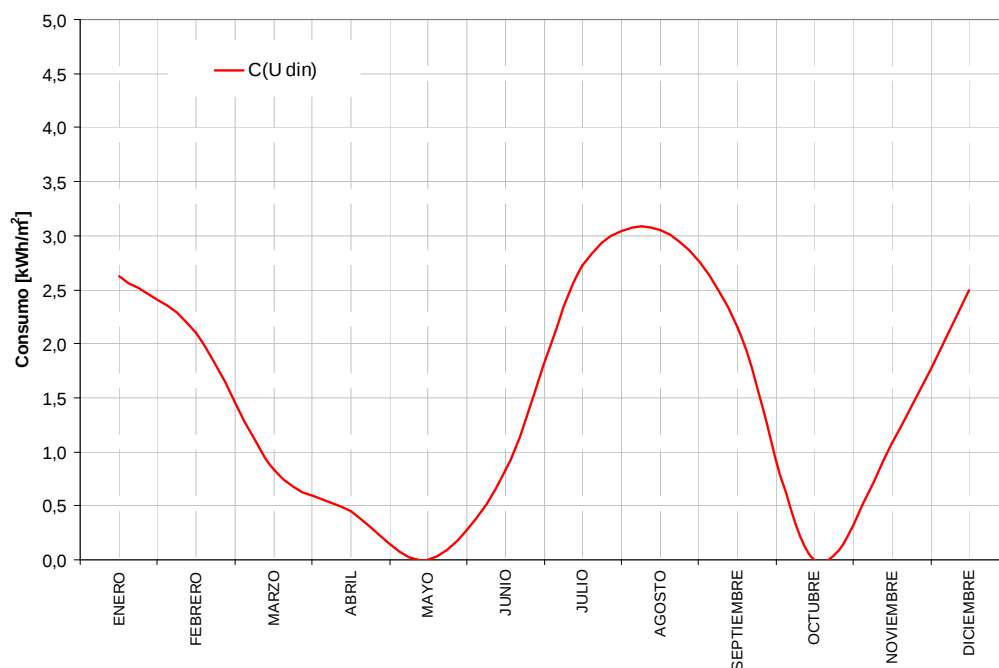
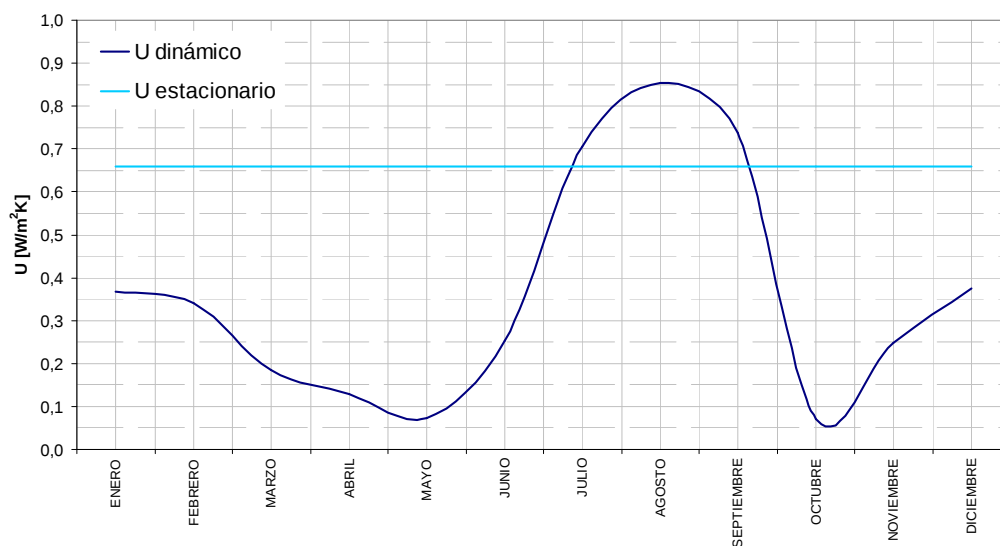
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,32	0,30	0,23	0,23	0,13	0,07	0,69	0,98	0,57	0,06	0,23	0,34	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	1,94	1,70	1,09	0,80							0,92	1,95	8,40
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)					0,00	0,00	1,56	2,13	1,33	0,00			5,01
Tint (°C)	20	20	20	20	22	24	24	24	24	24	20	20	





ZONA B4 (SEVILLA)

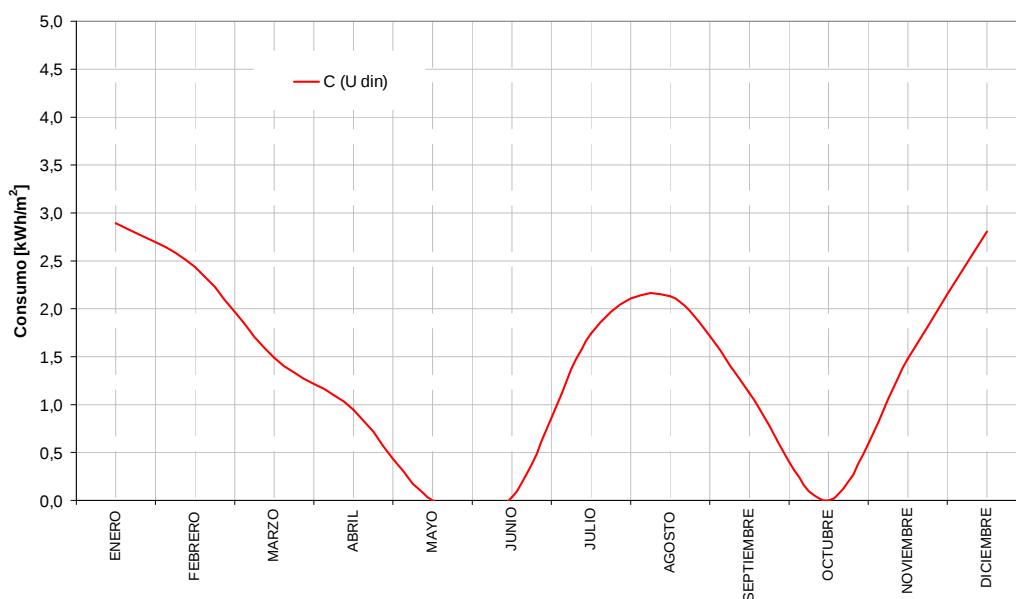
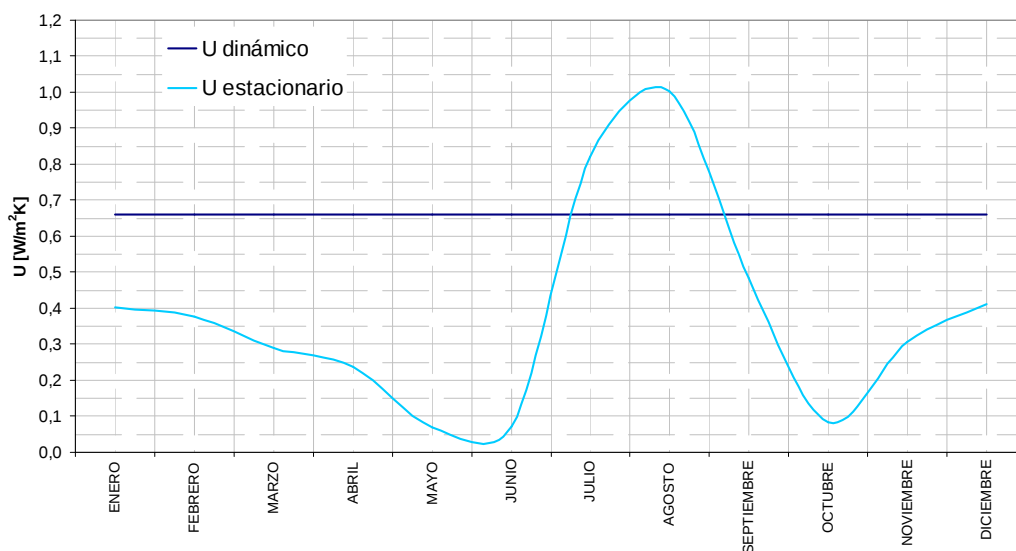
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,37	0,34	0,18	0,13	0,07	0,25	0,71	0,85	0,74	0,07	0,25	0,37	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	2,63	2,10	0,83	0,45							1,08	2,50	9,60
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)					0,00	0,83	2,72	3,05	2,16	0,00			8,76
Tint (°C)	20	20	20	20	23	24	24	24	24	24	20	20	





ZONA B3 (VALENCIA)

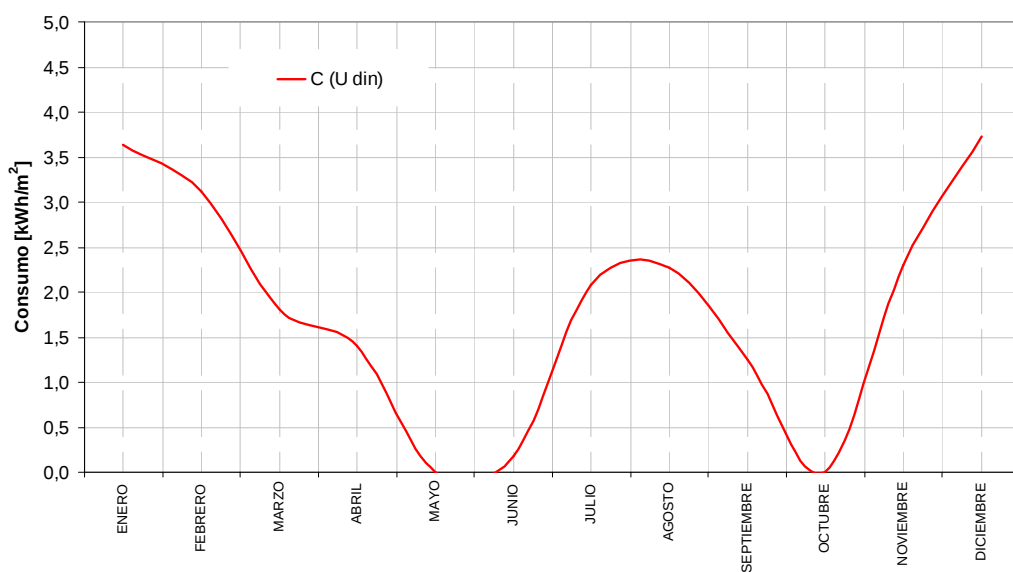
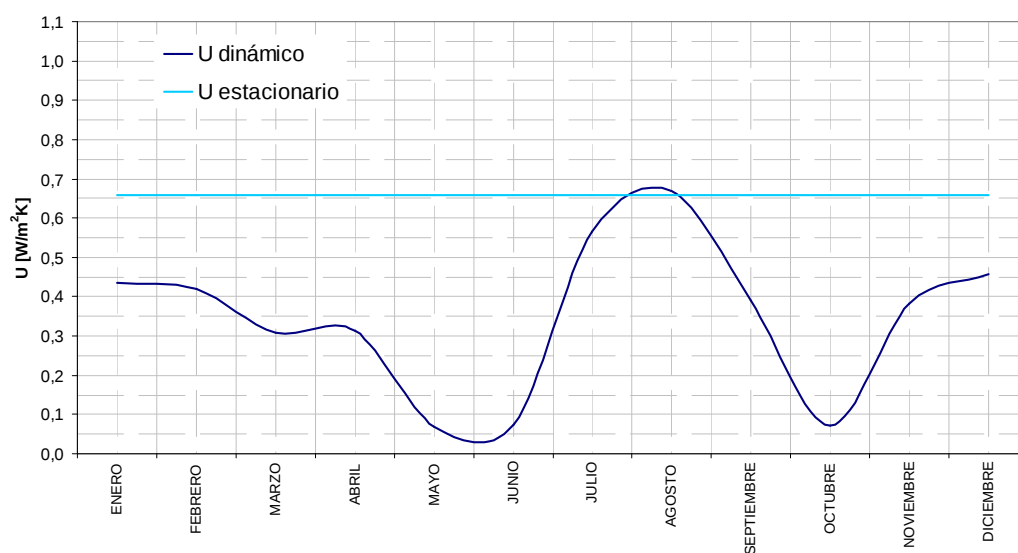
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,40	0,38	0,29	0,24	0,07	0,07	0,82	1,00	0,48	0,09	0,31	0,41	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	2,89	2,43	1,49	0,94							1,48	2,81	12,04
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)					0,00	0,03	1,74	2,14	1,12	0,00	0,00	0,00	5,03
Tint (°C)	20	20	20	20	21	24	24	24	24	23	20	20	





ZONA C4 (BADAJOZ)

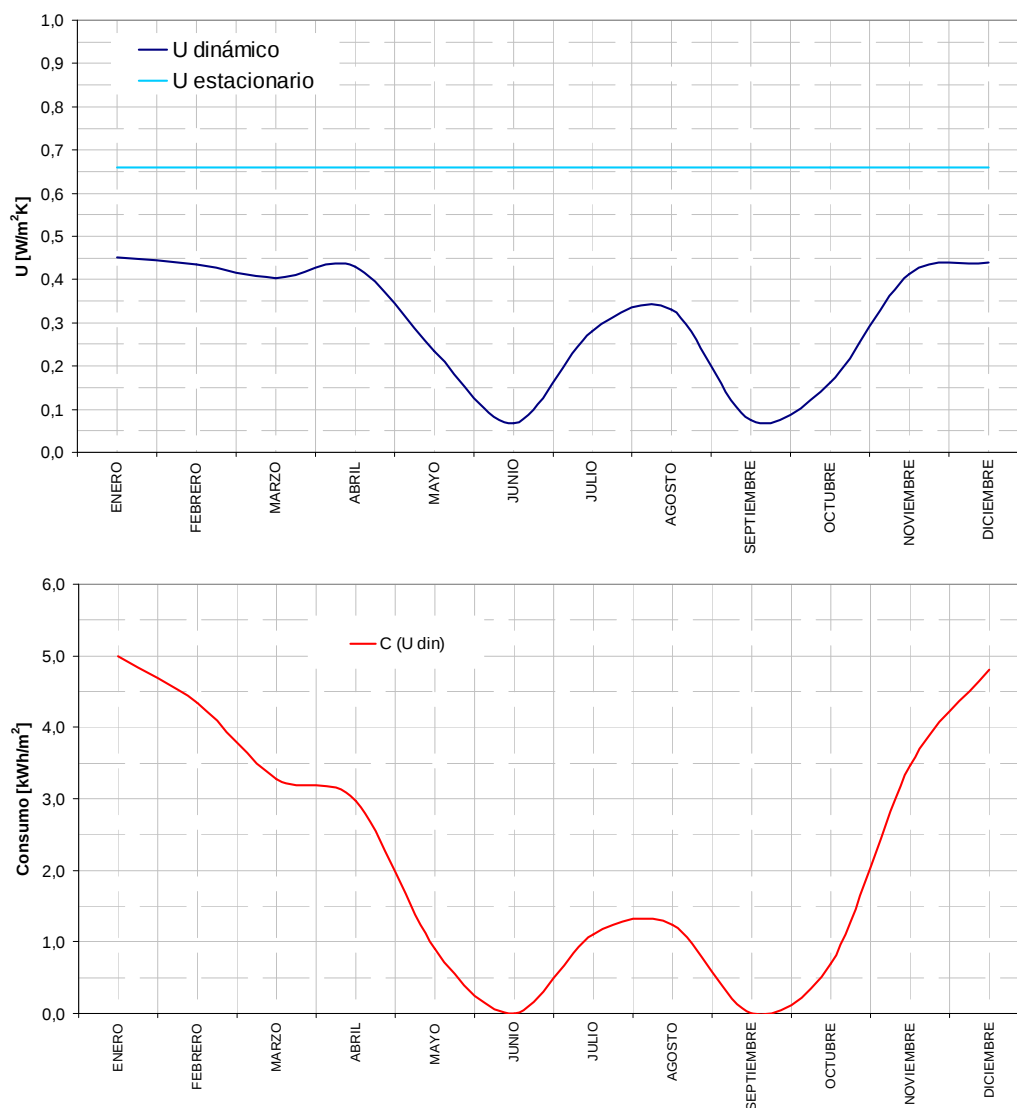
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,44	0,42	0,31	0,31	0,07	0,07	0,57	0,67	0,39	0,07	0,38	0,46	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	3,64	3,12	1,80	1,40							2,30	3,73	16,00
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)					0,00	0,18	2,07	2,28	1,24	0,00			5,77
Tint (°C)	20	20	20	20	21	24	24	24	24	22	20	20	





ZONA C3 (GRANADA)

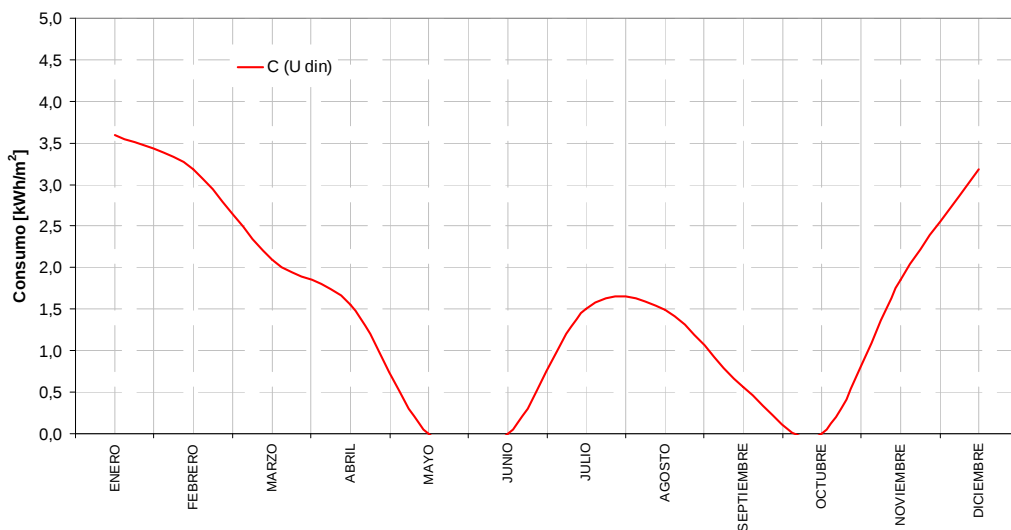
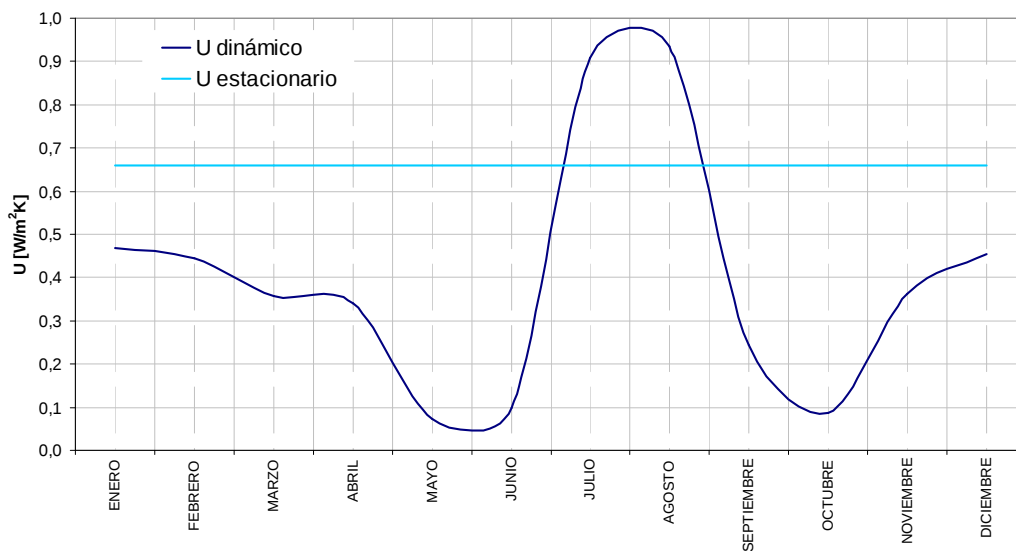
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,45	0,44	0,40	0,43	0,23	0,07	0,28	0,33	0,08	0,16	0,41	0,44	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	5,00	4,33	3,27	2,96	0,90					0,71	3,47	4,81	25,46
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)						0,00	1,10	1,24	0,00				2,34
Tint (°C)	20	20	20	20	20	22	24	24	24	20	20	20	





ZONA C2 (BARCELONA)

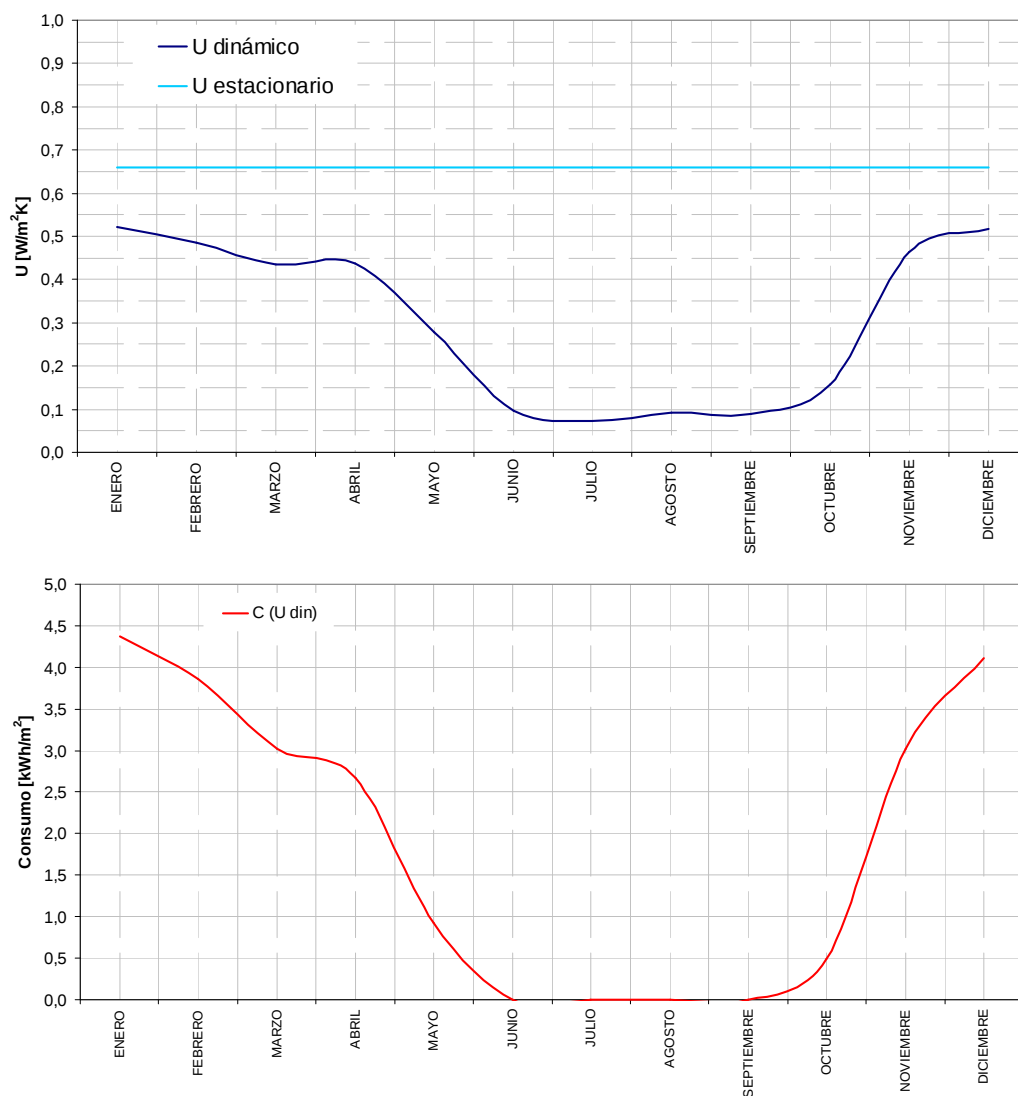
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,47	0,44	0,36	0,34	0,07	0,10	0,91	0,93	0,24	0,09	0,36	0,45	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	3,59	3,18	2,09	1,56	0,00						1,86	3,18	15,45
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)						0,00	1,50	1,49	0,56	0,00	0,00	0,00	3,55
Tint (°C)	20	20	20	20	20	23	24	24	24	22	20	20	





ZONA C1 (BILBAO)

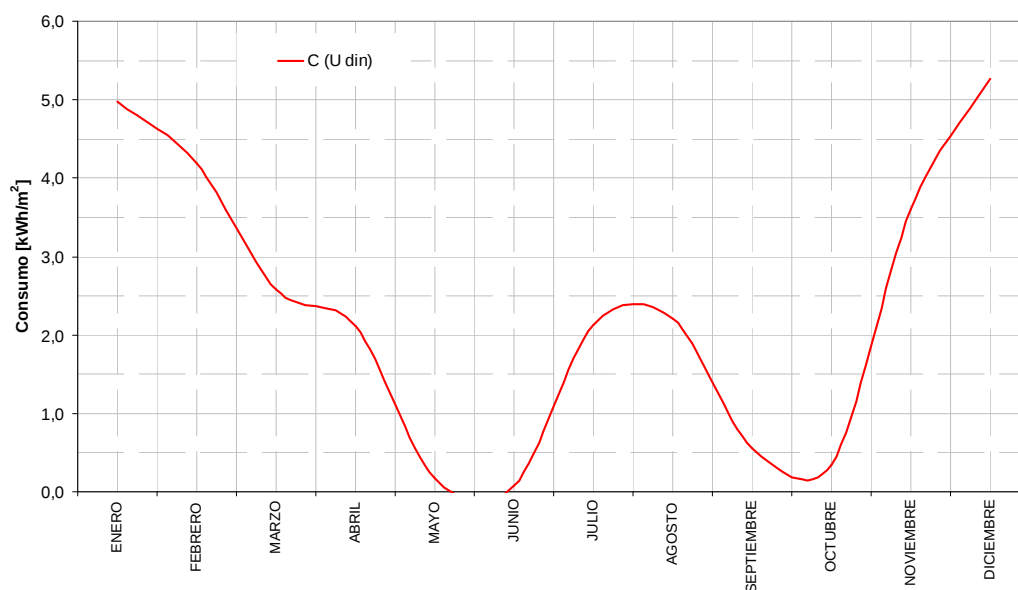
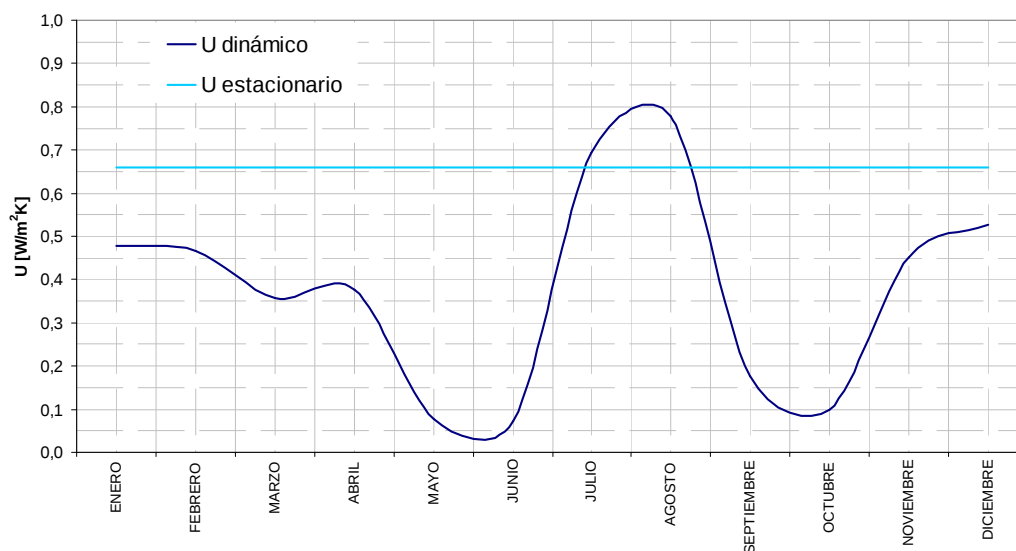
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,52	0,49	0,43	0,44	0,28	0,10	0,07	0,09	0,09	0,16	0,46	0,52	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	4,37	3,86	3,02	2,66	0,93					0,49	3,02	4,11	22,46
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)						0,00	0,00	0,00	0,00				0,00
Tint (°C)	20	20	20	20	20	20	23	24	22	20	20	20	





ZONA D3 (MADRID)

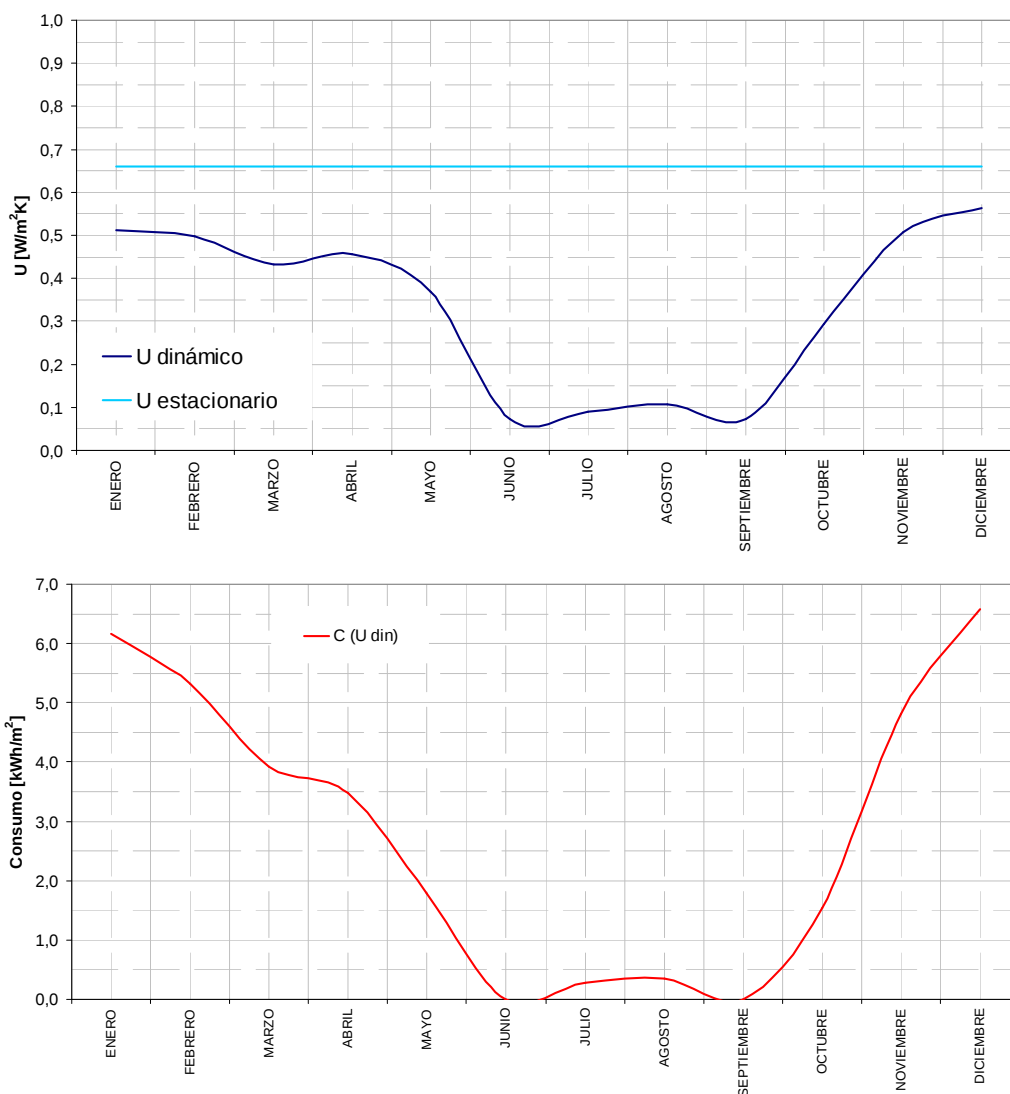
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,48	0,47	0,36	0,38	0,08	0,07	0,69	0,78	0,18	0,10	0,45	0,53	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	4,98	4,19	2,58	2,12	0,18					0,35	3,61	5,27	23,27
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)						0,08	2,13	2,21	0,55				4,98
Tint (°C)	20	20	20	20	20	24	24	24	24	20	20	20	





ZONA D2 (VALLADOLID)

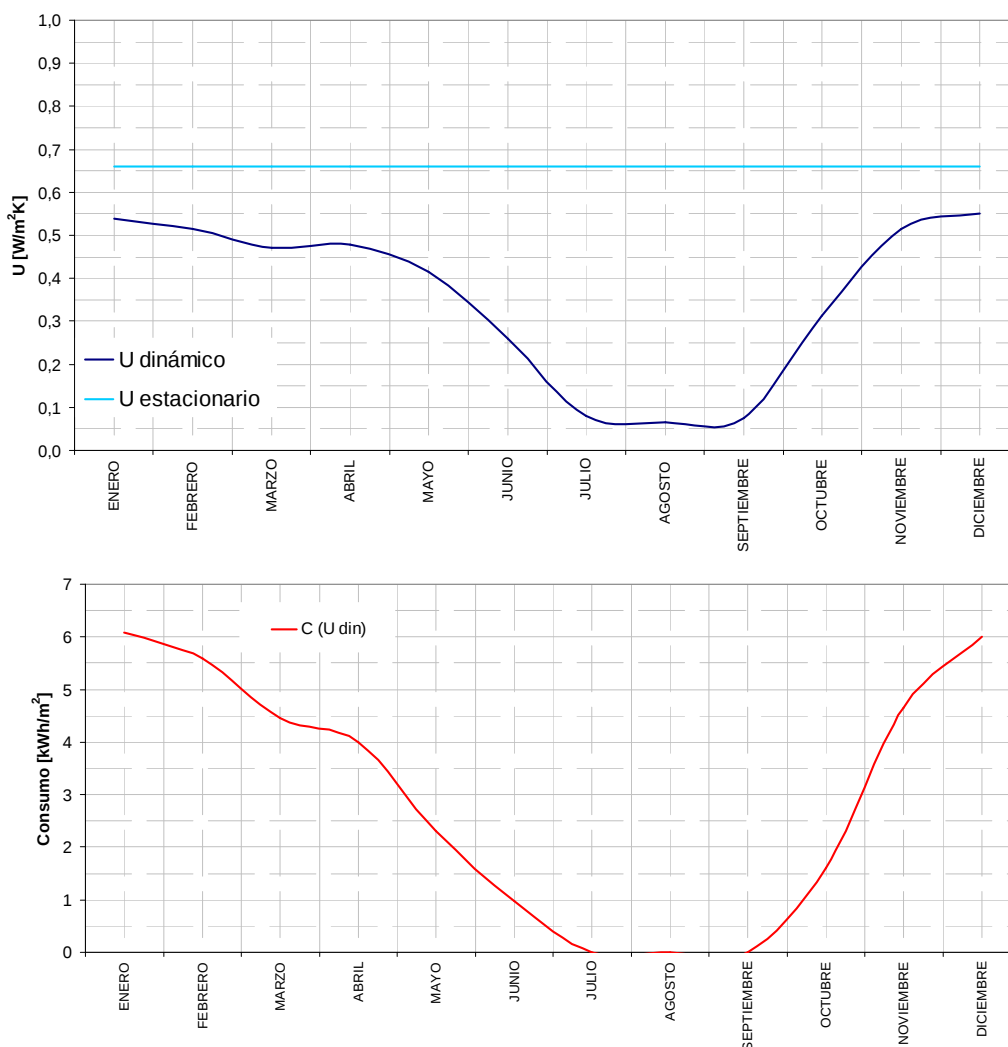
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,51	0,50	0,43	0,46	0,37	0,07	0,09	0,11	0,07	0,29	0,51	0,56	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	6,16	5,32	3,92	3,48	1,79					1,54	4,81	6,58	33,60
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)						0,00	0,28	0,36	0,00				0,64
Tint (°C)	20	20	20	20	20	20	24	24	22	20	20	20	





ZONA D1 (VITORIA)

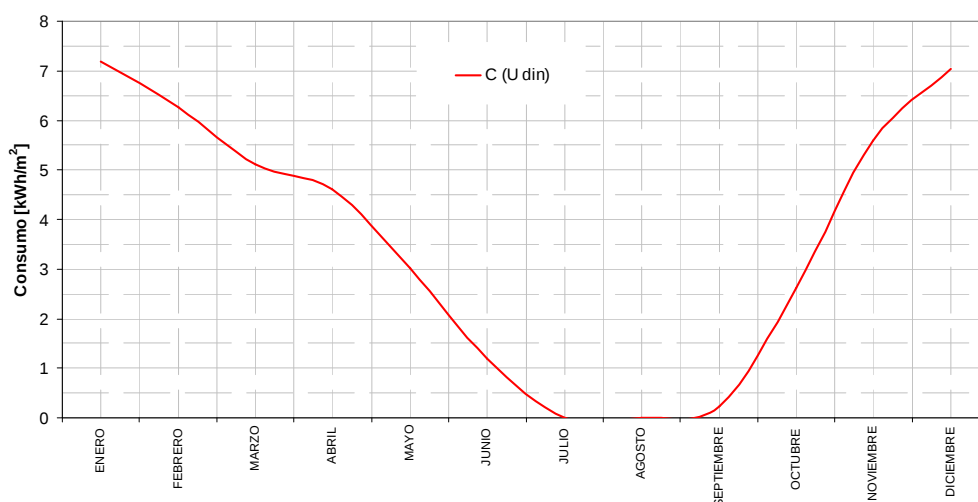
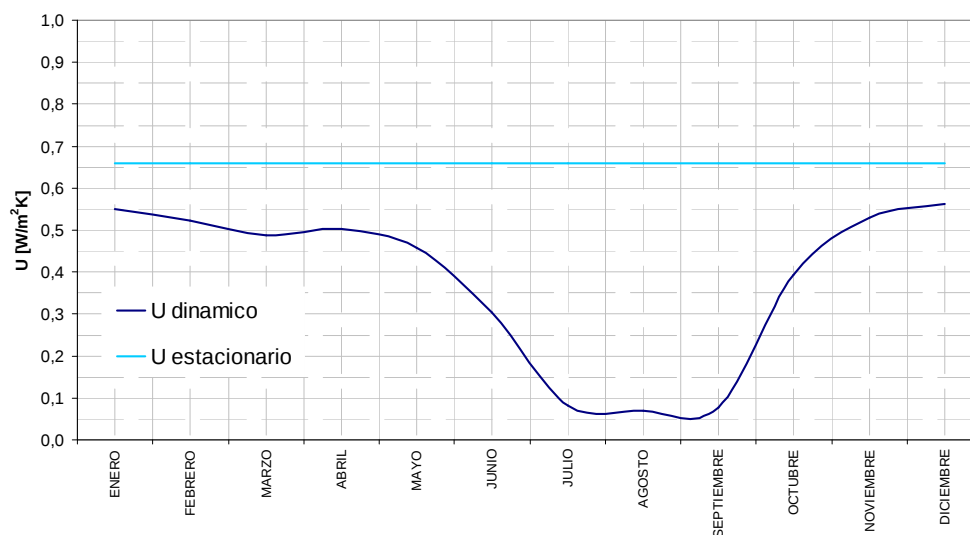
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,54	0,51	0,47	0,48	0,42	0,26	0,08	0,07	0,07	0,31	0,51	0,55	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	6,09	5,59	4,45	3,99	2,31	0,97				1,61	4,65	6,01	35,66
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)							0,00	0,00	0,00				0,00
Tint (°C)	20	20	20	20	20	20	22	23	21	20	20	20	





ZONA E1 (BURGOS)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
U dinámico (W/m ² K)	0,55	0,52	0,49	0,50	0,46	0,30	0,08	0,07	0,08	0,39	0,53	0,56	
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² mes)	7,19	6,27	5,12	4,60	3,01	1,19			0,22	2,62	5,60	7,04	42,85
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² mes)							0,00	0,00					0,00
Tint (°C)	20	20	20	20	20	20	22	22	20	20	20	20	



A.3 RESULTADOS GENERALES

A continuación se muestra un resumen de las ganancias de climatización calculadas para cada una de las ciudades seleccionadas como representativas de las diferentes zonas climáticas.

ZONA CLIMÁTICA	A4	A3	B4	B3	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Ganancia calefacción (U _{din}) (kWh/m ² año)	3,83	8,40	9,60	12,04	16,00	25,46	15,45	22,46	23,27	33,60	35,66	42,85
Ganancia refrigeración (U _{din}) (kWh/m ² año)	6,89	5,01	8,76	5,03	5,77	2,34	3,55	0,00	4,98	0,64	0,00	0,00
Ganancia total (U _{din}) (kWh/m ² año)	10,72	13,41	18,36	17,07	21,77	27,80	19,00	22,46	28,25	34,24	35,66	42,85

