



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER
CURSO 2011 - 2012

**ESTUDIO COMPARATIVO
DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS
PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS FACHADAS
DE UN EDIFICIO DE USO DOCENTE
DESDE EL CRITERIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTOR: RAÚL BRIONES LLORENTE

TUTOR: EDUARDO MONTERO GARCÍA

ÍNDICE

1.	Título. Autor. Tutor	2
2.	Resumen / <i>Abstract</i>	3
3.	Metodología, plan de trabajo y objetivos	4
3.1.	Metodología y plan de trabajo	4
3.2.	Objetivos	5
4.	Revisión del estado del arte	6
4.1.	<i>Zero net energy building</i>	6
4.2.	<i>Ventilated wall</i>	6
4.3.	<i>Ventilated façade</i>	7
5.	Descripción del edificio	10
5.1.	Situación del edificio	10
5.2.	Descripción funcional	10
5.3.	Memoria constructiva	17
5.4.	Aspecto exterior	21
6.	Modelización energética del edificio. Estado actual	24
6.1.	Descripción	24
6.2.	Base de datos	25
6.3.	Opciones	28
6.4.	Modelización 3D	30
6.5.	Sistema	44
7.	Modelización energética del edificio. Variantes del estado actual	47
7.1.	Zona climática E1. Orientación Sur	47
7.2.	Zona climática E1. Orientación Este	47
7.3.	Zona climática E1. Orientación Oeste	47
7.4.	Zona climática C2. Orientación Norte	48
7.5.	Zona climática C2. Orientación Sur	48
7.6.	Zona climática C2. Orientación Este	48
7.7.	Zona climática C2. Orientación Oeste	49
7.8.	Zona climática A4. Orientación Norte	49
7.9.	Zona climática A4. Orientación Sur	49
7.10.	Zona climática A4. Orientación Este	50
7.11.	Zona climática A4. Orientación Oeste	50
8.	Modelización energética del edificio. Aislamiento por el interior	51
8.1.	Zona climática E1. Orientación Norte	51
9.	Modelización energética del edificio. Variantes del aislamiento por el interior	54
9.1.	Zona climática C2. Orientación Norte	54
9.2.	Zona climática A4. Orientación Norte	54
10.	Modelización energética del edificio. Aislamiento intermedio	55
10.1.	Zona climática E1. Orientación Norte	55
11.	Modelización energética del edificio. Variantes del aislamiento intermedio	58
11.1.	Zona climática C2. Orientación Norte	58
11.2.	Zona climática A4. Orientación Norte	58
12.	Modelización energética del edificio. Aislamiento por el exterior	59
12.1.	Zona climática E1. Orientación Norte	59
13.	Modelización energética del edificio. Variantes del aislamiento por el exterior	63
13.1.	Zona climática C2. Orientación Norte	63
13.2.	Zona climática A4. Orientación Norte	63
14.	Análisis de los resultados	64
14.1.	Zona climática E1	65
14.2.	Zona climática C2	74
14.3.	Zona climática A4	83
15.	Conclusiones	92
15.1.	Zona climática E1	92
15.2.	Zona climática C2	94
15.3.	Zona climática A4	96
15.4.	Conclusiones generales y recomendaciones	98
16.	Bibliografía	101
Anexo.	Información complementaria	105

1. TÍTULO. AUTOR. TUTOR.

Título del Trabajo de Fin de Máster.

Estudio comparativo de soluciones constructivas para la rehabilitación de las fachadas de un edificio de uso docente desde el criterio de la eficiencia energética.

Autor del Trabajo de Fin de Máster.

Raúl Briones Llorente.

Tutor académico del Trabajo de Fin de Máster.

Eduardo Montero García.

2. RESUMEN / *ABSTRACT*.

Resumen.

Se plantea la rehabilitación energética de un edificio de uso docente centrándose en la mejora de sus fachadas. Para ello se estudiará mediante simulación la ejecución de tres soluciones constructivas desde el interior, la zona interna y el exterior de las mismas. Para realizar la modelización del edificio y su simulación energética se emplearán los programas informáticos *LIDER* y *CALENER VYP*.

Se evaluará la disminución de la demanda energética de calefacción y refrigeración, la disminución de emisiones de CO₂ y el comportamiento de los puentes térmicos de fachada.

Dicho estudio se extenderá a tres de las doce zonas climáticas en las que el *Código Técnico de la Edificación* ha dividido a España, atendiendo a la severidad climática del invierno y del verano. Se elegirán las dos que tengan las condiciones climáticas más opuestas (E1 y A4) y una que presente una situación intermedia (C2).

Previamente, se habrán estudiado cuatro posibles orientaciones del edificio en cada zona, y a aquella que presente una menor demanda energética se le aplicarán las tres soluciones de rehabilitación energética para su comparación.

Las conclusiones que se obtengan, conducirán a una serie de recomendaciones para cada zona climática, relativas a la mejor orientación del edificio y a la solución constructiva más adecuada, para mejorar la eficiencia energética del mismo.

Abstract.

We set out the energy renewal of an educational-use building, focusing on the improvement of its façades. To that end, we will study three different constructive solutions, from the inside, from the inner zone and from the outside of the façade. In order to modelize the building and execute its energy simulation we will use the programmes LIDER and CALENER VYP.

A decrease in energy demand for heating and cooling, the reduction of CO₂ emissions, and the behaviour of the thermal bridge will be evaluated. This study will consider three of the twelve climate zones into which the Spanish regulation Código Técnico de la Edificación divides Spain, according to the harshness of winters and summers. We will choose the two zones with the most contrasting climate conditions (E1 and A4) and an intermediate one (C2).

From four previously studied orientations of the building in each climate zone, we will choose the one with the smaller energy demand, and apply to this the three energy renewal solutions in order to establish a comparison.

The resulting conclusions will lead to a series of recommendations for each of the climate zones, concerning the best possible orientation of the building and the most accurate constructive solution to improve its energy efficiency.

3. METODOLOGÍA, PLAN DE TRABAJO Y OBJETIVOS.

3.1. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO.

1. Búsqueda de información acerca del estado del arte relacionado con edificios de energía cero, en lo relativo a la envolvente térmica, y a las distintas clases de fachadas ventiladas. Se empleará la base de datos *Scopus*, disponible en la Biblioteca de la Universidad de Burgos.
2. Complementariamente, se buscará información relacionada con los mismos temas con el buscador *Google*, además de información de fabricantes de fachadas ventiladas.
3. Se estudiará un Centro de Enseñanza Primaria de Burgos, que es un edificio de uso docente con moderada complejidad constructiva para su modelización.
4. Se supondrá una fachada energéticamente ineficaz y que admita soluciones de aislamiento por su cara interior, entre sus hojas y por su cara exterior.
5. Se estudiarán las siguientes propuestas, empleando siempre el mismo tipo y espesor de aislamiento, para que no sea un factor que influya en los resultados del análisis. Se empleará poliuretano proyectado e inyectado, con valores de conductividad térmica casi iguales:
 - Aislamiento de 5 cm por el interior con un trasdosado de paneles de doble placa de cartón yeso sobre entramado de perfiles de acero galvanizado.
 - Aislamiento de 5 cm entre las hojas interior y exterior de la fachada, mediante la inyección en la cámara.
 - Aislamiento proyectado de 5 cm por el exterior para fachadas ventiladas, con cámara de aire ventilada vertical y acabado superficial mediante aplacado cerámico de gres.
6. Se estudiarán cuatro orientaciones del edificio para su fachada principal: Norte, Sur, Este y Oeste, con la ausencia de elementos exteriores que puedan proyectar sombra sobre el mismo, para que no influyan en la valoración de las soluciones constructivas. Sobre la que presente menor demanda energética se aplicarán las tres soluciones de rehabilitación propuestas.
7. Se definirán los siguientes puentes térmicos que aparecen en las fachadas:
 - Encuentro forjado – fachada.
 - Encuentro suelo exterior – fachada.
 - Encuentro cubierta – fachada.
 - Esquina saliente.
 - Hueco ventana.
 - Esquina entrante.
 - Pilar.
 - Unión solera – pared exterior.

8. Para realizar la modelización del edificio y su simulación energética se emplearán los programas informáticos LIDER y CALENER VyP. Debido a problemas técnicos sobrevenidos se ha descartado el empleo de la herramienta TRNSYS, aunque se ha llegado a ejecutar la modelización gráfica del edificio.

3.2. OBJETIVOS.

1. Servir como una primera aproximación a la hora de intervenir en un edificio de estas características, para valorar la utilización de una gama de soluciones constructivas en una obra de rehabilitación energética, teniendo en cuenta su ubicación geográfica y sus condicionantes climatológicos.
2. Proponer criterios ambientales y de eficiencia energética a las administraciones públicas a la hora de planificar su legislación urbanística, eliminando restricciones existentes en la actualidad.
3. Mejorar el conocimiento del comportamiento de los distintos tipos de puentes térmicos, antes y después de aplicar cada una de las soluciones propuestas, para estudiar si son necesarias actuaciones específicas para cada uno de ellos dentro de cada solución general propuesta.

4. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

Se ha buscado información acerca del estado del arte relacionado con edificios de energía cero, en lo relativo a la envolvente térmica, y a las distintas clases de fachadas ventiladas, por ser los conceptos más directamente relacionados con el objetivo de este trabajo de investigación. Se ha empleado la base de datos *Scopus*, disponible en la Biblioteca de la Universidad de Burgos, para buscar documentos con un máximo de cinco años de antigüedad bajo tres epígrafes.

4.1. *ZERO NET ENERGY BUILDING*.

Según la nueva *Directiva 2010/31/UE*, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, los edificios de consumo de energía casi nulo son aquéllos con un nivel de eficiencia energética muy alto, en los que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida la producida in situ o en el entorno.

Referidos a este concepto, se han encontrado los documentos:

- Análisis de los últimos avances en el diseño de edificios de energía cero y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y del consumo de energía que se consiguen ([Kapsalaki M. 2011](#)). Uno de ellos se centra en edificios de Estados Unidos ([Stadler M. 2011](#)).
- Revisión de la evolución de las legislaciones sobre eficiencia energética de las instalaciones de climatización y ventilación en edificios no residenciales ([Pérez Lombard L. 2011](#)).
- Estudios del comportamiento de edificios concretos de consumo de energía cero, como un edificio de oficinas en la Universidad de Harvard en Estados Unidos ([Hackler J. 2008](#)), y de tres edificios residenciales en Serbia ([Bojic M. 2011](#)).
- Desde otro enfoque, hay un estudio sobre la calibración de programas de simulación energética ([Reddy T.A. 2007](#)).

4.2. *VENTILATED WALL*.

Bajo este epígrafe se han seleccionado estos documentos:

- Una revisión de los componentes de la envolvente de un edificio como elementos de ahorro de energía ([Sadineni S.B. 2012](#)).
- Hay tres estudios de modelos concretos de muros experimentales, uno que incorpora capas de aire y agua ([Zhao J. 2011](#)), otro de doble vidrio con ventilación forzada interna ([B. R. Fraisse G. 2010](#)) y un último dotado de una hoja pesada interior y cámara de aire ([J. K.-B. Fraisse G. 2006](#)).
- Otros documentos se centran en estudios relacionados con la termodinámica de fluidos gaseosos ([Mokry M. 2008](#)), la medición de ratios de ventilación en cámaras de aire ([Basset M. R. 2006](#)) o la modelización de ventilación convectiva en cámaras de aire ventiladas ([Davidovic D. 2006](#)).

- Por último, señalar un documento relacionado con el ciclo de vida, que estudia el balance energético entre la fabricación de un cerramiento y la energía ahorrada ([Pulselli R.M. 2009](#)).

4.3. VENTILATED FAÇADE.

Con este término, que en el fondo es el mismo que el anterior, es como se han encontrado más artículos de interés:

- Un documento generalista sobre los criterios para la elección y diseño del tipo de fachada ventilada más adecuada para cada caso ([Sinclair R. 2009](#)).
- Documentos relacionados con el estudio de parámetros termodinámicos de distintas fachadas ventiladas:
 - Análisis termodinámico del flujo de aire en la cámara de una fachada ventilada ([Stazi F. 2011](#)).
 - Estudio del comportamiento del flujo de aire y la temperatura por las juntas de una fachada ventilada ([S. M. Sanjuan C. 2011](#)).
 - Estudio de la transmisión de calor y humedad en elementos constructivos de madera ([Joscak M. 2011](#)).
 - Estudio comparativo de una fachada ventilada basado en el movimiento del aire por convección inducida ([Seferis P. 2011](#)).
 - Estudio termodinámico por simulación de los movimientos convectivos del aire en la cámara ventilada y de las ganancias térmicas ([Mora Pérez M. 2011](#)).
 - Estudio termodinámico de ventilación inducida de las cámaras de aire de las fachadas ventiladas ([Nore K. 2010](#)).
 - Estudio de la influencia del control de la ventilación interna de las fachadas con dispositivos de detección del clima para el ahorro energético en climatización ([A. A. Haase M. 2009](#)).
 - Estudio de las presiones internas en la cámara ventilada de una fachada de doble piel, en edificios de varias plantas, empleando modelos en túnel de viento ([Marques da Silva F. 2008](#)).
 - Estudio de los sistemas de medición y sus resultados termodinámicos de una fachada transparente activa durante dos años ([Corgnati S.P. 2007](#)).
 - Estudio experimental con sensores del comportamiento de una fachada ventilada con piezas de gres porcelánico, sin aislamiento térmico, en un edificio en el Sur de Brasil ([Müller A. 2007](#)).
 - Por último, un estudio del rendimiento térmico de una fachada ventilada con paneles fotovoltaicos integrados, situada en Mataró ([Infield D. 2006](#)).
- En otro bloque se pueden englobar los documentos relacionados con la simulación y la modelización numérica:
 - Estudio comparativo de métodos de simulación de fachadas ventiladas con juntas abiertas ([S. M. Sanjuan C. 2012](#)).

- Comparación del rendimiento de fachadas ventiladas con juntas abiertas y fachadas convencionales con cámaras de aire no ventiladas ([S. M. Sanjuan C. 2011](#)).
- Modelo numérico para evaluar fachadas ventiladas transparentes activas ([P. M. Zanghirella F. 2012](#)).
- Análisis y recomendación del uso de distintos tipos de fachadas ventiladas ([Patania F. 2010](#)).
- Estudio de las ventajas de las fachadas de piedra con ventilación natural por métodos numéricos ([Richman R.C. 2010](#)).
- Modelo numérico para evaluar fachadas ventiladas transparentes activas ([P. M. Zanghirella F. 2009](#)).
- Simulaciones de fachadas ventiladas en clima subtropical con *TRNSYS* ([M. d. Haase M. 2009](#)).
- Evaluación de distintos modelos numéricos para simular la corriente de aire, natural o forzada, en el interior de una fachada ventilada con doble pared de vidrio ([Coussirat M. 2008](#)).
- Evaluación de métodos de simulación de edificios y sus instalaciones de climatización y ventilación ([André P. 2008](#)).
- Estudio por modelización bidimensional de la temperatura alcanzada en paneles fotovoltaicos integrados en una fachada ventilada en Montreal ([Charron R. 2006](#)).
- Finalmente, un estudio por modelización matemática iterativa del rendimiento de fachadas ventiladas con paneles fotovoltaicos y térmicos, y persianas integradas ([Charron R., Athienitis A.K. 2006](#)).
- En un tercer grupo están los documentos relacionados con el proceso de fabricación y características constructivas de los distintos elementos que conforman las fachadas ventiladas:
 - Estudio de las capacidades mecánicas de una fachada sándwich con caras de hormigón armado ([Horstmann M. 2011](#)).
 - Estudio sobre la técnica de fabricación de paneles para fachadas ventiladas de hormigón armado ([Kulas C. 2011](#)).
 - Estudio de un sistema de techo refrescante vinculado a una fachada ventilada en un edificio de oficinas ([Fonseca Díaz N. 2011](#)).
 - Estudio de las propiedades de las piezas cerámicas de gran tamaño y esbeltez para fachadas ventiladas, y su proceso de fabricación ([Raimondo M. 2010](#)).
 - Estudio de la corrosión de los anclajes soldados de las estructuras de acero inoxidable de las fachadas ventiladas ([Nüumberger U. 2010](#)).
 - Proceso de fabricación de piezas ligeras de gres por adición de CO₂ para fachadas ventiladas ([Bernardo E. 2010](#)).
 - Investigación sobre nuevos paneles sándwich de caras de hormigón armado y núcleo aislante, esbeltos y de grandes dimensiones ([H. M. Hegger J. 2009](#)).

- Sistema de retro iluminación en fachadas ventiladas ([Azuvi 2009](#)).
- Estudio de compuestos poliméricos añadidos a las piezas cerámicas de las fachadas ventiladas para mejorar sus propiedades mecánicas ([Parkinson S. 2009](#)).
- Método de análisis para determinar el contenido de humedad adecuado para la obtención de resistencias en fachadas ventiladas de piedra natural sometidas al agua de lluvia ([Vielba C. 2009](#)).
- Estudio de los efectos del proceso de quemado de la mezcla de componentes que da lugar a las piezas de gres porcelánico para fachadas ([Martín-Márquez J. 2008](#)).
- Estudio del comportamiento mecánico y de la aplicabilidad en las fachadas ventiladas de elementos de revestimiento de hormigón armado ([V. S. Hegger J. 2008](#)).
- Estudio de la capacidad de carga, diseño y aplicación de paneles de doble cara de hormigón armado para fachadas ventiladas ([H. M. Hegger J. 2007](#)).
- Propuesta de colaboración universidad – empresa en Milán, para el desarrollo de nuevos sistemas de fachada ventilada en un edificio destinado a su estudio y monitorización ([Arlati E. 2006](#)).
- Estudio de la viabilidad de realizar perforaciones en tejas y placas de fachadas ventiladas con láser ([Soto R. 2006](#)).
- Hay también estudios de ejemplos concretos de la aplicación de distintos sistemas de fachadas ventiladas, como el de una construcción de madera sobre elevada en clima tropical en Sao Paulo ([Nitsche L. 2010](#)), y un museo con una fachada de paneles de acero aislados y persianas exteriores en Monterrey ([Broome B. 2008](#)).
- Relacionado con estudio del ciclo de vida, hay un documento sobre el impacto ambiental de los detalles constructivos de la envolvente térmica de los edificios en Grecia, según el ciclo de vida y el consumo de agua ([Bougiatioti F. 2009](#)).
- Finalmente, hay dos artículos relacionados con la incorporación de paneles solares en las fachadas de los edificios, como un estudio sobre la integración de placas cerámicas fotovoltaicas en la fachada de los edificios para cubrir parte de su demanda de electricidad ([Mazzanti B. 2008](#)), y un estudio de la integración de paneles solares térmicos en el exterior de fachadas de edificios existentes en la República Checa ([Matuska T. 2006](#)).

De este análisis del estado del arte, se puede concluir que no hay documentos coincidentes con los objetivos de este trabajo, aunque sí que hay estudios que pueden ayudar parcialmente a su desarrollo. Esto justifica la necesidad de llevar a cabo este trabajo de investigación.

5. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.

5.1. SITUACIÓN DEL EDIFICIO.

El edificio está situado en la Calle Barrio Gimeno s/n de Burgos, junto al nuevo Bulevar Ferroviario. Su fachada principal tiene orientación Norte – Noroeste, y en ella se encuentran las puertas principales de acceso.



Vista aérea del edificio en su entorno urbano.

El edificio se encuentra totalmente terminado y en uso, en un entorno urbano denso y consolidado. Dispone de acceso rodado y peatonal con aceras pavimentadas, y de suministros de agua potable, agua caliente sanitaria y calefacción centralizada producidas con caldera de gasóleo, energía eléctrica y telecomunicaciones.

5.2. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL.

Se trata de un edificio compuesto por planta baja, dos plantas en altura y espacio bajo cubierta inclinada no habitable.

Planta baja:

- Comedor – Usos múltiples: 59,09 m².
- Sala de profesores: 31,38 m².
- Despacho 01: 11,00 m².
- Despacho 03: 7,56 m².

- Despacho 04: 9,36 m².
- Despacho 05: 11,20 m².
- Despacho 06: 19,69 m².
- Recepción: 13,50 m².
- Almacén de cocina: 7,65 m².
- Almacén: 5,38 m².
- Almacén exterior: 3,75 m².
- Cocina: 20,80 m².
- Sala de calderas: 18,28 m².
- Servicios del despacho 04: 2,25 m².
- Servicios zona de despachos (hay dos, A y B):
 - Lavabo: 2,20 m².
 - Retrete: 1,50 m².
- Servicios zona de cocina (hay dos, C y D): 2,50 m².
- Servicios principales:
 - Zona común: 3,94 m².
 - Servicios chicos: 9,75 m².
 - Servicios chicas: 8,80 m².
 - Retretes (hay dos para chicos y cuatro para chicas): 1,00 m².
- Ducha profesores: 6,00 m².
- Ducha chicos: 7,05 m².
- Ducha chicas: 7,05 m².
- Entrada: 21,00 m².
- Pasillo principal: 40,74 m².
- Escaleras (hay dos): 14,93 m².
- Pasillo despacho 01: 4,13 m².
- Pasillo zona despachos: 11,50 m².
- Pasillo zona cocina: 9,75 m².
- Pasillo zona duchas: 10,88 m².
- Cobertizo exterior: 127,25 m².

Planta primera:

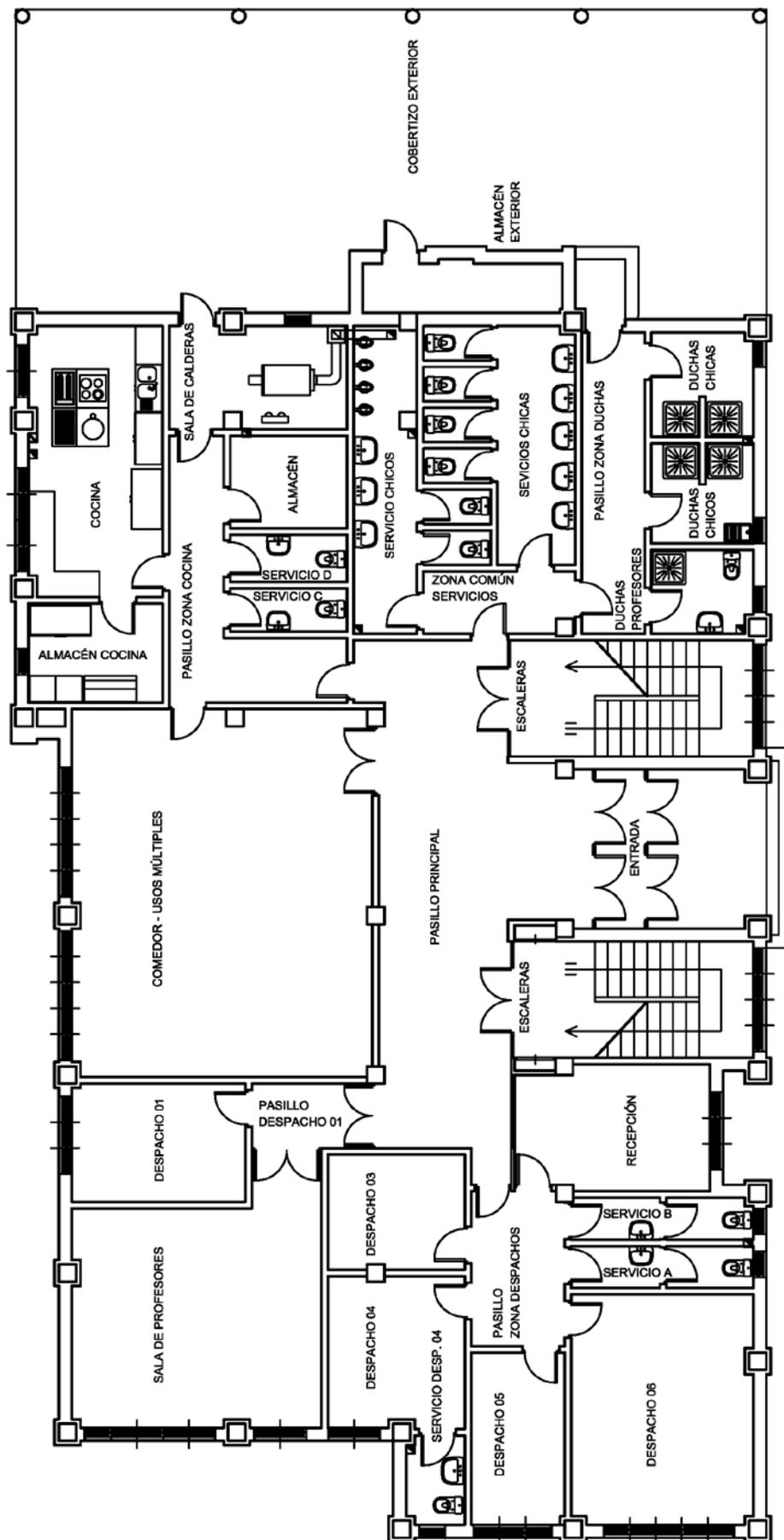
- Aula 11: 56,00 m².
- Aula 12: 56,00 m².
- Aula 13: 54,86 m².
- Aula 14: 56,00 m².
- Aula 15: 56,00 m².
- Despacho 11: 13,20 m².

- Servicios:
 - Zona común: 2,81 m².
 - Servicios chicos: 5,38 m².
 - Servicios chicas: 3,75 m².
 - Retretes (hay uno para chicos y dos para chicas): 1,25 m².
- Pasillo: 46,71 m².
- Escaleras (hay dos): 14,93 m².

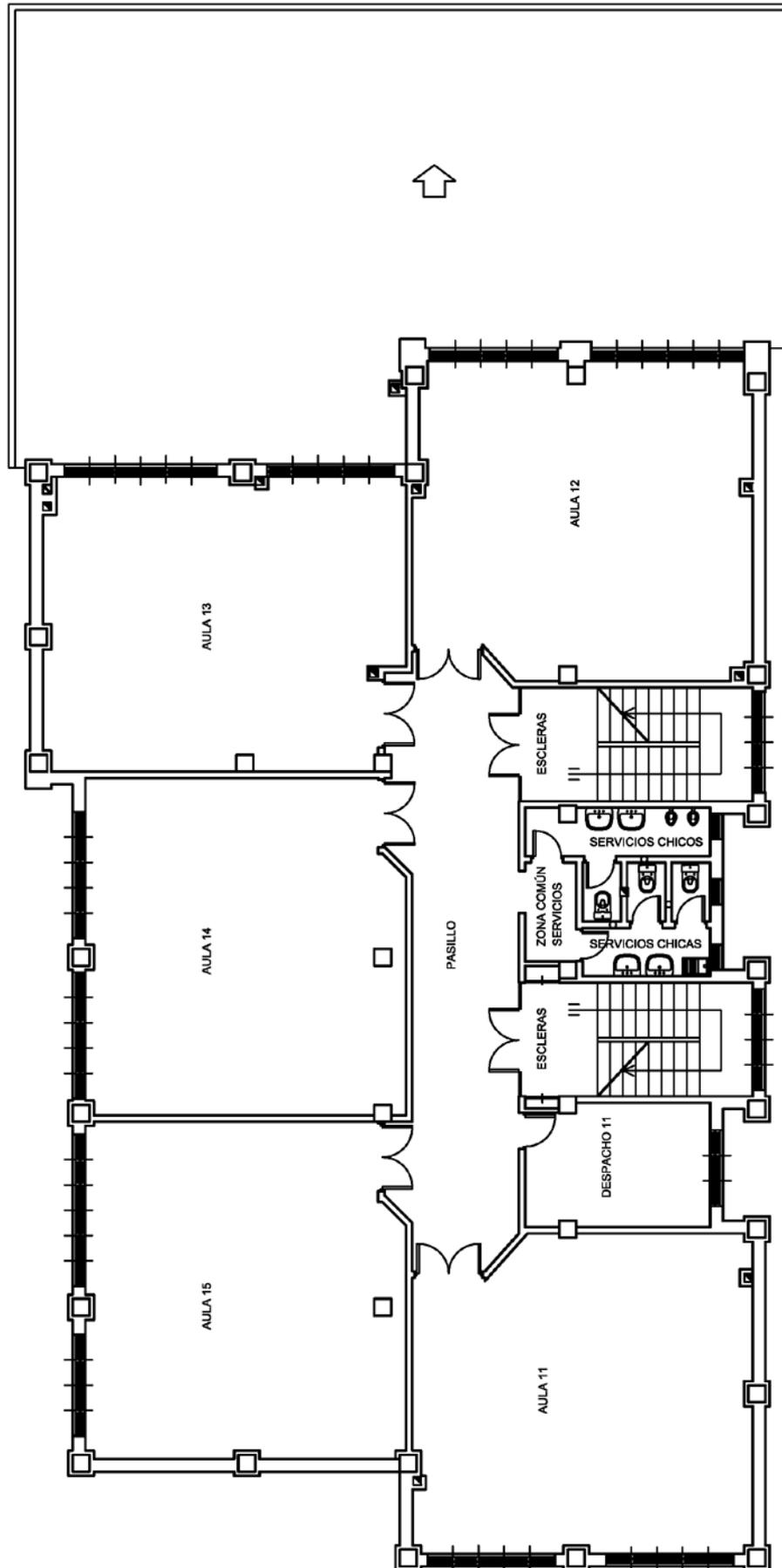
Planta segunda:

- Aula 21: 54,86 m².
- Aula 22: 56,00 m².
- Aula 23: 56,00 m².
- Sala de estudios: 56,00 m².
- Biblioteca: 56,00 m².
- Despacho 21: 13,20 m².
- Servicios:
 - Zona común: 2,81 m².
 - Servicios chicos: 5,38 m².
 - Servicios chicas: 3,75 m².
 - Retretes (hay uno para chicos y dos para chicas): 1,25 m².
- Pasillo: 46,71 m².
- Escaleras (hay dos): 14,93 m².

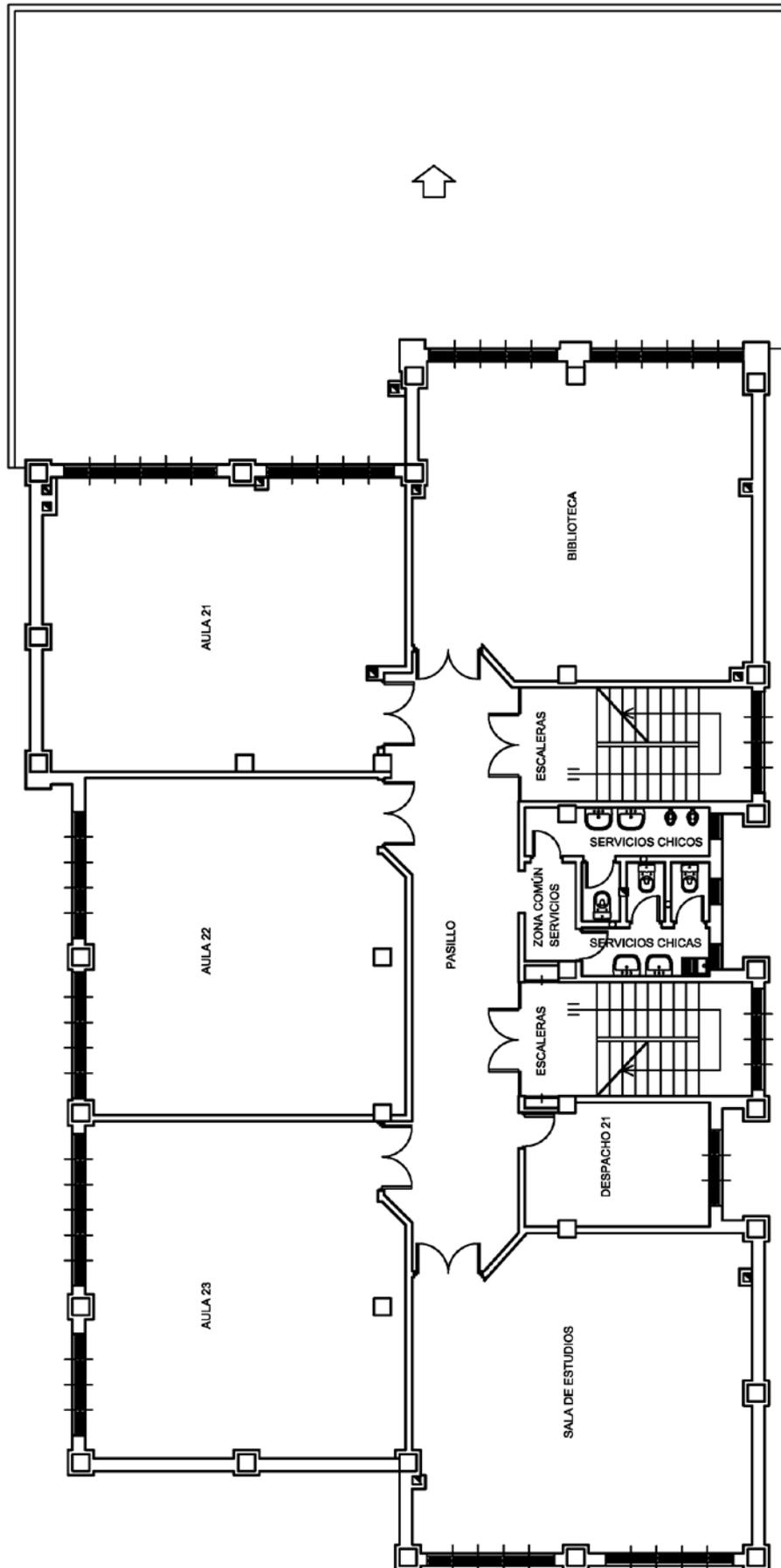
A continuación, se muestra en unos planos sin escala la distribución interior de las tres plantas descritas.



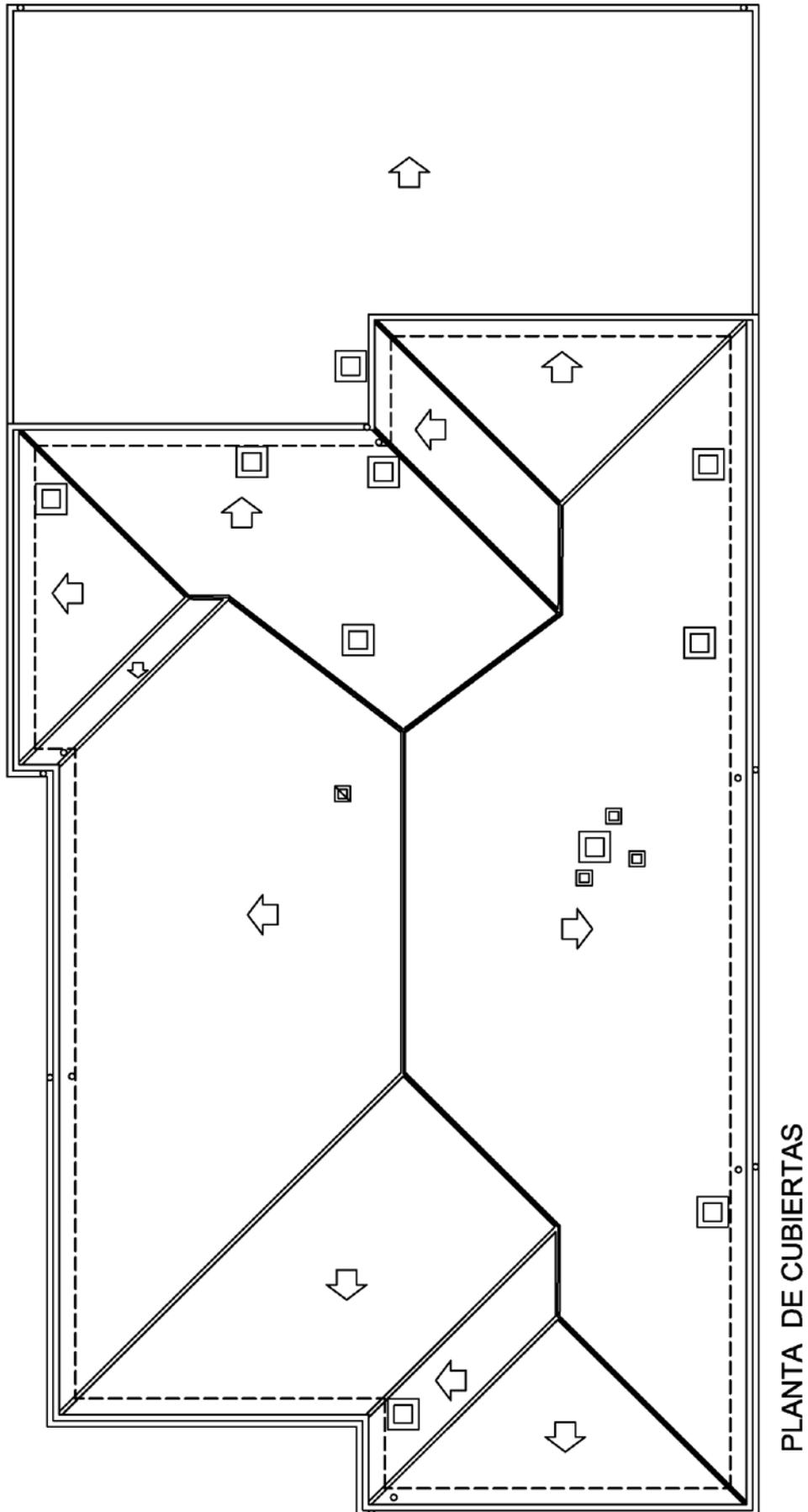
PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA



5.3. MEMORIA CONSTRUCTIVA.

Estructura del edificio.

El edificio está cimentado sobre zapatas aisladas de hormigón armado que están unidos entre sí por vigas riostras.

La estructura portante está formada por pórticos de pilares y vigas de hormigón armado.

Los forjados son unidireccionales con viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas cerámicas o de poliestireno expandido en las cubiertas planas.

Fachada.

Se va a considerar el acabado interior como guarnecido y enlucido de yeso, por ser el predominante.

FACHADA	
Composición desde el exterior hacia el interior	Espesor (cm)
Ladrillo cara vista de 25 x 12 x 7 cm	12,0
Enfoscado de la cámara con mortero hidrófugo	1,0
Cámara de aire vertical no ventilada	5,0
Fábrica de ladrillo hueco doble	7,0
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
TOTAL:	26,00

División entre particiones interiores.

Los tabiques de separación entre las particiones interiores: aulas, despachos, servicios, cocinas, comedor, pasillos y escaleras, están formados por fábrica de ladrillo hueco doble, guarnecido y enlucido de yeso por ambas caras, o enfoscado y alicatado en los cuartos húmedos. De cara a la simulación energética se considerarán todos como guarnecidos y enlucidos, por ser los predominantes.

DIVISIÓN ENTRE PARTICIONES INTERIORES	
Composición desde el exterior hacia el interior	Espesor (cm)
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
Fábrica de ladrillo hueco doble a tabicón	9,0
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
TOTAL:	11,0

Suelo sobre el terreno. Suelo de Planta Baja.

Para todas las particiones de la Planta Baja, se va a considerar un forjado unidireccional con vigas, viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas cerámicas, sobre el que existe un pavimento de terrazo sentado sobre una capa de recrecido de mortero de cemento y arena de río.

Entre el suelo y el forjado existe una cámara sanitaria no ventilada de 11 cm.

SUELO SOBRE EL TERRENO. SUELO DE PLANTA BAJA.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Baldosa de terrazo de grano medio	3,0
Recrecido de mortero de cemento y arena de río	4,0
Forjado unidireccional con bovedilla cerámica	30,0
TOTAL:	37,0

Suelo entre las Plantas Baja, Primera y Segunda.

Está formado por un forjado unidireccional con vigas, viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas cerámicas. Sobre él, hay una capa de recrecido de mortero de cemento y arena de río, y terminación superior con pavimento de terrazo de grano medio.

Inferiormente, el forjado está guarnecido y enlucido de yeso. En los cuartos húmedos y pasillo dispone de falso techo de escayola. Para unificar, se toma el caso más desfavorable y más extenso: acabado con guarnecido y enlucido de yeso.

SUELO ENTRE LAS PLANTAS BAJA, PRIMERA Y SEGUNDA.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Baldosa de terrazo de grano medio	3,0
Recrecido de mortero de cemento y arena de río	4,0
Forjado unidireccional con bovedilla cerámica	30,0
Guarnecido y enlucido de yeso	2,0
TOTAL:	39,0

Voladizo. Suelo sobre el exterior.

Está formado por un forjado unidireccional con vigas, viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas cerámicas. Sobre él, hay aislamiento térmico formado por poliuretano proyectado. Inferiormente, el forjado está enfoscado con mortero de cemento hidrófugo. Sólo existe en los voladizos de la cubierta inclinada.

VOLADIZO. SUELO SOBRE EL EXTERIOR.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Aislamiento térmico de poliuretano proyectado	4,0
Forjado unidireccional con bovedilla cerámica	30,0
Enfoscado de mortero de cemento hidrófugo	2,0
TOTAL:	36,0

Techo bajo la cubierta inclinada. Techo de Planta Segunda.

Está formado por un forjado unidireccional con vigas, viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas cerámicas. Sobre él, hay aislamiento térmico formado por poliuretano proyectado.

Inferiormente, el forjado está guarnecido y enlucido de yeso. En los cuartos húmedos y pasillo dispone de falso techo de escayola. Para unificar, se toma el caso más desfavorable y más extenso: acabado con guarnecido y enlucido de yeso.

TECHO BAJO LA CUBIERTA INCLINADA. TECHO DE LA PLANTA SEGUNDA.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Aislamiento térmico de poliuretano proyectado	4,0
Forjado unidireccional con bovedilla cerámica	30,0
Guarnecido y enlucido de yeso	2,0
TOTAL:	36,0

Cubierta inclinada.

La formación de pendientes de la cubierta inclinada está construida con tabiques palomeros de ladrillo hueco doble. El tablero inclinado se considera formado por rasillón cerámico machihembrado y recrecido de mortero de cemento y arena de río, con mallazo de tela de gallinero. Cobertura de tejas cerámicas curvas cogidas con mortero directamente sobre el tablero, previa aplicación de una pintura bituminosa. La pendiente es del 30 %.

CUBIERTA INCLINADA.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Teja cerámica curva	2,0
Pintura bituminosa	0,2
Recrecido de mortero de cemento y arena de río	4,0
Tablero de rasillón cerámico	4,0
TOTAL:	10,2

Cubierta plana.

Está formado por un forjado unidireccional con vigas, viguetas, nervios y capa de compresión de hormigón armado y bovedillas de poliestireno expandido. Sobre él, está la impermeabilización con una lámina bituminosa, una capa de recrecido de mortero de cemento y arena de río, y terminación superior con pavimento de gres antideslizante. Inferiormente, el forjado está guarnecido y enlucido de yeso.

CUBIERTA PLANA.	
Composición desde arriba hacia abajo	Espesor (cm)
Baldosa de gres antideslizante	1,0
Recrecido de mortero de cemento y arena de río	5,0
Lámina impermeabilizante bituminosa	1,0
Forjado unidireccional con bovedilla de poliestireno expandido	30,0
Guarnecido y enlucido de yeso	2,0
TOTAL:	39,0

Carpintería exterior.

Todas las ventanas y contraventanas del edificio tienen las siguientes características:

- Carpintería corredera de aluminio sin rotura de puente térmico, de 30 mm de espesor.
- Vidrio sencillo de 4 mm de espesor.

Todas las puertas de acceso del edificio tienen las siguientes características:

- Carpintería abatible de eje vertical de aluminio, sin rotura de puente térmico, de 45 mm de espesor.
- Vidrio sencillo de 4 mm de espesor.

Carpintería interior.

Todas las puertas de acceso a las particiones interiores colocadas en los tabiques de separación, son de madera de pino, están pintadas, y tienen un espesor de hoja de 4 cm.

5.4. ASPECTO EXTERIOR.

En este apartado se muestran unas fotografías de las fachadas del edificio, para tener una idea clara de su composición. Las fachadas aparecen nombradas por su orientación predominante, por ejemplo, la fachada principal que tiene orientación Norte – Noroeste, se denominará Norte.



Fachadas Este y Norte.



Fachadas Norte y Oeste.



Fachadas Oeste y Sur.



Fachadas Sur y Este.

6. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO. ESTADO ACTUAL.

Se va a modelizar energéticamente el edificio con las fachadas en su estado actual, tal y como se ha reflejado en el punto “4.3. Memoria constructiva”.

Se va a emplear el programa *LIDER*, que es un documento reconocido del *Código Técnico de la Edificación*. Más que un programa de simulación energética de edificios, es una aplicación informática para la verificación de la exigencia de *Limitación de Demanda Energética, DB HE-1*, establecida en el *Documento de Ahorro de Energía* del *Código Técnico de la Edificación*. Esta aplicación ha sido realizada por el Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía, AICIA, con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, IETCC.

Para la primera modelización se supondrá que el edificio está situado en Burgos, como ciudad representativa de la zona climática E1. La fachada principal tendrá orientación Norte.

A continuación, se detallan los datos que se van a introducir en el programa informático. En posteriores modelizaciones, con distintas ubicaciones y orientaciones del edificio, y con los diferentes aislamientos de fachada propuestos, sólo se reflejarán aquellos datos de entrada que sean diferentes, pues el proceso de simulación en sí mismo es igual en todos los casos. También darán lugar a diferentes datos de salida, que se analizarán posteriormente.

6.1. DESCRIPCIÓN.

Zonificación climática.

El edificio está localizado en Burgos capital, que pertenece a la zona climática E1.

Está situado a una latitud de 42,36° y a una altitud sobre el nivel del mar de 881 m.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Tipo de edificio.

El edificio es del tipo sector terciario, pequeño o mediano.

Clase por defecto de los espacios habitables.

Tipo de uso: Intensidad Alta – 8h.

Las condiciones de higrometría, según lo dispuesto en el *DB HE-1* en el artículo 3.1.2. *Clasificación de los espacios*, se agruparán en dos tipos:

- Clase higrométrica 4: Cocina y almacén anexo, comedor, servicios colectivos y duchas.
- Clase higrométrica 3: El resto de espacios, pues al ser un centro de enseñanza primaria no se prevé una alta ocupación en las aulas, que llevaría aparejada una alta producción de humedad, y las zonas de despachos y sus correspondientes servicios se pueden asimilar al uso residencial.

No se dispone de datos suficientes para conocer el número de renovaciones hora real que se produce en cada espacio habitable. Teniendo en cuenta la mala calidad de las carpinterías exteriores, que son ventanas correderas, y el tránsito frecuente de alumnos y personal por los diferentes espacios, se va a suponer para todos ellos:

- Número de renovaciones hora requeridos: 1,0.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – N – A.

Comunidad: Castilla y León.

Localidad: Burgos.

Dirección: Calle Barrio Gimeno s/n.

Datos del autor.

Nombre: Raúl Briones Llorente.

Empresa o institución: Universidad de Burgos.

E-mail: rbl0000@alu.ubu.es

Teléfono: 636 944 270

6.2. BASE DE DATOS.

Materiales y productos opacos.

El programa *LIDER* incorpora la base de datos del *Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de Edificación*.

Se seleccionan todos los elementos reflejados en el punto “4.3. Memoria constructiva”, para todos los cerramientos opacos. Solamente hay que indicar los espesores, pues las características físicas son importadas de la base de datos. Las capas de los cerramientos se colocan desde el exterior hacia el interior para los verticales, y desde arriba hacia abajo para los horizontales.

Semitransparentes. Vidrios y marcos.

De igual manera que se han elegido los materiales opacos, se eligen de la base de datos los vidrios y los marcos.

El vidrio monolítico de 4 mm que aparece en la base de datos del *LIDER* tiene estas características:

- Factor solar: $g = 0,85$ (adimensional).
- Transmitancia térmica: $U = 5,70 \text{ W / m}^2 \times \text{K}$.

El marco metálico en posición vertical sin rotura de puente térmico que aparece en la base de datos del *LIDER* tiene estas características:

- Absortividad: $\alpha = 0,70$ (adimensional).
- Transmitancia térmica: $U = 5,70 \text{ W / m}^2 \times \text{K}$.

Huecos y lucernarios semitransparentes.

Con los vidrios y marcos elegidos se van montando las diferentes puertas y ventanas atendiendo a las diferentes formas y dimensiones que presentan.

Los huecos en *LIDER* están definidos por un único vidrio y un único marco, y no es posible superponer dos ventanas en la misma superficie. Para introducir dobles ventanas, como es el caso de todos los huecos del edificio menos dos modelos, hay que sustituir la doble ventana por una ventana ficticia que tenga las mismas características térmicas y solares:

- Se calcula el coeficiente de transmisión térmica equivalente de la parte del vidrio de la doble ventana, partiendo de los de los vidrios:

$$U_{v1+v2} = 1 / [(1 / U_{v1}) + (1 / U_{v2}) + R_g - R_{si} - R_{se}] = 1 / [(1 / 5,70) + (1 / 5,70) + 0,18 - 0,13 - 0,04]$$

$$U_{v1+v2} = 2,77 \text{ W / m}^2 \times \text{K}.$$

- U_{v1+v2} : transmitancia de la parte del vidrio de la doble ventana.
- U_{v1} y U_{v2} : transmitancia de cada vidrio.
- R_g : resistencia térmica de la cámara de aire entre las dos ventanas.
- R_{si} y R_{se} : resistencias térmicas interior y exterior de cerramientos verticales con flujo horizontal.

- Se procede de un modo análogo para los marcos:

$$U_{m1+m2} = 1 / [(1 / U_{m1}) + (1 / U_{m2}) + R_g - R_{si} - R_{se}] = 1 / [(1 / 5,70) + (1 / 5,70) + 0,18 - 0,13 - 0,04]$$

$$U_{m1+m2} = 2,77 \text{ W / m}^2 \times \text{K}.$$

- U_{m1+m2} : transmitancia de la parte del marco de la doble ventana.
- U_{m1} y U_{m2} : transmitancia de cada marco.
- R_g : resistencia térmica de la cámara de aire entre las dos ventanas.
- R_{si} y R_{se} : resistencias térmicas interior y exterior de cerramientos verticales con flujo horizontal.

- Se calcula el factor solar de la parte del vidrio de la doble ventana, partiendo de los de los vidrios:

$$g_{v1+v2} = (g_{v1} \times g_{v2}) + (\alpha_{v1} \times G / G_2) + [\tau_{v1} \times (1 - g_{v2}) \times (G / G_1)].$$

$$g_{v1+v2} = (0,85 \times 0,85) + (0,02 \times 1,51 / 10) + [0,90 \times (1 - 0,85) \times (1,51 / 5)] = 0,77.$$

- g_{v1} y g_{v2} : factor solar de cada vidrio.
 - α_{v1} : absorción luminosa del vidrio externo de la doble ventana.
 - τ_{v1} : transmisión luminosa del vidrio externo de la doble ventana.
 - G_1 : $5 \text{ W / m}^2 \times \text{K}$.
 - G_2 : $10 \text{ W / m}^2 \times \text{K}$.
 - $G = [(1 / U_{v1+v2}) + (1 / G_1) + (1 / G_2)]^{-1} = 1,51 \text{ W / m}^2 \times \text{K}$.
- Se crean los materiales “Vidrio doble” y “Marco doble” con las características calculadas, y con ellos se generarán todas las dobles ventanas.

La permeabilidad al aire es un dato procedente de su correspondiente ensayo que ha de ser suministrado por el fabricante. Expresa la fuga de aire en metros cúbicos por hora y por metro cuadrado de superficie practicable, en función de la presión diferencial en Pascales, clasificándose según la *Norma UNE EN 12207:2000*. A falta de datos concretos, y teniendo en cuenta sus características técnicas, se estima:

- Puertas: el propio programa *LIDER* les asigna una permeabilidad de $60 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$ a 100 Pa, lo que las sitúa en la Clase 1.
- Ventanas: Clase 2; ventanas que, con una presión de 100 Pa – 300 Pa, presenten una fuga superior a $18 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$ e inferior a $55 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$ de superficie practicable $\Rightarrow 37 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$.

El porcentaje cubierto por el marco se calcula para cada puerta o ventana midiendo la superficie total del hueco, la ocupada por el vidrio y la ocupada por el marco. Luego se calcula la proporción.

En la siguiente tabla se ofrece un resumen de la memoria de carpintería:

TIPO	MODELO	ANCHURA (m)	ALTURA (m)	DOBLE	Marco (%)	Permeabilidad ($\text{m}^3 / \text{h} \times \text{m}^2$, 100 Pa)
Puerta	P – 1	3,36	2,50	No	33,05	60
	P – 2	0,85	2,50	No	33,84	60
Ventana	V – 1	2,40	1,50	Si	16,44	37
	V – 2	0,60	0,70	No	28,57	37
	V – 3	1,20	1,50	Si	18,33	37
	V – 4	2,40	1,50	Si	16,38	37
	V – 5	0,60	1,50	No	22,22	37
	V – 6	3,00	1,50	Si	14,44	37
	V – 7	1,80	1,50	Si	15,74	37
	V – 8	3,60	1,50	Si	13,15	37

6.3. OPCIONES.

Espacio de trabajo.

Se definen unas dimensiones del espacio de trabajo de *LIDER* tales que permitan que la definición gráfica del edificio quepa en el cuadrante formado por los ejes X e Y positivos.

La cota de arranque del edificio es ± 0 m, pues el edificio no tiene plantas bajo rasante.

Es importante activar la opción de continuar los cálculos aunque no se cumplan los requisitos mínimos, pues se conoce de antemano que la envolvente actual del edificio no los cumple.

Construcción. Cerramientos y particiones.

De todos los cerramiento opacos y semitransparentes generados en la “Base de datos” de *LIDER*, se eligen para cada tipología los que más aparecen. Serán los que tome el programa por defecto en la definición gráfica del edificio.

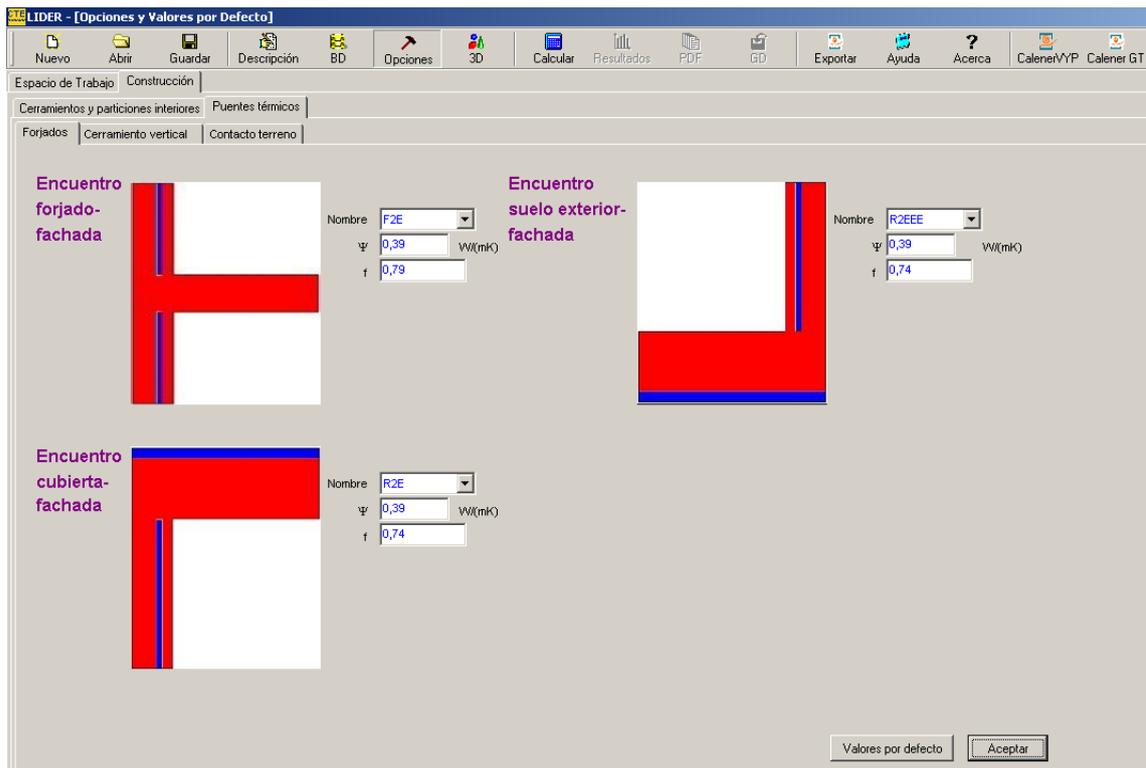
Construcción. Puentes térmicos.

En este apartado el programa *LIDER* tiene predefinidos distintos modelos de puentes térmicos lineales para toda la casuística constructiva, agrupados en encuentros de forjados, cerramientos verticales y en contacto con el terreno.

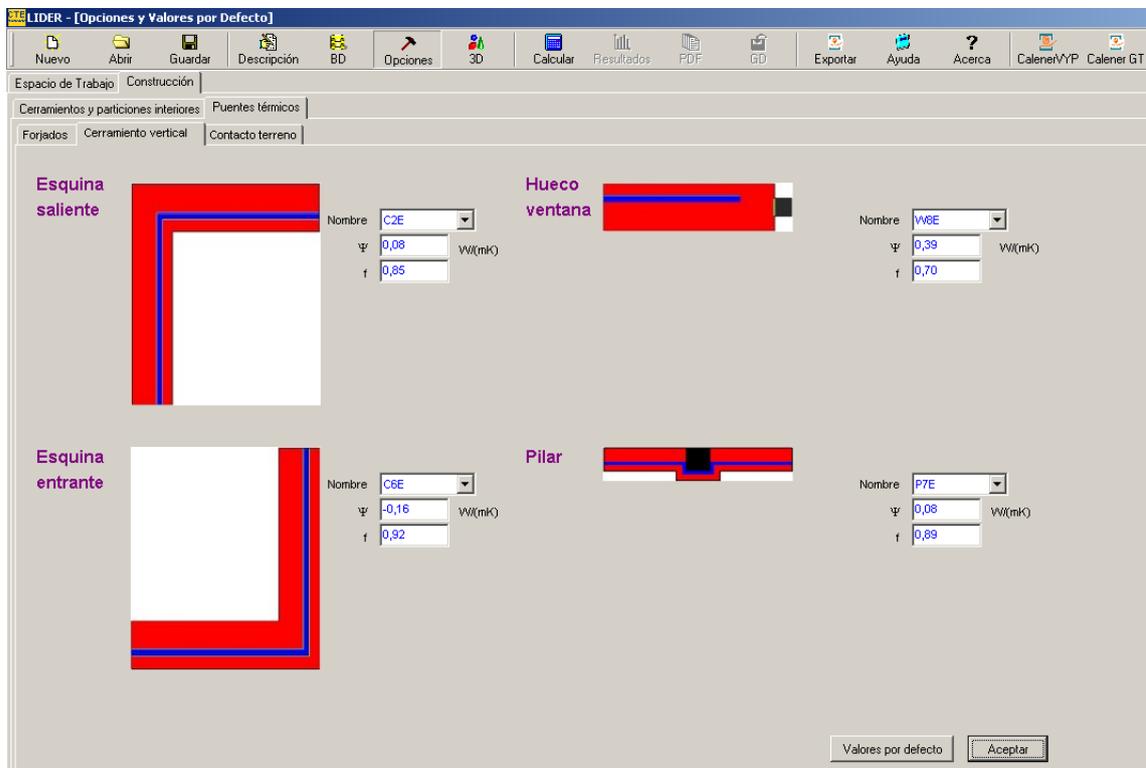
Se eligen para cada caso los más parecidos a los que se puedan presentar en el estado actual del edificio, teniendo en cuenta sus características constructivas. Se obtienen de su propia base de datos los valores de:

- Transmitancia térmica lineal (ψ), en $W / (m \times K)$.
- Factor de temperatura superficial interior (f), que es adimensional.

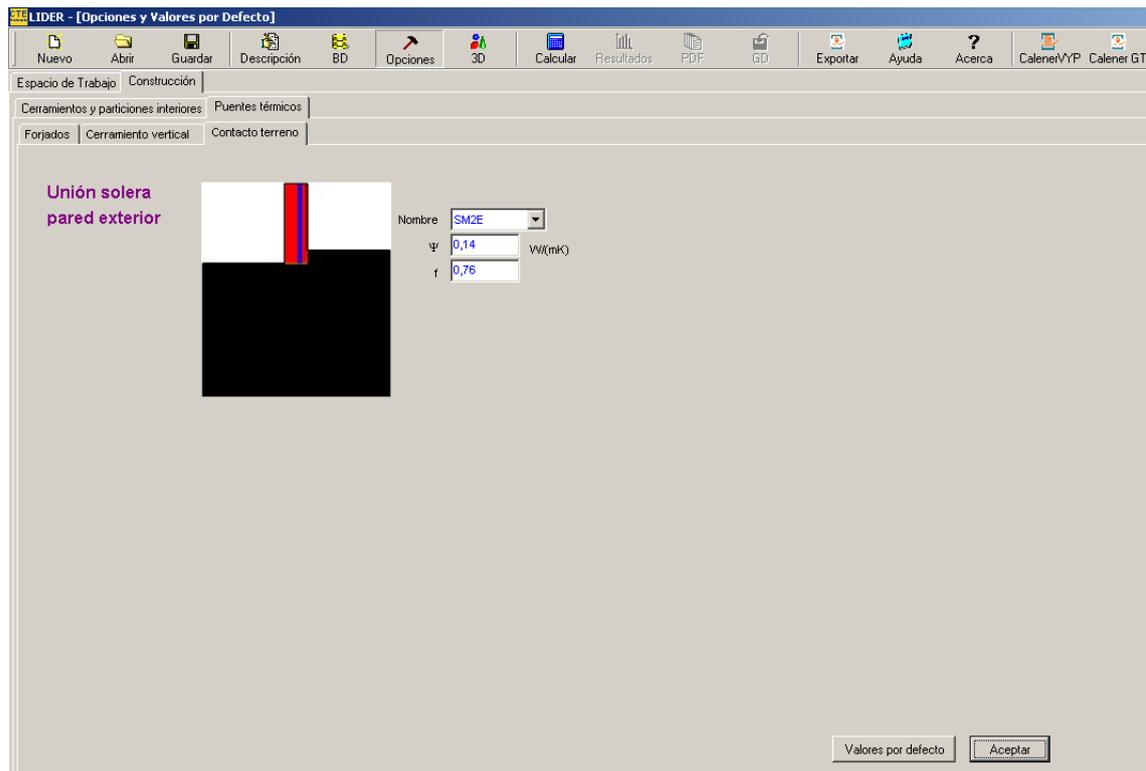
UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.



Puentes térmicos. Forjados, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.



Puentes térmicos. Cerramiento vertical, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.



Puentes térmicos. Contacto terreno, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

6.4. MODELIZACIÓN 3D.

Se procede a la modelización gráfica en tres dimensiones del edificio. Se van a crear las distintas plantas, dividiéndolas en espacios que se clasifican en:

- Acondicionados: para el uso de las personas, con instalaciones de calefacción y/o refrigeración.
- No acondicionados: para el uso de las personas, sin instalaciones de calefacción y/o refrigeración.
- No habitables: sin uso para las personas.

Las particiones anexas de cada planta que tengan unas condiciones higrométricas y de uso similares, se agruparán en un mismo espacio.

Las divisiones verticales y horizontales entre espacios acondicionados, se considerarán adiabáticas al disponer el edificio de un sistema de calefacción centralizada que no es modificable en cada estancia.

Las divisiones verticales y horizontales entre espacios acondicionados y espacios no acondicionados, o no habitables, o entre éstos últimos, se consideran estándar, con transmisión térmica a través de los mismos.

El tipo de uso para los espacios habitables, acondicionados y no acondicionados es:

- Intensidad alta – 8 horas.

El tipo de uso para los espacios no habitables es:

- Intensidad baja – 8 horas.

Para los espacios no habitables se adopta el nivel de estanqueidad 3, suponiendo que todos sus componentes están bien sellados pero tienen pequeñas aberturas de ventilación. Según lo dispuesto en del *DB HE-1*, en el *Anejo E*.

La clase higrométrica para todos los espacios del edificio ya se ha justificado en el punto “5.1. Descripción”.

Para los espacios habitables, acondicionados y no acondicionados, partiendo del proyecto de la instalación eléctrica del edificio, se obtienen los siguientes datos:

- Potencia instalada de iluminación (W / m^2).
- Valor de eficiencia energética de la instalación del edificio objeto VEEI [$W / (m^2 \times 100 \text{ lux})$].
- VEEI límite según *CTE DB HE-3* [$W / (m^2 \times 100 \text{ lux})$], para el *Grupo 1*, zonas de no representación.

VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN							
Local	Factor de mantenimiento previsto	Iluminancia media horizontal mantenida	Potencia total instalada en lámparas y equipos auxiliares	Índice de rendimiento de color de las lámparas	Índice de deslumbramiento unificado	Valor de eficiencia energética de la instalación	VEEI límite Grupo 1
	F _m	E _m [lux] (UNE – EN 12.464 -1/2003)	P [W]	R _a	UGR (CIE nº 117)	VEEI = $\frac{P \times 100}{S \times E_m}$ [W/m ²]	VEEI [W/m ²]
PLANTA BAJA							
P02_E01	0,80	200	50	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	5,43	4,50
P02_E02	0,80	100	450	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	14,58	4,50
P02_E03	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P02_E04	0,80	100	252	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	4,17	4,50
P02_E05	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P02_E06	0,80	100	409	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	10,12	4,50
P02_E07	0,80	200	52	≥ 80	13 < UGR ≤ 16	2,22	4,50
P02_E08	0,80	200	268	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	4,83	4,50
P02_E09	0,80	500	168	≥ 80	13 < UGR ≤ 16	1,12	4,50
P02_E10	0,80	200	144	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	1,19	4,50
P02_E11	0,80	500	924	≥ 80	UGR ≤ 13	1,34	3,50
PLANTA PRIMERA							
P03_E01	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,20	4,00
P03_E02	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P03_E03	0,80	100	208	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	10,94	4,50
P03_E04	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P03_E05	0,80	500	72	≥ 80	UGR ≤ 13	1,00	3,50
P03_E06	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,21	4,00
P03_E07	0,80	100	144	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,35	4,50
P03_E08	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,23	4,00
P03_E09	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,17	4,00
P03_E10	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,20	4,00

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.

VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN							
Local	Factor de mantenimiento previsto	Iluminancia media horizontal mantenida	Potencia total instalada en lámparas y equipos auxiliares	Índice de rendimiento de color de las lámparas	Índice de deslumbramiento unificado	Valor de eficiencia energética de la instalación	VEEI límite Grupo 1
	F _m	E _m [lux] (UNE – EN 12.464 -1/2003)	P [W]	R _a	UGR (CIE nº 117)	$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m}$ [W/m ²]	VEEI [W/m ²]
PLANTA SEGUNDA							
P04_E01	0,80	500	324	≥ 80	UGR ≤ 13	1,08	4,00
P04_E02	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P04_E03	0,80	100	208	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	10,94	4,50
P04_E04	0,80	150	72	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,20	4,50
P04_E05	0,80	500	72	≥ 80	UGR ≤ 13	1,00	3,50
P04_E06	0,80	500	324	≥ 80	UGR ≤ 13	1,09	4,00
P04_E07	0,80	100	144	≥ 80	16 < UGR ≤ 19	3,35	4,50
P04_E08	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,23	4,00
P04_E09	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,17	4,00
P04_E10	0,80	300	216	≥ 80	UGR ≤ 13	1,20	4,00

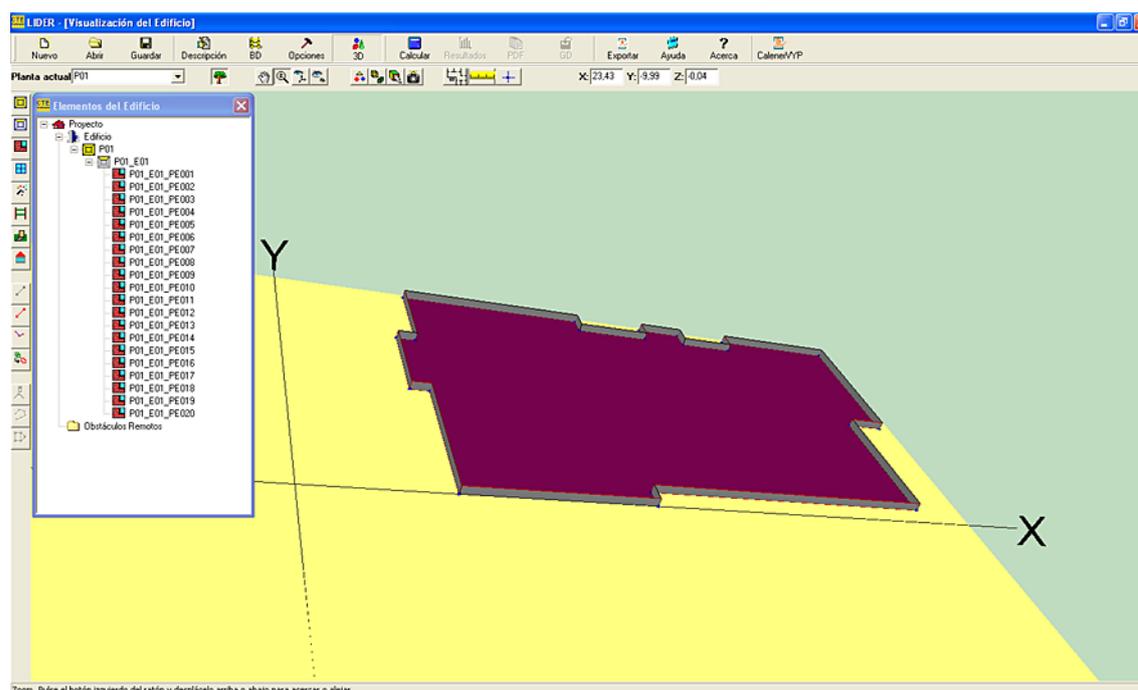
P01 – Cámara sanitaria.

Características de la planta:

- Altura de los espacios: 0,48 m.
- Cota: ± 0,00 m.

Esta planta está formada por un único espacio:

- P01_E01: Cámara sanitaria.
- Espacio no habitable.
- El número de pilares en contacto con el exterior es 23.



Modelización de la cámara sanitaria, en el apartado “3D” de LIDER.

P02 – Planta baja.

Características de la planta:

- Altura de los espacios: 3,24 m.
- Cota: + 0,48 m.

La planta se divide en once espacios con distintos usos:

- P02_E01: Almacén exterior.
Espacio no acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 1.
Potencia instalada de iluminación: $10,87 \text{ W / m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $5,43 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.
VEEI límite según CTE DB HE-3: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.
- P02_E02: Pasillo zona duchas + duchas profesores + duchas chicos + duchas chicas.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 3.
Potencia instalada de iluminación: $14,58 \text{ W / m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $14,58 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.
VEEI límite según CTE DB HE-3: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.
- P02_E03: Escaleras.
Espacio no acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 2.

Potencia instalada de iluminación: $4,80 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $3,20 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E04: Entrada + pasillo principal.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: $4,17 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $4,17 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E05: Escaleras.

Espacio no acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 2.

Potencia instalada de iluminación: $4,80 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $3,20 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E06: Zona común servicios + servicios chicos + servicios chicas.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 1.

Potencia instalada de iluminación: $10,12 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $10,12 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E07: Sala de calderas.

Espacio no acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 1.

Potencia instalada de iluminación: $4,45 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $2,22 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E08: Pasillo zona cocina + servicio C + servicio D + almacén.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: $9,66 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $4,83 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E09: Cocina + almacén cocina.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 4.

Potencia instalada de iluminación: $5,62 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,12 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E10: Comedor – usos múltiples.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 3.

Potencia instalada de iluminación: $2,37 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,19 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P02_E11: Pasillo despacho 01 + despacho 01 + sala de profesores + pasillo zona despachos + despacho 03 + despacho 04 + servicio despacho 04 + despacho 05 + despacho 06 + servicio A + servicio B + recepción.

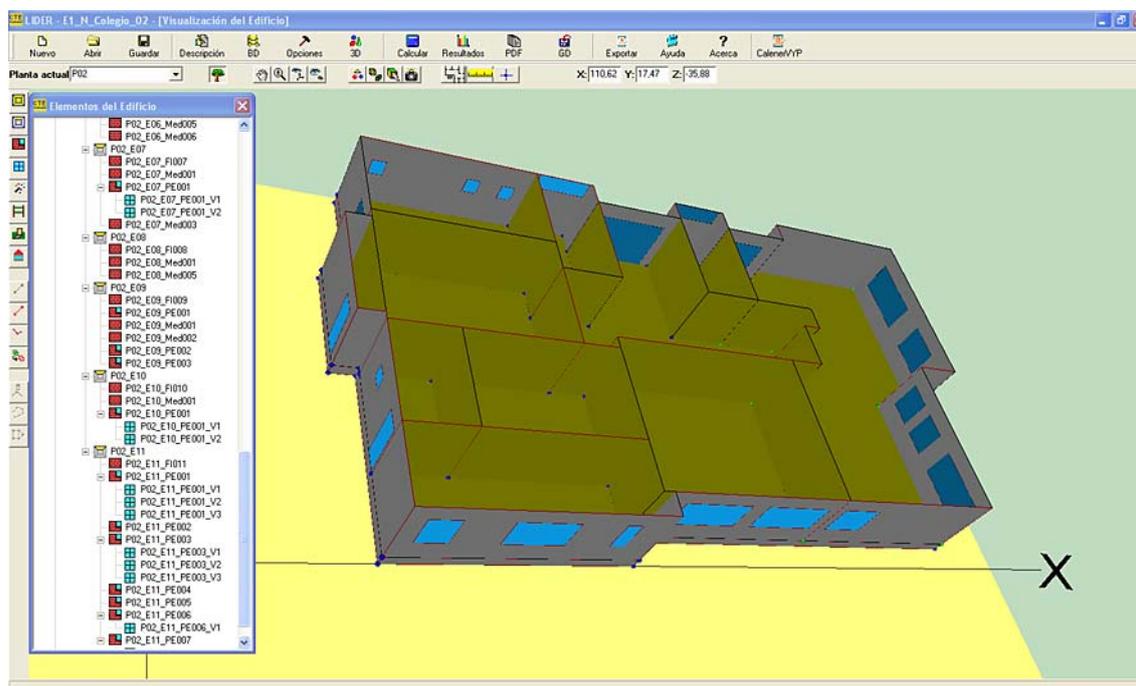
Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 10.

Potencia instalada de iluminación: $6,69 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,34 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $3,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.



Modelización de la planta baja, en el apartado "3D" de LIDER.

P03 – Planta primera.

Características de la planta:

- Altura de los espacios: 3,24 m.
- Cota: + 3,72 m.

La planta se divide en diez espacios con distintos usos:

- P03_E01: Aula 12.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 5.
Potencia instalada de iluminación: 3,59 W / m².
VEEI del edificio objeto: 1,20 W / (m² × 100 lux).
VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,00 W / (m² × 100 lux).
- P03_E02: Escaleras.
Espacio no acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 2.
Potencia instalada de iluminación: 4,80 W / m².
VEEI del edificio objeto: 3,20 W / (m² × 100 lux).
VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).
- P03_E03: Zona común servicios + servicios chicos + servicios chicas.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 0.
Potencia instalada de iluminación: 10,94 W / m².
VEEI del edificio objeto: 10,94 W / (m² × 100 lux).
VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).
- P03_E04: Escaleras.
Espacio no acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 2.
Potencia instalada de iluminación: 4,80 W / m².
VEEI del edificio objeto: 3,20 W / (m² × 100 lux).
VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).
- P03_E05: Despacho 11.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 0.
Potencia instalada de iluminación: 5,01 W / m².
VEEI del edificio objeto: 1,00 W / (m² × 100 lux).
VEEI límite según CTE DB HE-3: 3,50 W / (m² × 100 lux).
- P03_E06: Aula 11.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 6.

Potencia instalada de iluminación: $3,64 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,21 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P03_E07: Pasillo.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: $3,35 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $3,35 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,50 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P03_E08: Aula 13.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 5.

Potencia instalada de iluminación: $3,68 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,23 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P03_E09: Aula 14.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 2.

Potencia instalada de iluminación: $3,52 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,17 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

- P03_E10: Aula 15.

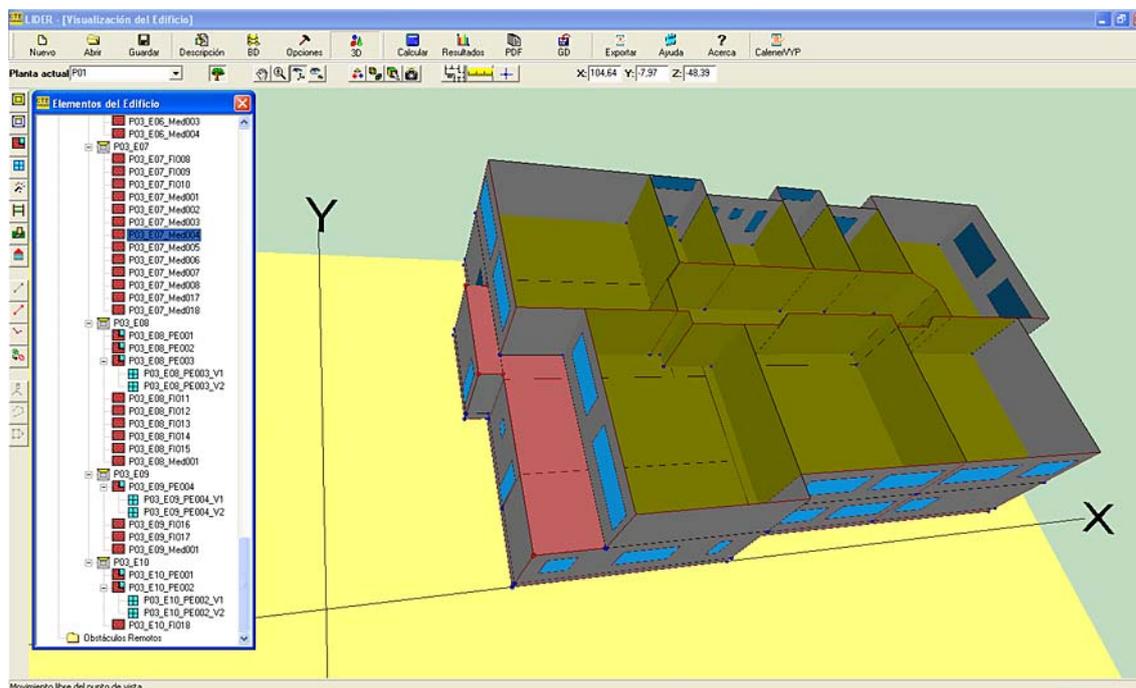
Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 5.

Potencia instalada de iluminación: $3,55 \text{ W / m}^2$.

VEEI del edificio objeto: $1,20 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.

VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W / (m}^2 \times 100 \text{ lux)}$.



Modelización de la planta primera, en el apartado “3D” de LIDER.

P04 – Planta segunda.

Características de la planta:

- Altura de los espacios: 3,21 m.
- Cota: + 6,96 m.

La planta se divide en diez espacios con distintos usos:

- P04_E01: Biblioteca.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 5.
Potencia instalada de iluminación: $5,38 \text{ W} / \text{m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $1,08 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
VEEI límite según CTE DB HE-3: $4,00 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
- P04_E02: Escaleras.
Espacio no acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 2.
Potencia instalada de iluminación: $4,80 \text{ W} / \text{m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $3,20 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
VEEI límite según CTE DB HE-3: $4,50 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.

- P04_E03: Zona común servicios + servicios chicos + servicios chicas.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: 10,94 W / m².

VEEI del edificio objeto: 10,94 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).

- P04_E04: Escaleras.

Espacio no acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 2.

Potencia instalada de iluminación: 4,80 W / m².

VEEI del edificio objeto: 3,20 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).

- P04_E05: Despacho 21.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: 5,01 W / m².

VEEI del edificio objeto: 1,00 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 3,50 W / (m² × 100 lux).

- P04_E06: Sala de estudios.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 6.

Potencia instalada de iluminación: 5,47 W / m².

VEEI del edificio objeto: 1,09 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,00 W / (m² × 100 lux).

- P04_E07: Pasillo.

Espacio acondicionado.

El número de pilares en contacto con el exterior es 0.

Potencia instalada de iluminación: 3,35 W / m².

VEEI del edificio objeto: 3,35 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,50 W / (m² × 100 lux).

- P04_E08: Aula 21.

Espacio acondicionado.

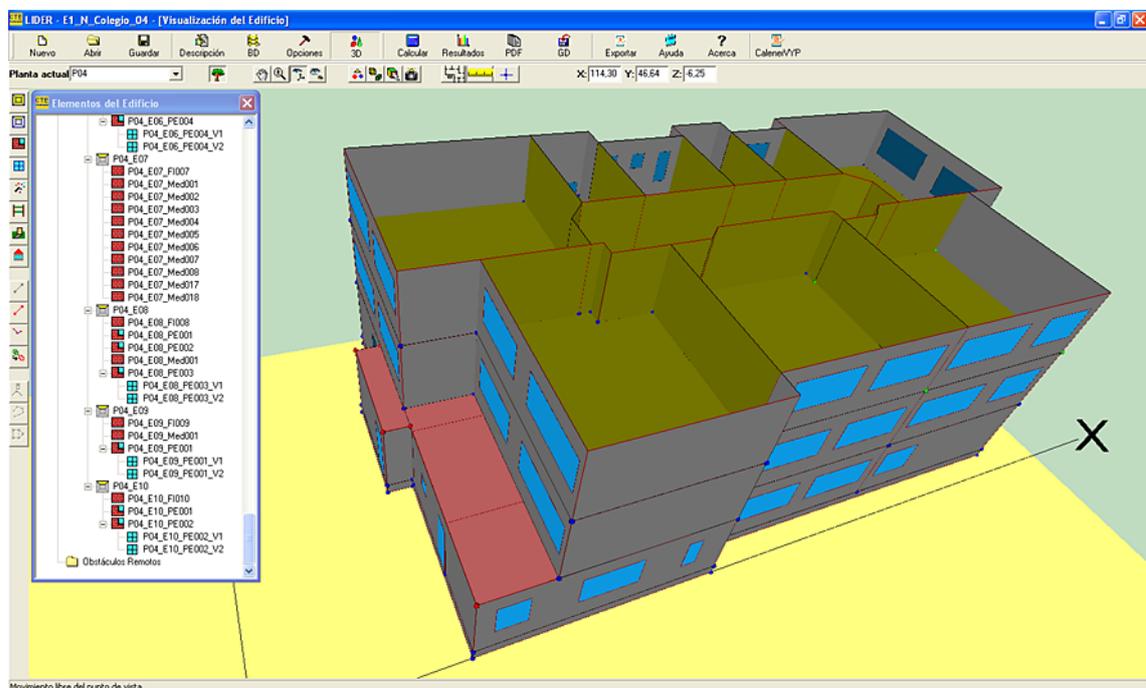
El número de pilares en contacto con el exterior es 5.

Potencia instalada de iluminación: 3,68 W / m².

VEEI del edificio objeto: 1,23 W / (m² × 100 lux).

VEEI límite según CTE DB HE-3: 4,00 W / (m² × 100 lux).

- P04_E09: Aula 22.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 2.
Potencia instalada de iluminación: $3,52 \text{ W} / \text{m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $1,17 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
- P04_E10: Aula 23.
Espacio acondicionado.
El número de pilares en contacto con el exterior es 5.
Potencia instalada de iluminación: $3,55 \text{ W} / \text{m}^2$.
VEEI del edificio objeto: $1,20 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.
VEEI límite según *CTE DB HE-3*: $4,00 \text{ W} / (\text{m}^2 \times 100 \text{ lux})$.



Modelización de la planta segunda, en el apartado "3D" de LIDER.

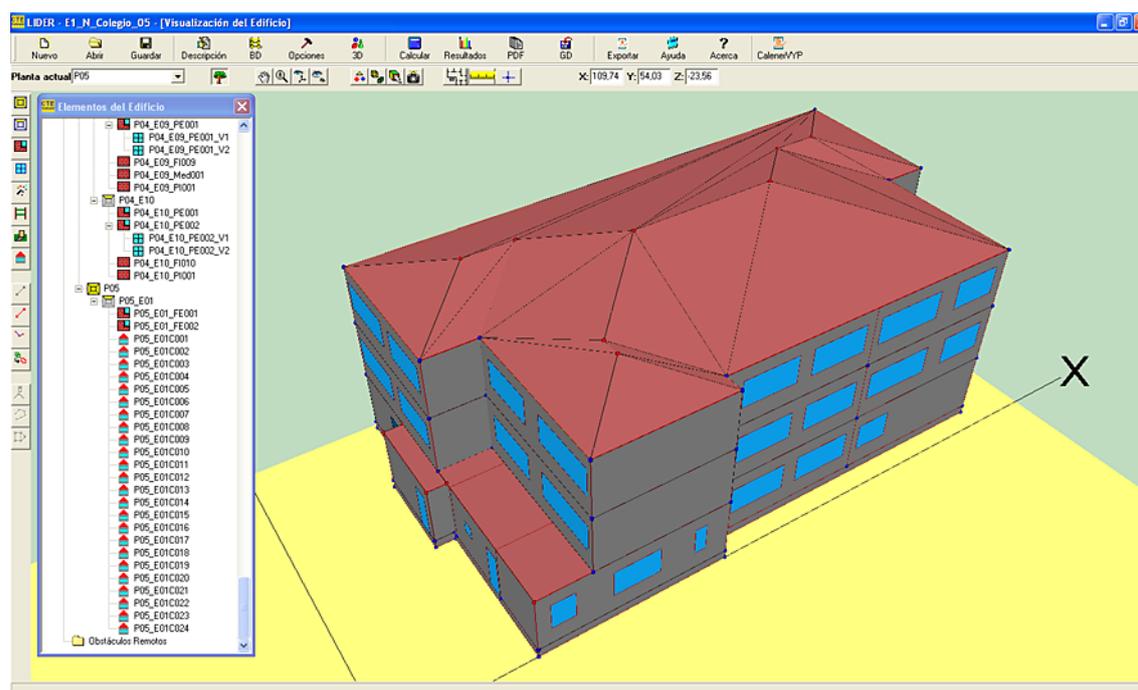
P05 – Cubierta.

Características de la planta:

- Altura de los espacios: 2,36 m en la cubrera.
- Cota: + 10,17 m.

Esta planta está formada por un único espacio:

- P05_E01: Espacio bajo la cubierta inclinada.
- Espacio no habitable.
- El número de pilares en contacto con el exterior es 0.



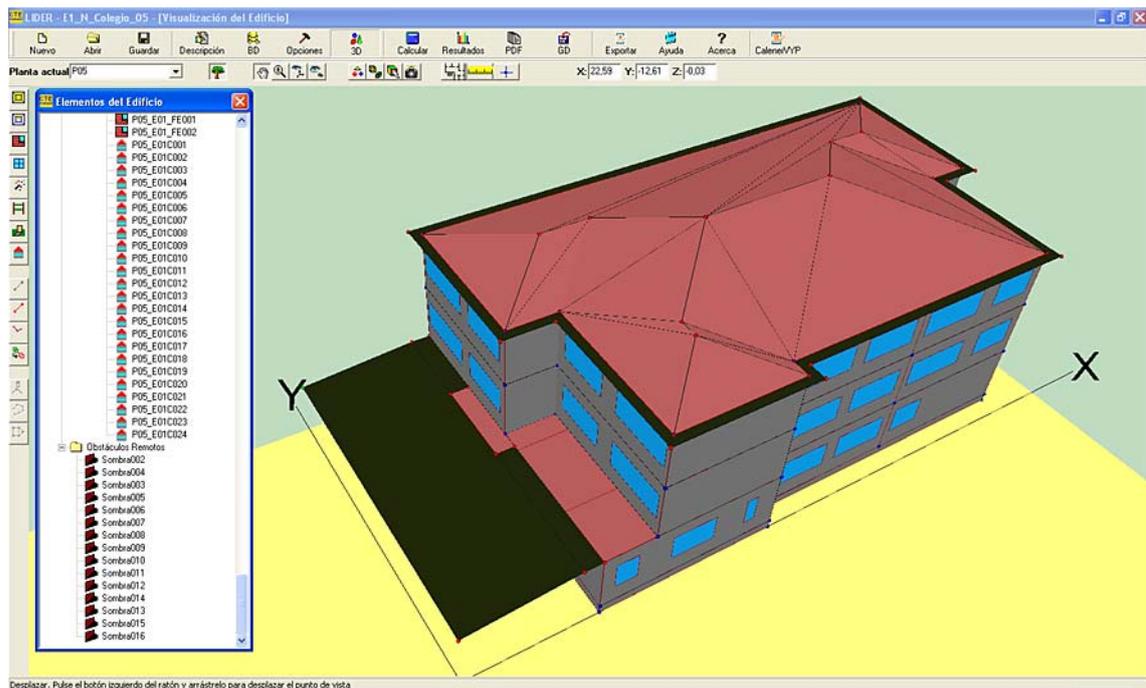
Modelización de la planta de cubierta, en el apartado "3D" de LIDER.

Elementos de sombra.

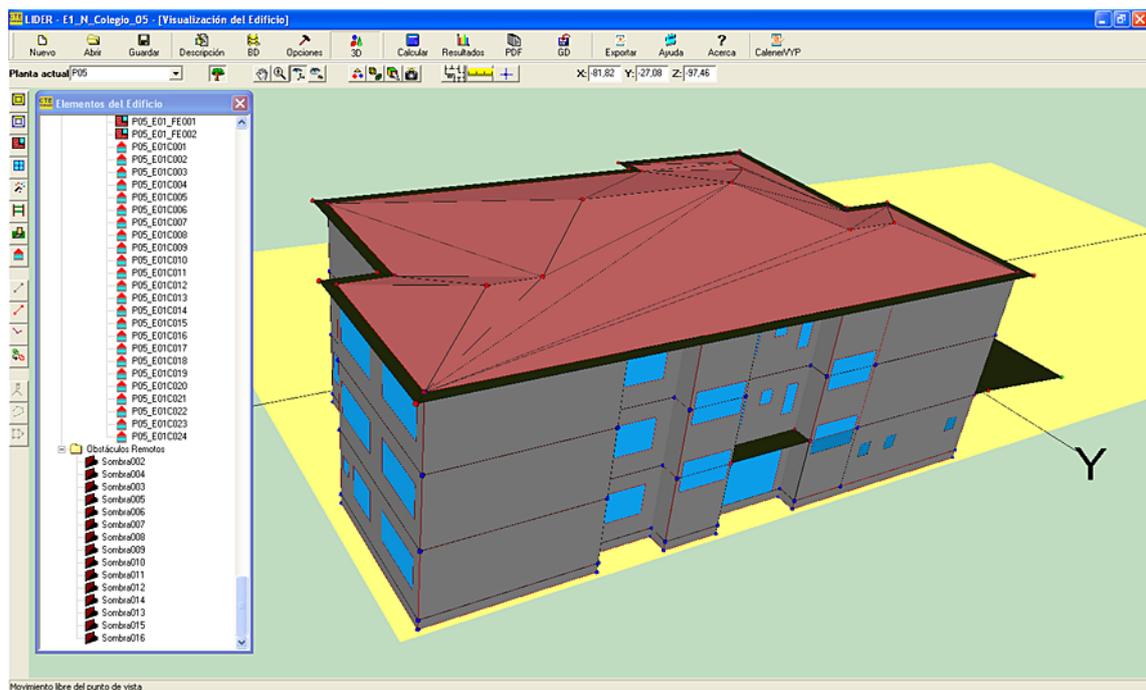
Los elementos de sombra propios del edificio son aquellos que no están asociados a la envolvente térmica del edificio, ni a las ventanas, y sin embargo proyectan sombras sobre elementos del edificio. En este edificio los hay de tres clases:

- Cobertizo exterior: a la derecha de la fachada principal, a la altura del techo de la planta baja.
- Voladizo: sobre la entrada principal, a la altura del techo de la planta baja.
- Aleros: en el perímetro de la cubierta inclinada. Todos ellos tienen un vuelo de medio metro desde las caras exteriores de las fachadas.

Seguidamente se ofrecen dos vistas de la modelización completa del edificio con todos los elementos que le componen.

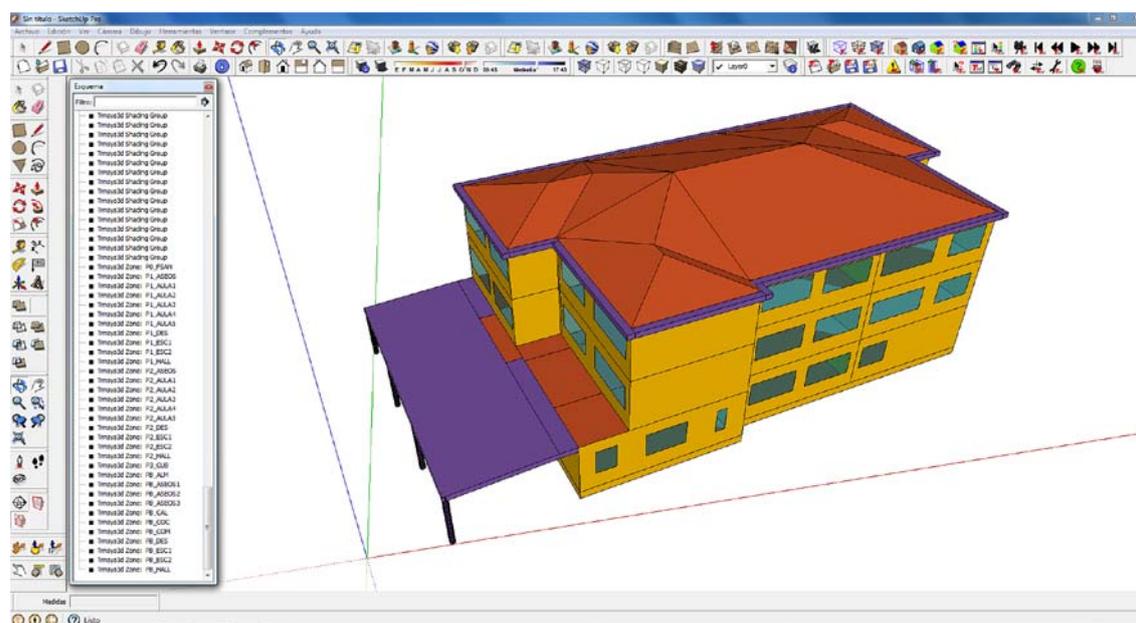


Modelización completa del edificio visto desde el Oeste y Sur, en el apartado "3D" de LIDER.



Modelización completa del edificio visto desde el Este y Norte, en el apartado "3D" de LIDER.

A título informativo, se ofrece una vista la modelización del mismo edificio realizada con los programas *Google SketchUp Pro* y *Trnsys3D*.



Modelización completa del edificio visto desde el Este y Norte, con los programas *Google SketchUp Pro* y *Trmsys3D*.

Obstáculos remotos.

Los elementos obstáculos remotos permiten especificar la posición, tamaño y orientación de aquellos obstáculos que, sin formar parte del edificio, proyectan sombras sobre éste como sucede con los edificios adyacentes.

Tal y como se ha adelantado en el punto “2.1. Metodología y plan de trabajo”, no se van a considerar en este estudio ya que se van a comparar distintas ubicaciones y orientaciones para el mismo edificio.

Calcular.

Terminada la modelización del edificio se activa la opción “Calcular” del programa *LIDER*, para que determine si el edificio cumple con las especificaciones del *DB HE-1*, y en caso negativo especificar cuáles son los incumplimientos.

Exportación a *CALENER VYP*.

Terminados los cálculos con *LIDER*, se exporta la definición geométrica y constructiva del edificio a *CALENER VYP* para realizar la calificación de eficiencia energética. Para ello, se introducen todos los datos referentes a las instalaciones de producción de agua caliente sanitaria y calefacción. El *CALENER* es un entorno de aplicaciones y documentos informáticos destinado a la calificación energética de los edificios, desarrollado por la Cátedra de Termotecnia de ETSII de Sevilla.

6.5. SISTEMA.

Demandas a.c.s.

Se va a calcular la demanda de agua caliente sanitaria para el edificio según lo dispuesto en el *Código Técnico de la Edificación*, en el *DB HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*.

Según la *Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60 °C* del artículo 3.1.1. *Cálculo de la demanda*, el criterio de demanda para escuelas es:

- 3 litros de a.c.s. a 60 °C por alumno y día.

Según el Instituto de Evaluación para el Sistema Estatal de Indicadores de la Educación, de acuerdo con la actual legislación educativa, el número medio de alumnos por grupo educativo y por profesor no superará el máximo de 25 alumnos por aula de educación primaria. Luego el número total de personas en el edificio será:

- 25 alumnos × 8 aulas = 200 alumnos.

Luego la demanda total de a.c.s. del edificio será:

- 200 alumnos × 3 litros de a.c.s. a 60 °C / alumno y día = 600 litros / día.

Para introducir la demanda de a.c.s. en *CALENER VYP* hay que hacer una adaptación, pues el programa necesita el consumo total diario referido al área habitable cubierta:

- $600 \text{ (litros / día)} / 1.245,29 \text{ m}^2 = 0,48 \text{ (litros / m}^2 \times \text{ día)}$.

Unidades terminales.

Los espacios habitables acondicionados están calefactados con unidades terminales de agua caliente, conocidas comúnmente como radiadores. Están fabricados con chapa de acero.

Acudiendo al proyecto de instalaciones de calefacción y a.c.s. del edificio, se obtienen los datos necesarios para conocer la potencia de las unidades terminales de cada recinto del edificio.

Para hallar la potencia instalada en cada espacio habitable acondicionado, se suma la potencia de los radiadores de los distintos recintos que los componen, análogamente al cálculo de la potencia eléctrica para la iluminación, expuesto en el punto “5.4. Modelización 3D”. Se puede ver en la siguiente tabla:

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.

ESPACIO	POTENCIA (kcal / h)	POTENCIA (kW)
CÁMARA SANITARIA		
P01_E01	---	---
PLANTA BAJA		
P02_E01	---	---
P02_E02	$570 + 712 + 712 + 996 = 2.990$	3,48
P02_E03	---	---
P02_E04	$1.757 = 1.757$	2,04
P02_E05	---	---
P02_E06	$712 + 854 = 1.566$	1,82
P02_E07	---	---
P02_E08	$427 + 427 = 854$	0,99
P02_E09	$2.727 = 2.727$	3,17
P02_E10	$2 \times 1.560 = 3.120$	3,63
P02_E11	$712 + (2 \times 1.100) + 427 + 550 + 427 + 733 + 1.757 + 427 + 427 + 916 = 8.576$	9,97
PLANTA PRIMERA		
P03_E01	$2 \times 1.828 = 3.656$	4,25
P03_E02	---	---
P03_E03	$427 + 712 = 1.139$	1,32
P03_E04	---	---
P03_E05	$818 = 818$	0,95
P03_E06	$2 \times 1.909 = 3.818$	4,44
P03_E07	$1.139 = 1.139$	1,32
P03_E08	$2 \times 1.708 = 3.416$	3,97
P03_E09	$2 \times 1.281 = 2.562$	2,98
P03_E10	$2 \times 1.560 = 3.120$	3,63
PLANTA SEGUNDA		
P04_E01	$2 \times 1.981 = 3.962$	4,61
P04_E02	---	---
P04_E03	$818 + 712 = 1.530$	1,78
P04_E04	---	---
P04_E05	$818 = 818$	0,95
P04_E06	$2 \times 1.909 = 3.818$	4,44
P04_E07	$1.139 = 1.139$	1,32
P04_E08	$2 \times 1.909 = 3.818$	4,44
P04_E09	$2 \times 1.364 = 2.728$	3,17
P04_E10	$2 \times 1.649 = 3.298$	3,84
CUBIERTA		
P05_E01	---	---

Dentro del apartado “Sistema” del *CALENER VYP*, se crean las unidades terminales de agua caliente con el mismo nombre del espacio al que corresponden para facilitar su posterior asignación. A cada una se le atribuye la capacidad nominal en kW indicada en la tabla anterior.

Equipos.

En este apartado se introduce la caldera, cuyas características se han obtenido del proyecto de instalaciones de calefacción y a.c.s. del edificio:

- Equipo caldera eléctrica o de combustible.
- EQ_Caldera-ACS-Convencional-Defecto.
- Propiedades básicas:
 - Capacidad total: 80.000 kcal / h = 93,04 KW.
 - Rendimiento nominal: 0,88.
 - Tipo de energía: Gasóleo.
- Propiedades avanzadas. Se han importado unas tablas asociadas para:
 - Corrección de la capacidad por temperatura.
 - Corrección del rendimiento por temperatura.
 - Corrección del rendimiento por carga parcial en potencia.
 - Corrección del rendimiento por carga parcial en tiempo.

Sistemas.

En este apartado se ensamblan todos los elementos creados anteriormente, en un:

- Sistema mixto de calefacción y a.c.s.
- Propiedades básicas:
 - Equipo acumulador: ninguno.
 - Fracción cubierta por energía solar: 0,0 %.
 - Temperatura de impulsión sanitaria: 60 °C.
 - Temperatura de impulsión de calefacción: 80 °C.
- Equipos:
 - Se agrega la caldera de gasóleo definida anteriormente.
- Demanda a.c.s.:
 - Se agrega la demanda de a.c.s. definida anteriormente.
- Unidades terminales:
 - Cada unidad terminal definida, se asocia con su zona o espacio homónimo tal y como se ha explicado, y se van agregando al sistema.

Factores de corrección.

Son las curvas de capacidad y de rendimiento asociadas a la caldera que se han importado de la base de datos.

Calcular calificación.

Terminado de ensamblar el sistema, se activa la opción “Calcular calificación” del programa *CALENER VYP*, para obtener la calificación energética del edificio.

7. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO. VARIANTES DEL ESTADO ACTUAL.

7.1. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN SUR.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Sur: $\alpha = 180^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – S – A.

7.2. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN ESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Este: $\alpha = 90^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – E – A.

7.3. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN OESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Oeste: $\alpha = 270^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – 0 – A.

7.4. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN NORTE.

Zonificación climática.

Las dos zonas climáticas con condiciones intermedias de severidad para verano e invierno serían:

- C2: Barcelona, Gerona y Orense.
- C3: Granada.

Se elige la zona C2 por representar a más capitales de provincia, y entre ellas se elige a Orense para tener un caso de clima atlántico interior.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – N – A.

7.5. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN SUR.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Sur: $\alpha = 180^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – S – A.

7.6. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN ESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Este: $\alpha = 90^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – E – A.

7.7. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN OESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Oeste: $\alpha = 270^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – 0 – A.

7.8. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN NORTE.

Zonificación climática.

La zona climática con peores condiciones de severidad para verano y mejores para el invierno es:

- A4: Almería.

Es un caso de clima mediterráneo costero.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – N – A.

7.9. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN SUR.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Sur: $\alpha = 180^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – S – A.

7.10. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN ESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Este: $\alpha = 90^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – E – A.

7.11. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN OESTE.

Orientación del edificio.

Identificado el eje X del edificio con la fachada principal, y siendo el eje Y perpendicular a éste, se define la orientación del edificio como el ángulo que forma el Norte con el eje Y positivo, medido desde el Norte, y siendo positivo en el sentido de las agujas del reloj.

- Orientación Oeste: $\alpha = 270^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – 0 – A.

8. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO. AISLAMIENTO POR EL INTERIOR.

8.1. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN NORTE.

Orientación del edificio.

De las cuatro orientaciones posibles para el edificio ubicado en la zona climática E1, se estudia la rehabilitación energética de las fachadas mediante el aislamiento por el interior para la orientación con menor demanda energética anual de calefacción, como figura en el punto “14. Análisis de los resultados”.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – N – D.

Fachada aislada por el interior.

Aislamiento de 5 cm de poliuretano proyectado por el interior, con un trasdosado de paneles de doble placa de cartón yeso sobre entramado de perfilera de acero galvanizado.

Se sigue considerando el acabado interior como guarnecido y enlucido de yeso, por ser el predominante.

FACHADA AISLADA POR EL INTERIOR	
Composición desde el exterior hacia el interior	Espesor (cm)
Ladrillo cara vista de 25 x 12 x 7 cm	12,0
Enfoscado de la cámara con mortero hidrófugo	1,0
Cámara de aire vertical no ventilada	5,0
Fábrica de ladrillo hueco doble	7,0
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
Poliuretano proyectado	5,0
Doble panel de cartón yeso	3,0
TOTAL:	34,00

Base de datos. Materiales y productos opacos.

Se crea el cerramiento “Fachada_dentro” partiendo del cerramiento “Fachada_inicial”, añadiendo los elementos constructivos señalados con sus espesores correspondientes.

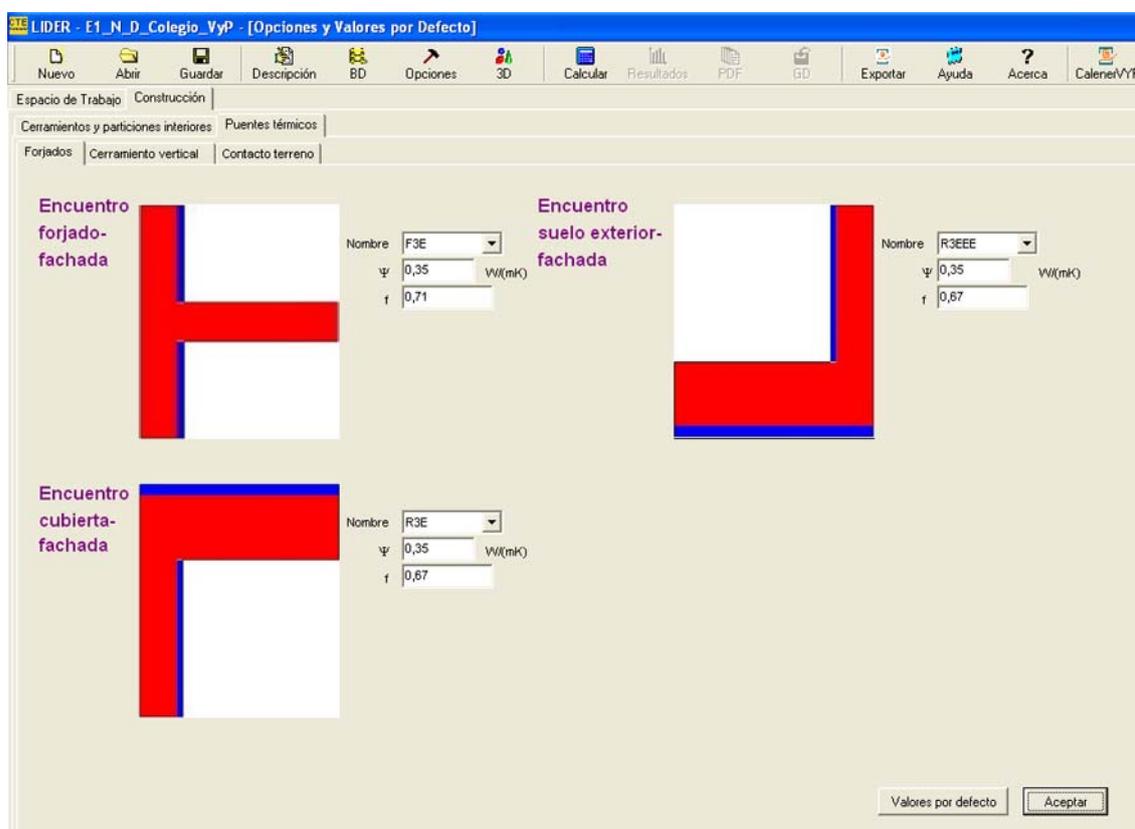
Se hace la sustitución en el modelizado 3D del edificio, en todas y cada una de las fachadas exteriores de los distintos espacios.

Construcción. Puentes térmicos.

En este apartado el programa *LIDER* tiene predefinidos distintos modelos de puentes térmicos lineales para toda la casuística constructiva, agrupados en encuentros de forjados, cerramientos verticales y en contacto con el terreno.

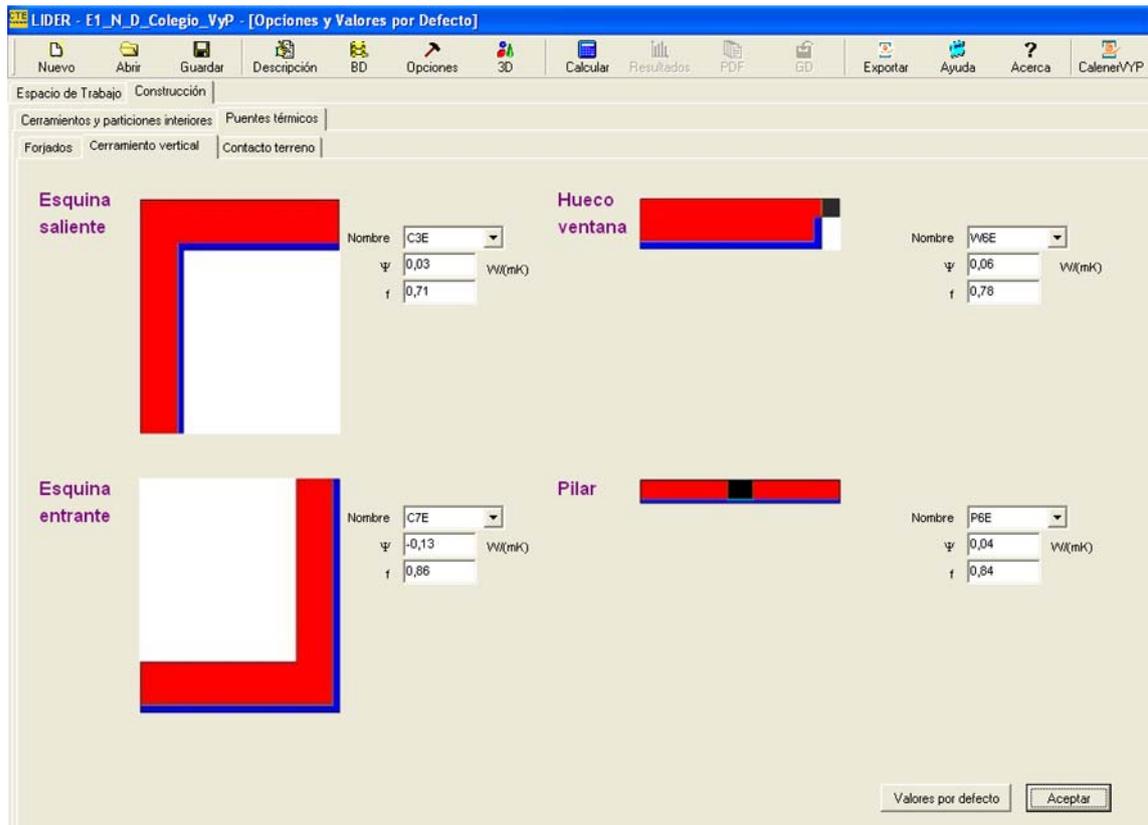
Se eligen para cada caso los más parecidos a los que se puedan presentar en el edificio, teniendo en cuenta sus nuevas características constructivas derivadas del aislamiento por el interior de las fachadas. Se obtienen de su propia base de datos los valores de:

- Transmitancia térmica lineal (ψ), en $W / (m \times K)$.
- Factor de temperatura superficial interior (f), que es adimensional.

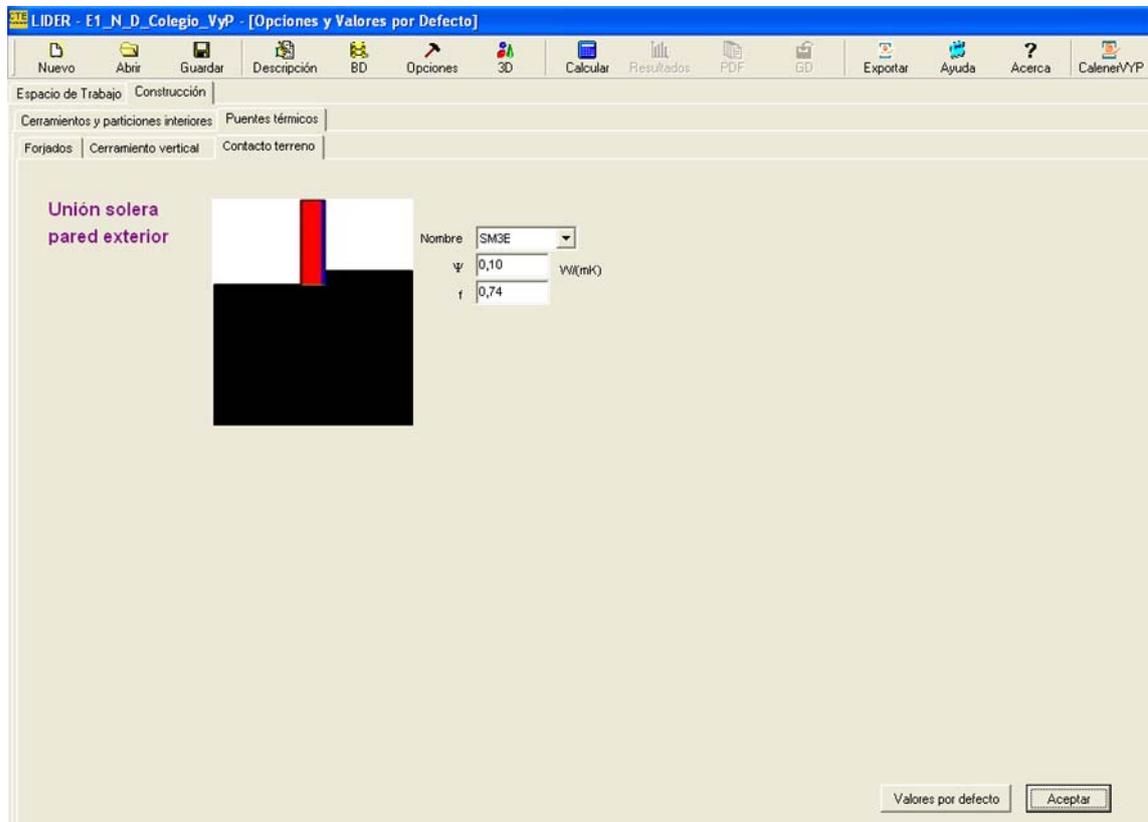


Puentes térmicos. Forjados, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.



Puentes térmicos. Cerramiento vertical, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.



Puentes térmicos. Contacto terreno, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

9. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.
VARIANTES DEL AISLAMIENTO POR EL INTERIOR.

9.1. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – N – D.

9.2. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – N – D.

10. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO. AISLAMIENTO INTERMEDIO.

10.1. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN NORTE.

Orientación del edificio.

De las cuatro orientaciones posibles para el edificio ubicado en la zona climática E1, se estudia la rehabilitación energética de las fachadas mediante la inyección de aislamiento en la cámara de aire para la orientación con menor demanda energética anual de calefacción, como figura en el punto “14. Análisis de los resultados”.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – N – M.

Fachada con aislamiento intermedio.

Aislamiento de 5 cm de poliuretano inyectado en el interior de la cámara de aire vertical no ventilada.

Se sigue considerando el acabado interior como guarnecido y enlucido de yeso, por ser el predominante.

FACHADA CON AISLAMIENTO INTERMEDIO	
Composición desde el exterior hacia el interior	Espesor (cm)
Ladrillo cara vista de 25 x 12 x 7 cm	12,0
Enfoscado de la cámara con mortero hidrófugo	1,0
Poliuretano inyectado	5,0
Fábrica de ladrillo hueco doble	7,0
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
TOTAL:	26,00

Base de datos. Materiales y productos opacos.

Se crea el cerramiento “Fachada_intermedio” partiendo del cerramiento “Fachada_inicial”, añadiendo el elemento constructivo señalado con su espesor correspondiente.

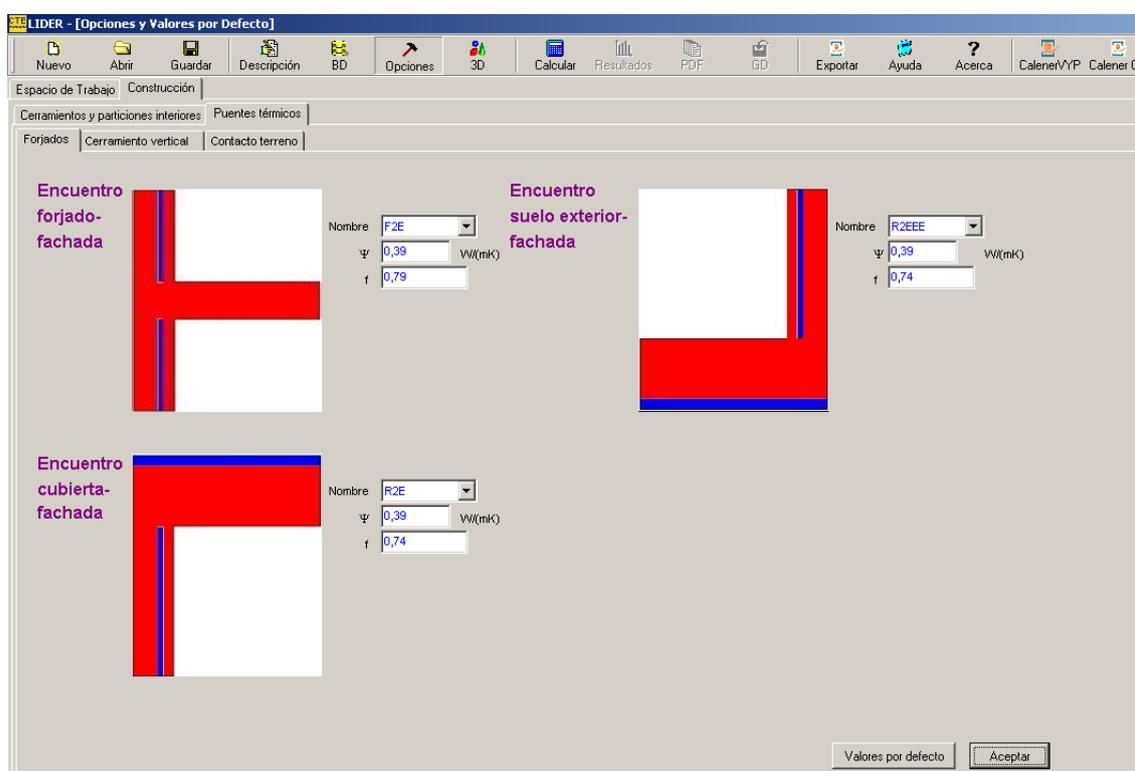
Se hace la sustitución en el modelizado 3D del edificio, en todas y cada una de las fachadas exteriores de los distintos espacios.

Construcción. Puentes térmicos.

En este apartado el programa *LIDER* tiene predefinidos distintos modelos de puentes térmicos lineales para toda la casuística constructiva, agrupados en encuentros de forjados, cerramientos verticales y en contacto con el terreno.

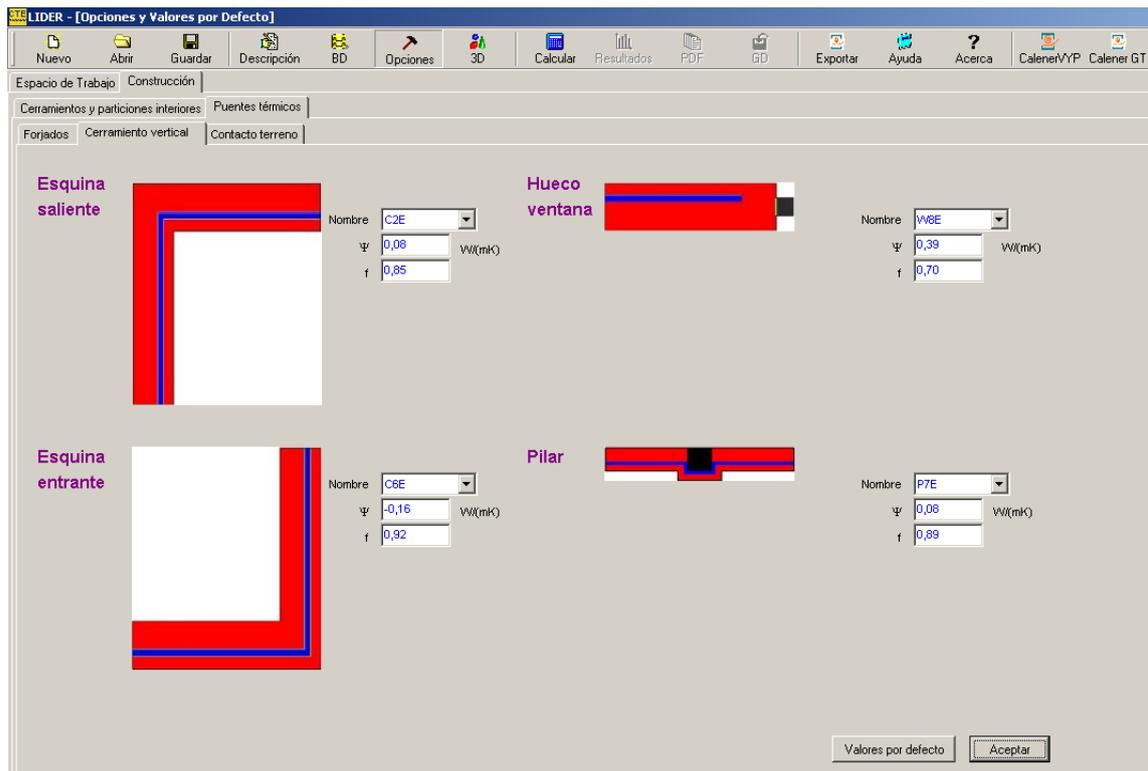
Se eligen para cada caso los más parecidos a los que se puedan presentar en el edificio, teniendo en cuenta sus nuevas características constructivas derivadas del aislamiento intermedio en las cámaras de aire de las fachadas. Se obtienen de su propia base de datos los valores de:

- Transmitancia térmica lineal (ψ), en $W / (m \times K)$.
- Factor de temperatura superficial interior (f), que es adimensional.

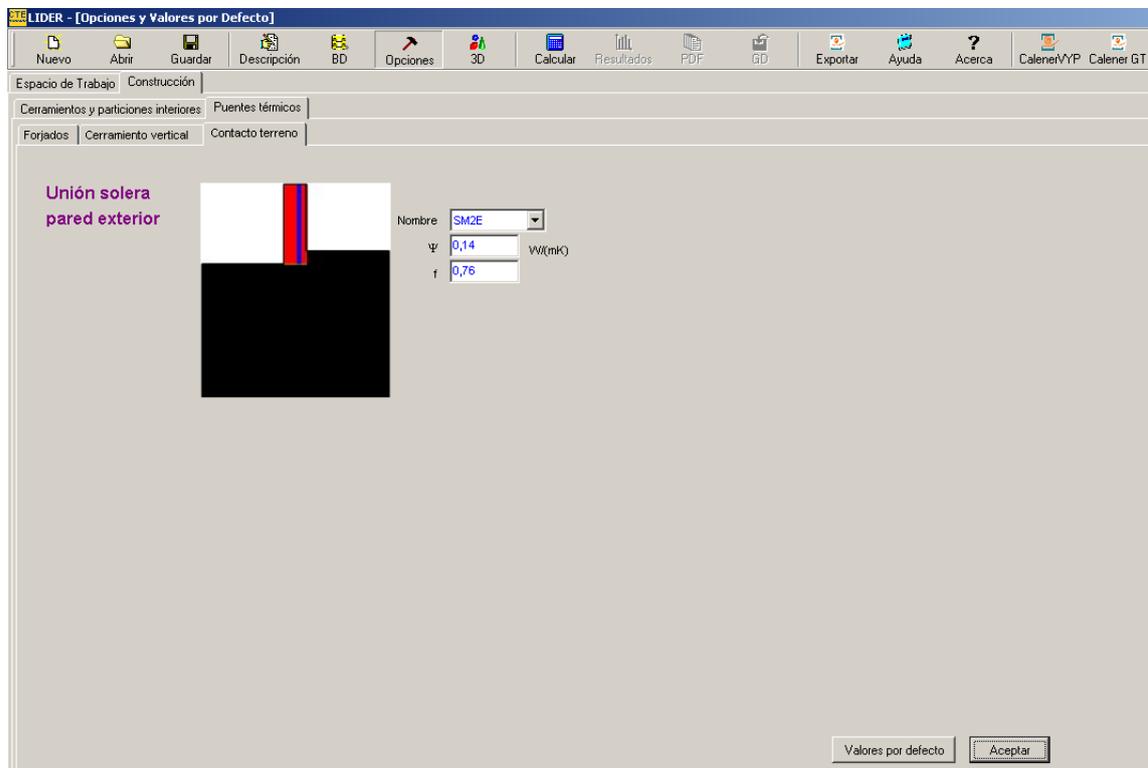


Puentes térmicos. Forjados, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.



Puentes térmicos. Cerramiento vertical, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.



Puentes térmicos. Contacto terreno, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

11. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.
VARIANTES DEL AISLAMIENTO INTERMEDIO.

11.1. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – N – M.

11.2. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – N – M.

12. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO. AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR.

12.1. ZONA CLIMÁTICA E1. ORIENTACIÓN NORTE.

Orientación del edificio.

De las cuatro orientaciones posibles para el edificio ubicado en la zona climática E1, se estudia la rehabilitación energética de las fachadas mediante el aislamiento por el exterior para la orientación con menor demanda energética anual de calefacción, como figura en el punto “14. Análisis de los resultados”.

- Orientación Norte: $\alpha = 0^\circ$.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. E1 – N – F.

Fachada aislada por el exterior.

Existen en el mercado múltiples soluciones de acabado para las fachadas ventiladas: aplacado de piedra natural de distintas clases, paneles de hormigón polímero, de aluminio, de compuestos plásticos, etc. Sin embargo, se ha elegido para este estudio el acabado con plaquetas cerámicas de gres por las siguientes razones:

- Presenta un excelente comportamiento frente a los agentes atmosféricos, y además, tiene una mayor dureza que otros materiales.
- Las piezas de cerámica son de gres de sólo 10 mm de espesor. Así, la subestructura debe soportar un menor peso y en consecuencia sufre un menor desgaste que otros sistemas ventilados, además de transmitir menores cargas a la estructura original del edificio.
- Van enmalladas por el dorso de la baldosa, proporcionando así una mayor seguridad en caso de rotura accidental.
- Tiene propiedades antigrafiti y es autolimpiable debido a su casi nula absorción, además de inalterabilidad frente a los agentes atmosféricos.
- Ofrece una mayor uniformidad en el tono frente a otros materiales y una mayor disponibilidad de material en caso de rotura o ampliación y más fácil recambio.

Aislamiento proyectado de 5 cm por el exterior para fachadas ventiladas, con cámara de aire ventilada vertical y acabado superficial mediante aplacado cerámico de gres.

Se sigue considerando el acabado interior como guarnecido y enlucido de yeso, por ser el predominante.

FACHADA CON AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR	
Composición desde el exterior hacia el interior	Espesor (cm)
Baldosa cerámica de gres	1,0
Cámara de aire ligeramente ventilada	5,0
Poliuretano proyectado	5,0
Ladrillo cara vista de 25 x 12 x 7 cm	12,0
Enfoscado de la cámara con mortero hidrófugo	1,0
Cámara de aire vertical no ventilada	5,0
Fábrica de ladrillo hueco doble	7,0
Guarnecido y enlucido de yeso	1,0
TOTAL:	37,00

Base de datos. Materiales y productos opacos.

Se crea el cerramiento “Fachada_exterior” partiendo del cerramiento “Fachada_inicial”, añadiendo los elementos constructivos señalados con sus espesores correspondientes.

Se hace la sustitución en el modelizado 3D del edificio, en todas y cada una de las fachadas exteriores de los distintos espacios.

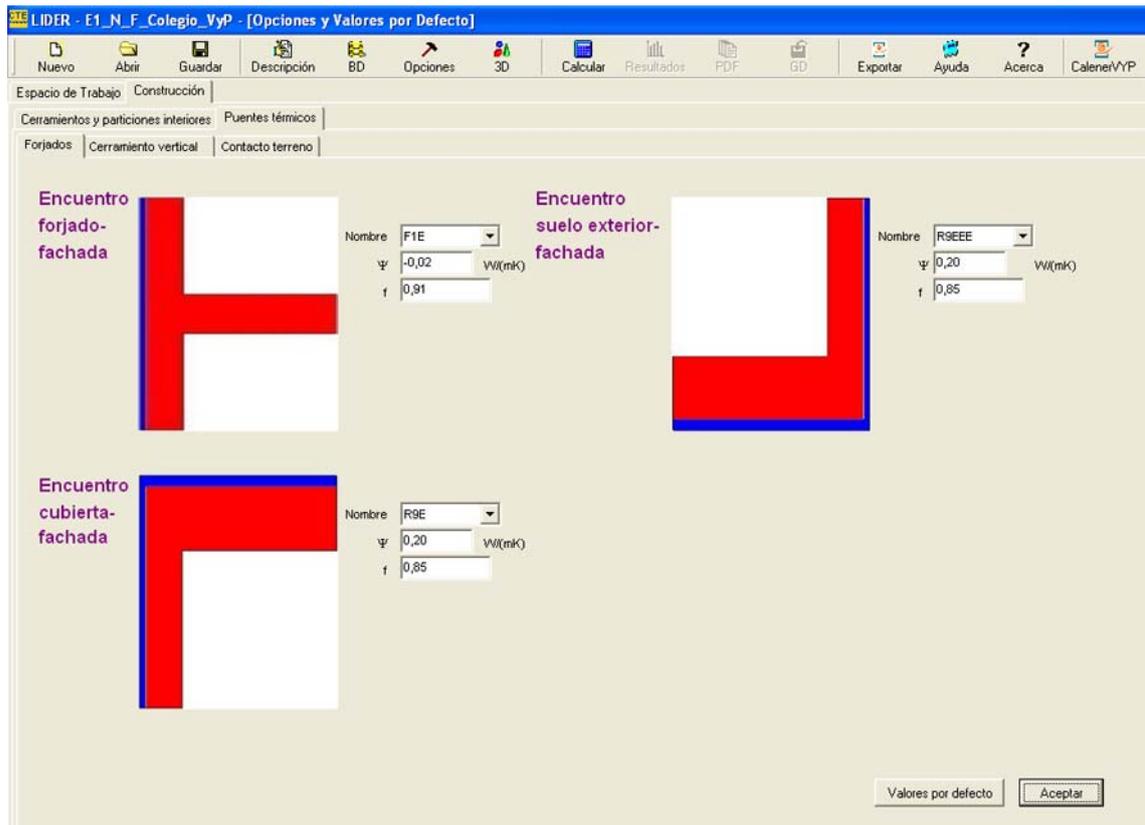
Construcción. Puentes térmicos.

En este apartado el programa *LIDER* tiene predefinidos distintos modelos de puentes térmicos lineales para toda la casuística constructiva, agrupados en encuentros de forjados, cerramientos verticales y en contacto con el terreno.

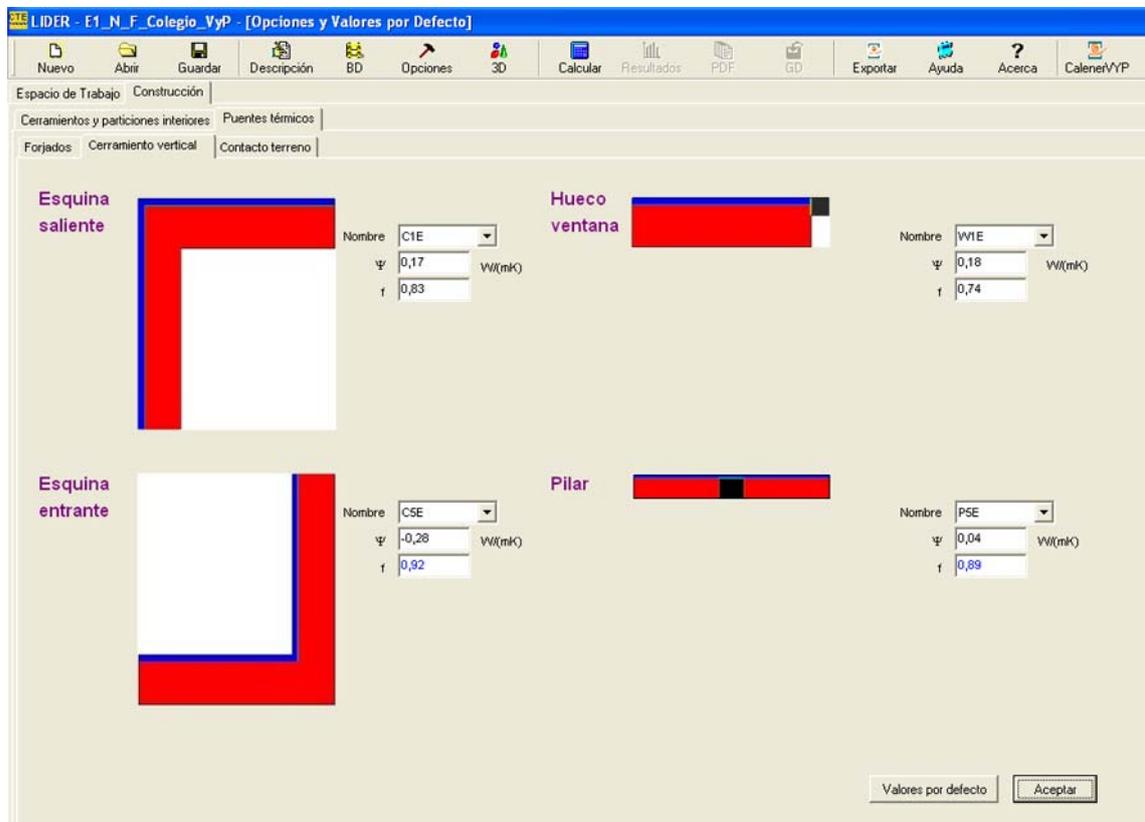
Se eligen para cada caso los más parecidos a los que se puedan presentar en el edificio, teniendo en cuenta sus nuevas características constructivas derivadas del aislamiento por el exterior de las fachadas. Se obtienen de su propia base de datos los valores de:

- Transmitancia térmica lineal (ψ), en $W / (m \times K)$.
- Factor de temperatura superficial interior (f), que es adimensional.

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.

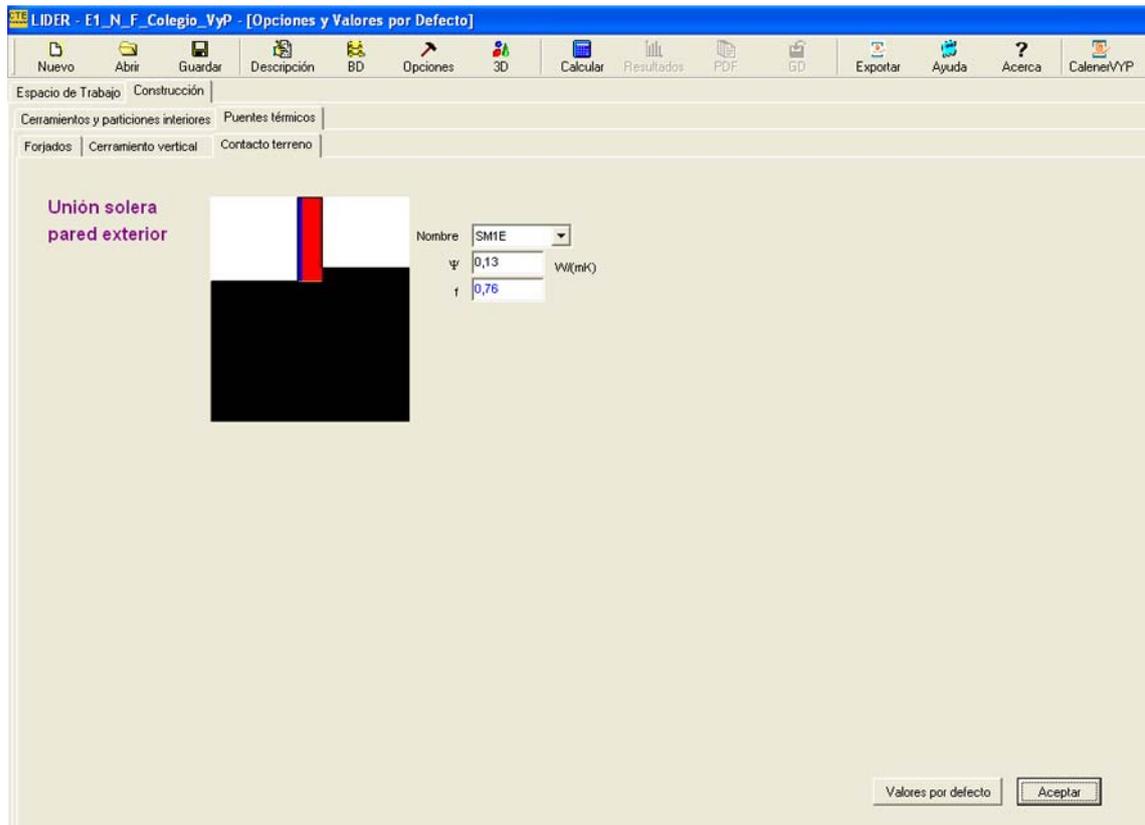


Puentes térmicos. Forjados, en el apartado "Opciones" de LIDER.



Puentes térmicos. Cerramiento vertical, en el apartado "Opciones" de LIDER.

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.



Puentes térmicos. Contacto terreno, en el apartado "Opciones" de *LIDER*.

13. MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.
VARIANTES DEL AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR.

13.1. ZONA CLIMÁTICA C2. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. C2 – N – F.

13.2. ZONA CLIMÁTICA A4. ORIENTACIÓN NORTE.

Datos del proyecto.

Nombre del proyecto: Colegio de Enseñanza Primaria. A4 – N – F.

14. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Se ofrecen a continuación los datos extraídos de los resultados obtenidos con los programas *LIDER* y *CALENER VYP*, y que son el objeto del análisis propuesto en este estudio.

Primero se exponen los resultados de las cuatro modelizaciones del edificio realizadas para cada zona climática, y correspondientes con las orientaciones de la fachada principal hacia el Norte, Sur, Este y Oeste.

Después, los resultados de las tres modelizaciones realizadas sobre el edificio con su orientación más favorable, la que tiene una menor demanda anual de energía para calefacción y refrigeración. Estas tres modelizaciones se corresponden con las tres propuestas de rehabilitación energética de las fachadas: aislamiento por el interior, aislamiento intermedio y aislamiento por el exterior.

Finalmente, y teniendo como referencia los valores mínimos exigidos en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, se muestran los resultados de la transmitancia térmica de las fachadas, el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las mismas y el factor de temperatura superficial de los puentes térmicos integrados en las fachadas.

14.1. ZONA CLIMÁTICA E1.

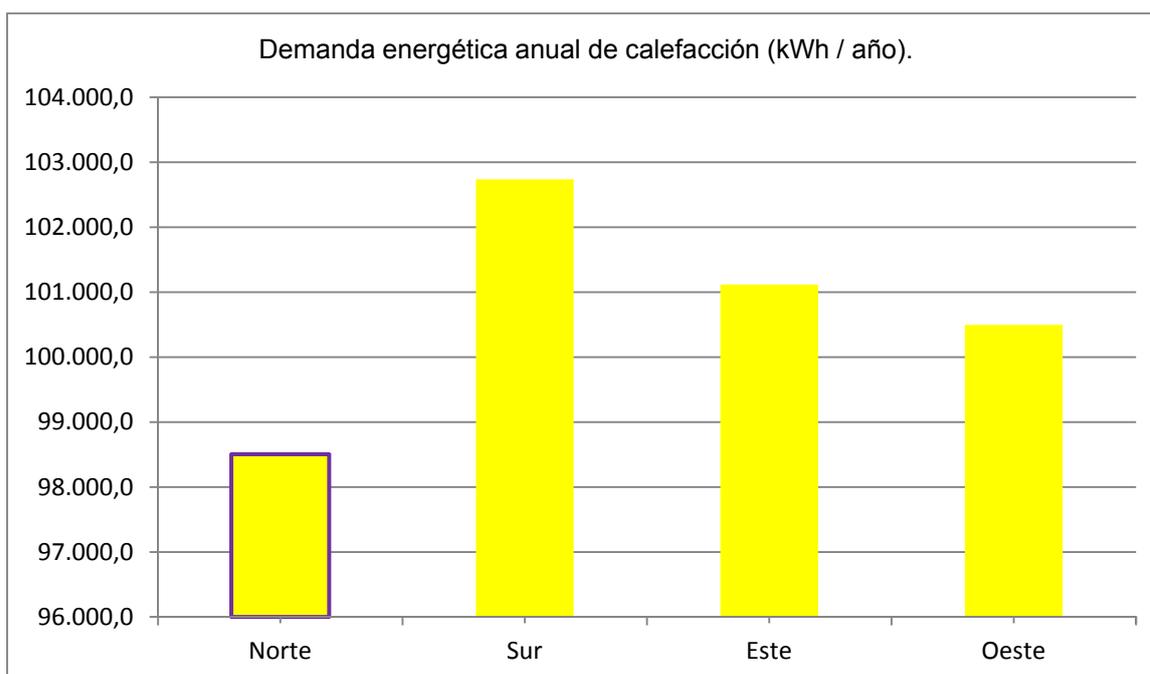
Variantes del estado actual.

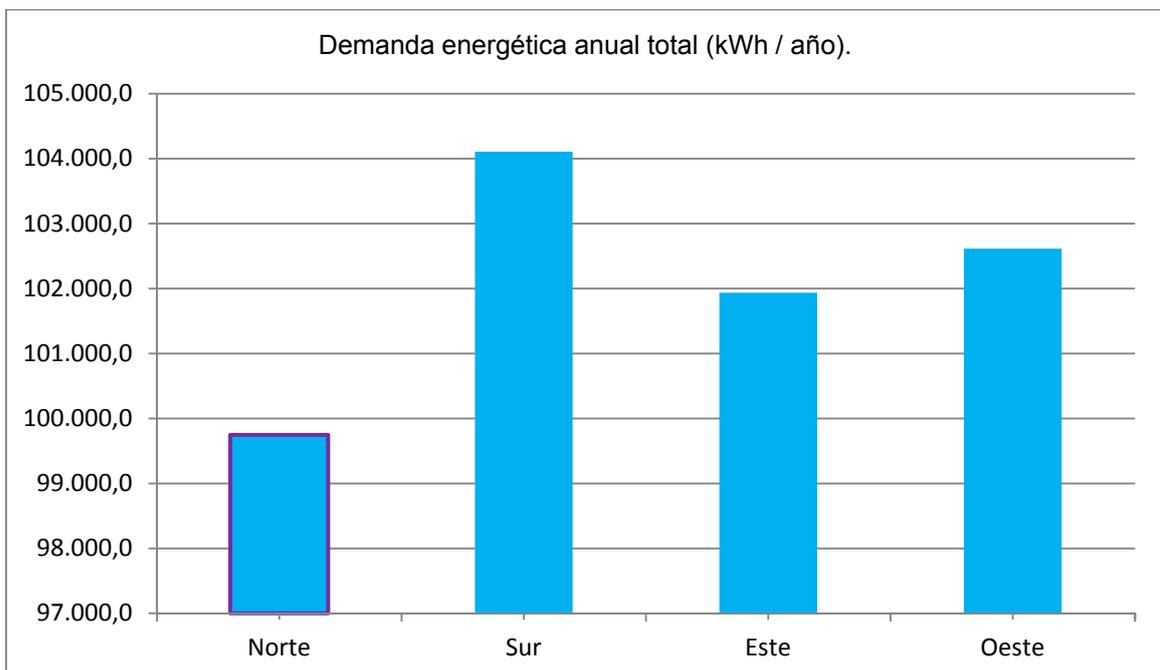
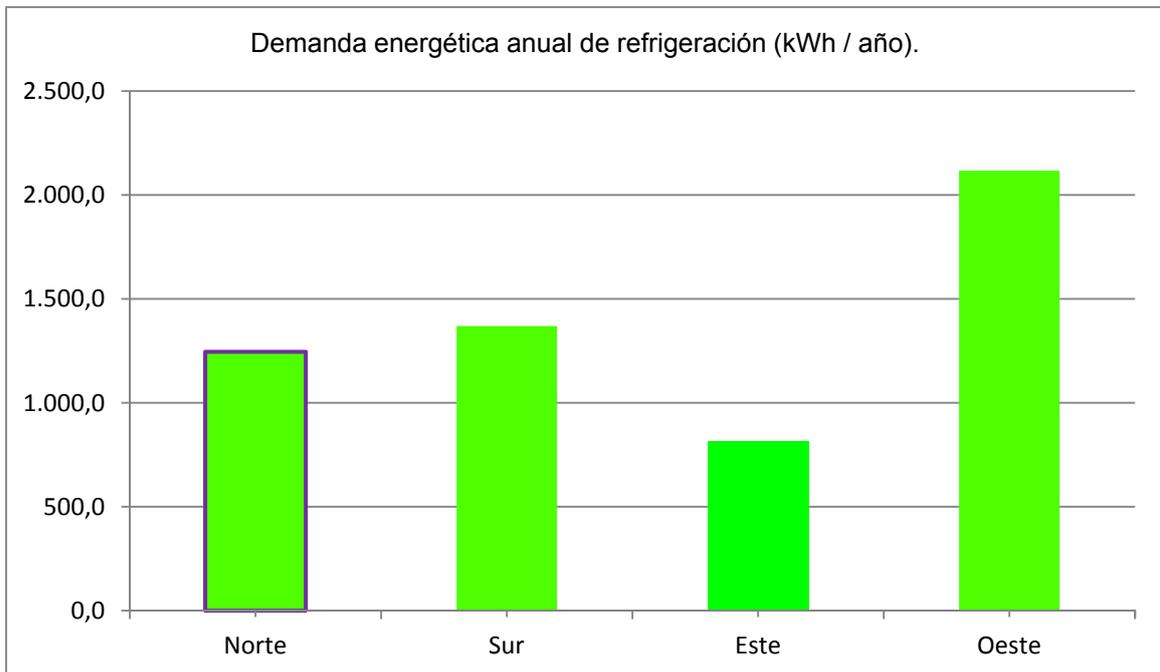
ORIENTACIÓN	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENEGÉTICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Norte	98.502,7	D	1.245,3	B	99.748,0	24.656,8	C	0,0	A	28,3	C
Sur	102.736,7	D	1.369,8	B	104.106,5	25.902,1	C	0,0	A	29,3	C
Este	101.117,8	D	817,7	A	101.935,5	25.404,0	C	0,0	A	28,9	C
Oeste	100.495,2	D	2.117,0	B	102.612,2	25.154,9	C	0,0	A	28,7	C

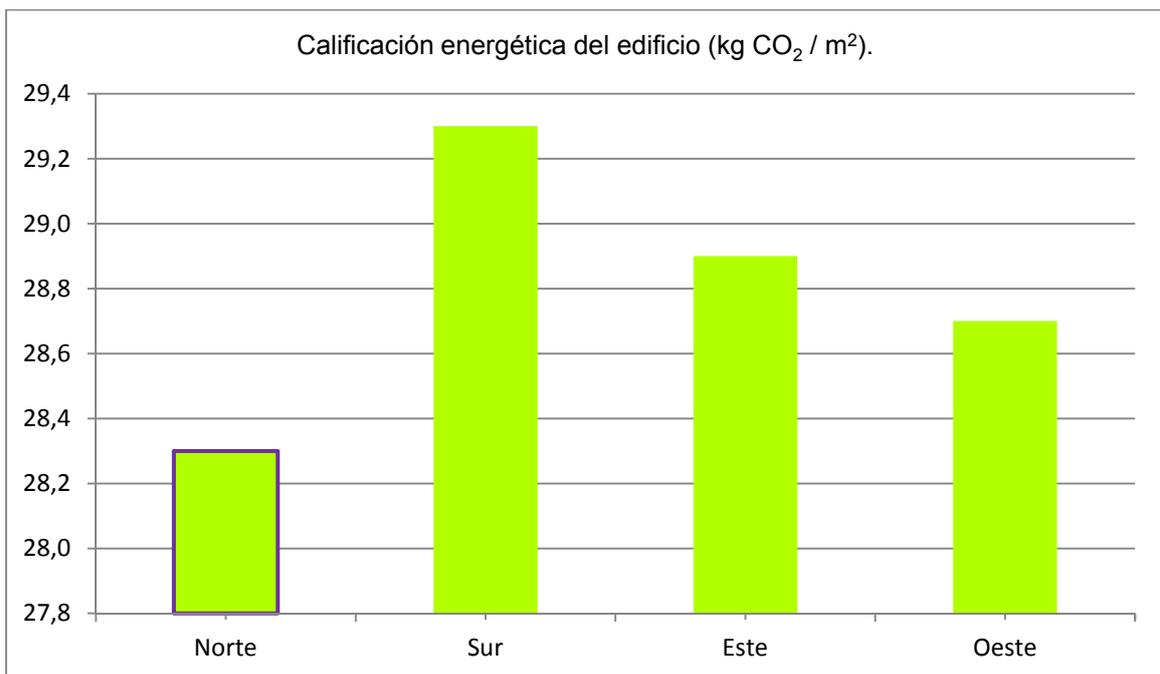
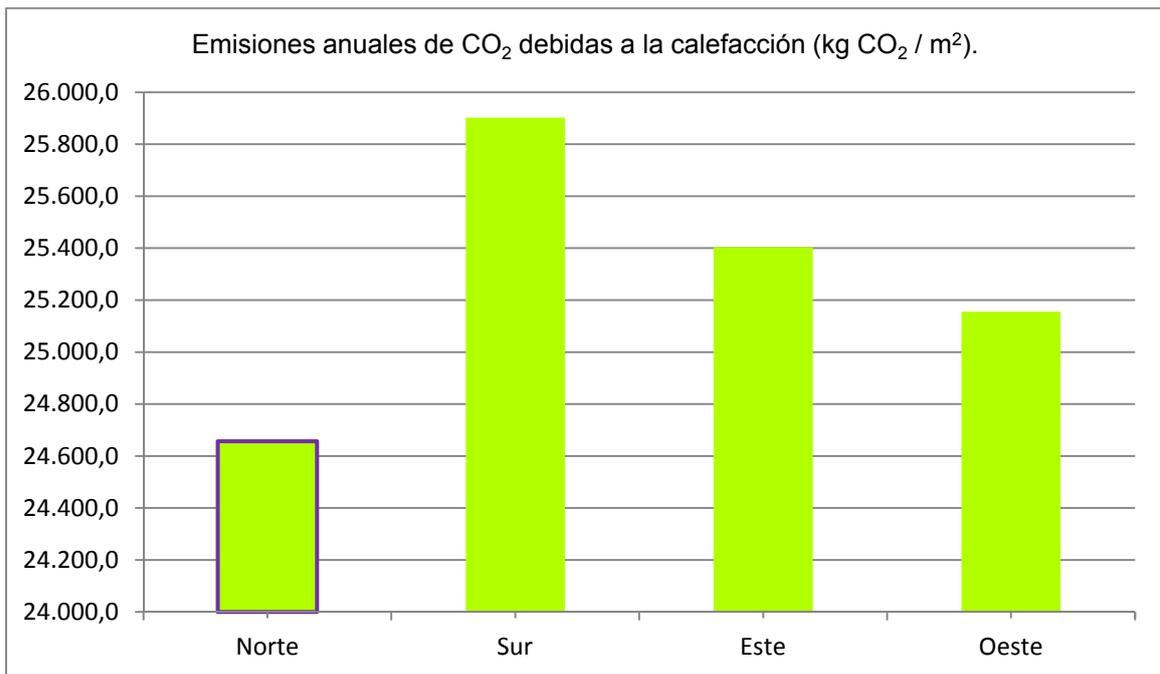
La orientación Norte es la más favorable para la zona climática E1, ya que tiene la menor demanda anual total de energía (calefacción + refrigeración). Consecuentemente, también es la que tiene menores emisiones anuales totales de CO₂, al pesar más la calefacción.

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las cuatro posibles orientaciones. No se representan las emisiones anuales de CO₂ debidas a la refrigeración ya que son nulas, al no existir una instalación de climatización que satisfaga dicha demanda.

Los datos que llevan aparejados una clase energética, se representan con el color normalizado de la misma, de acuerdo con la etiqueta de eficiencia energética que figura en el *R.D. 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*.





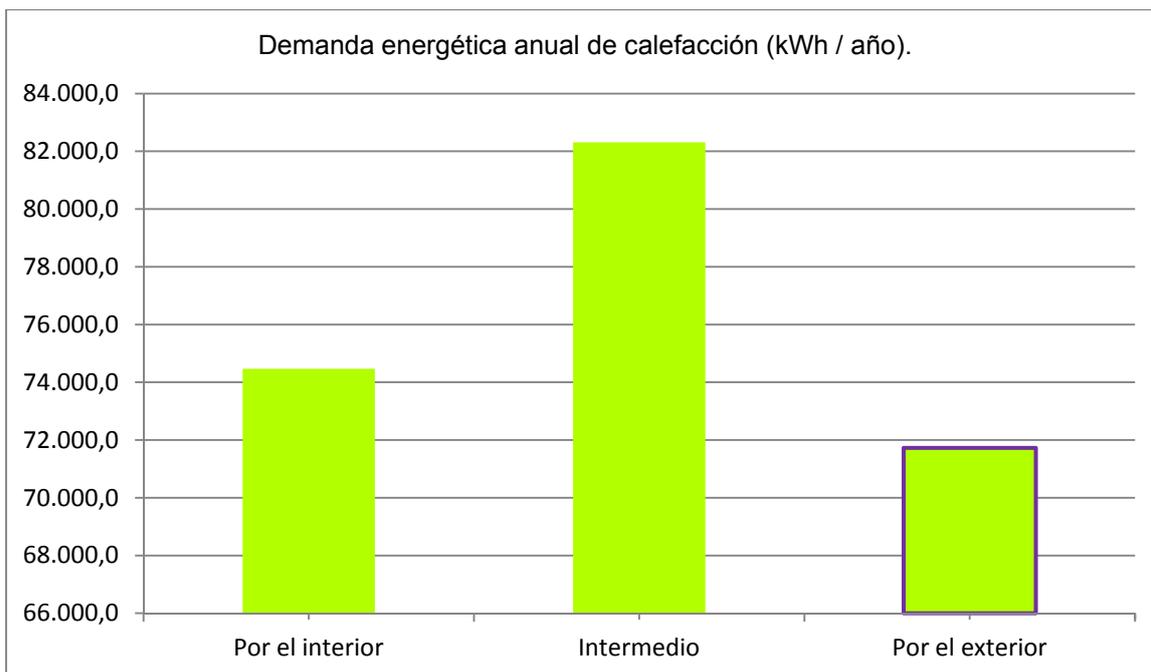


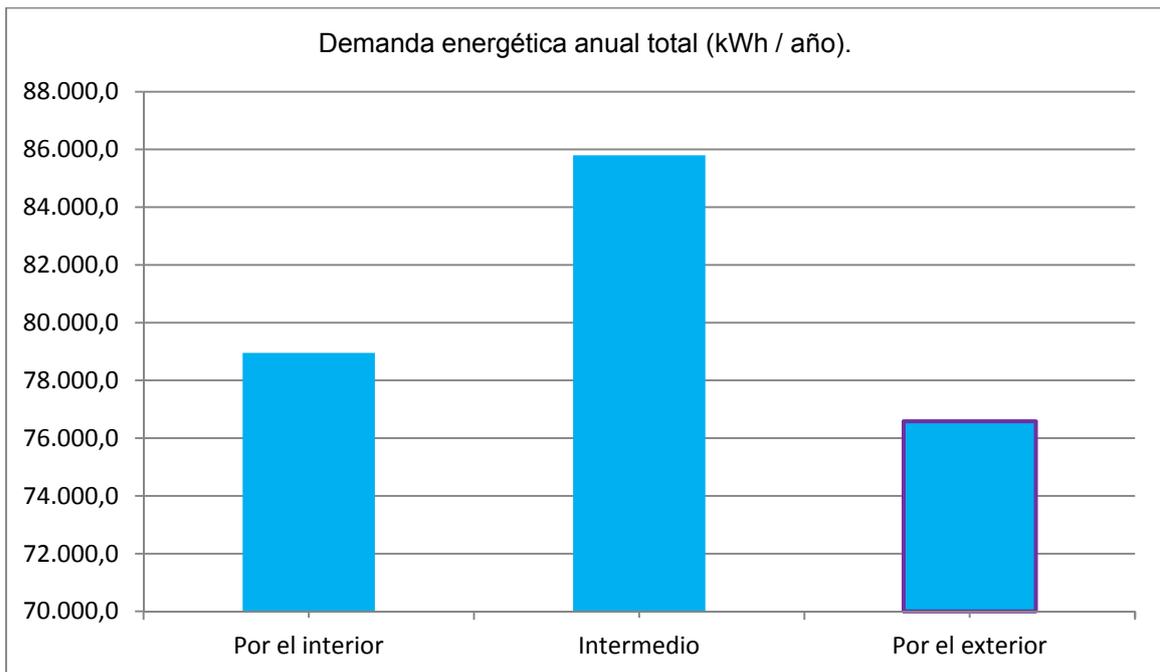
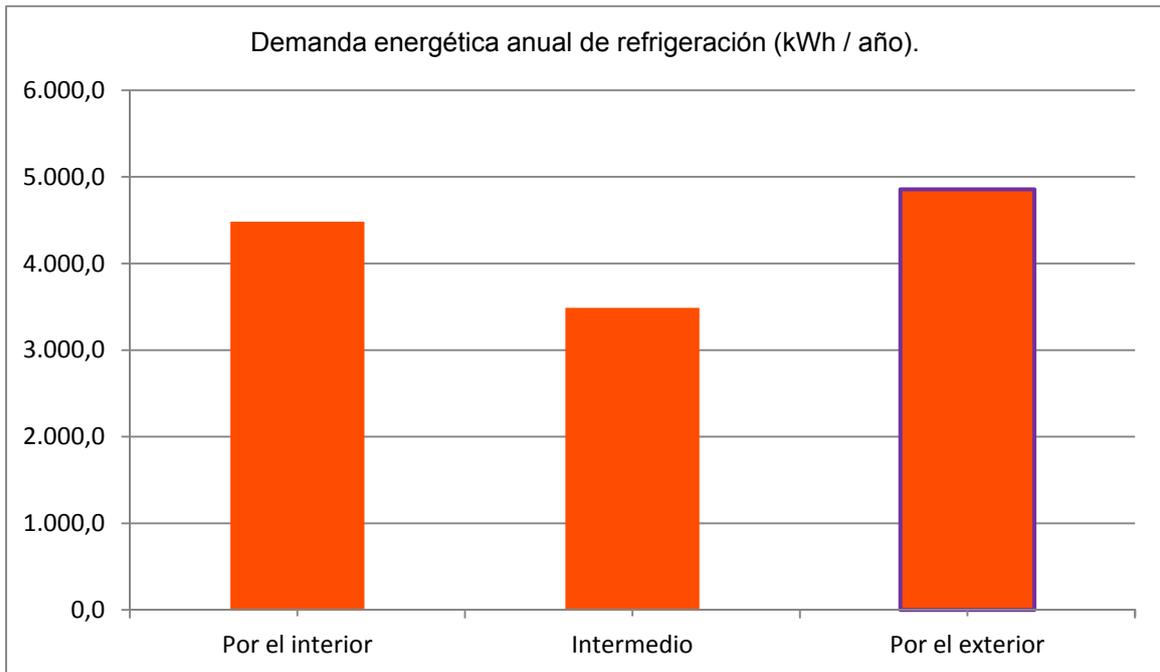
Variantes de aislamiento de fachada en la orientación más favorable.

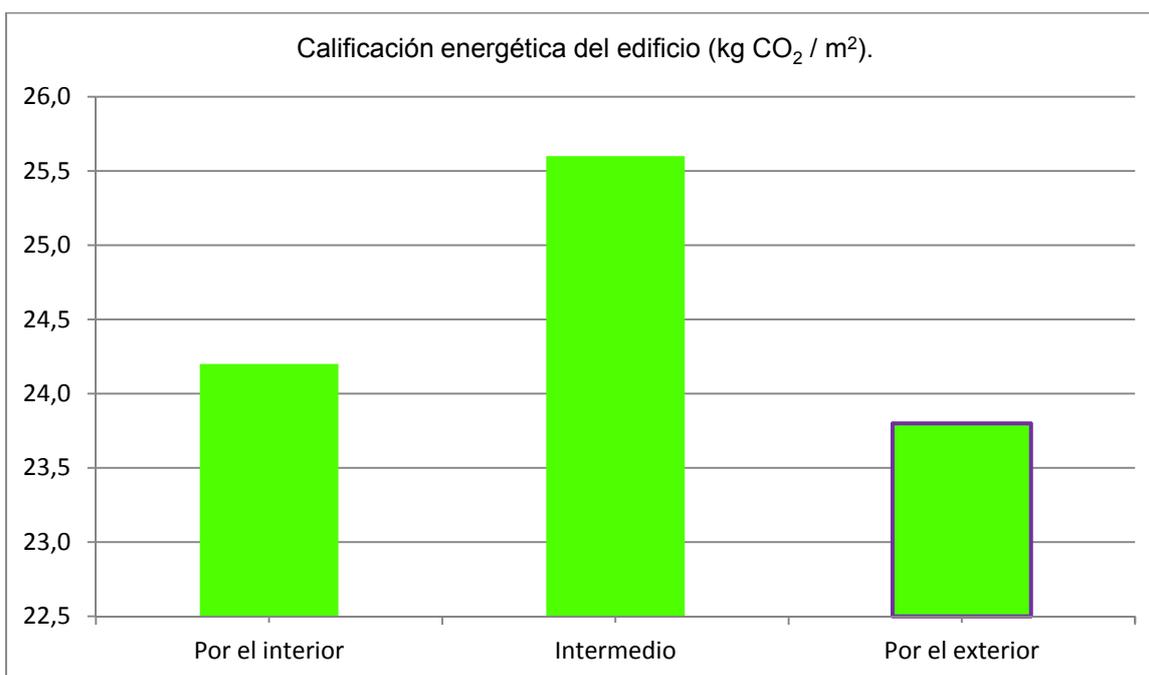
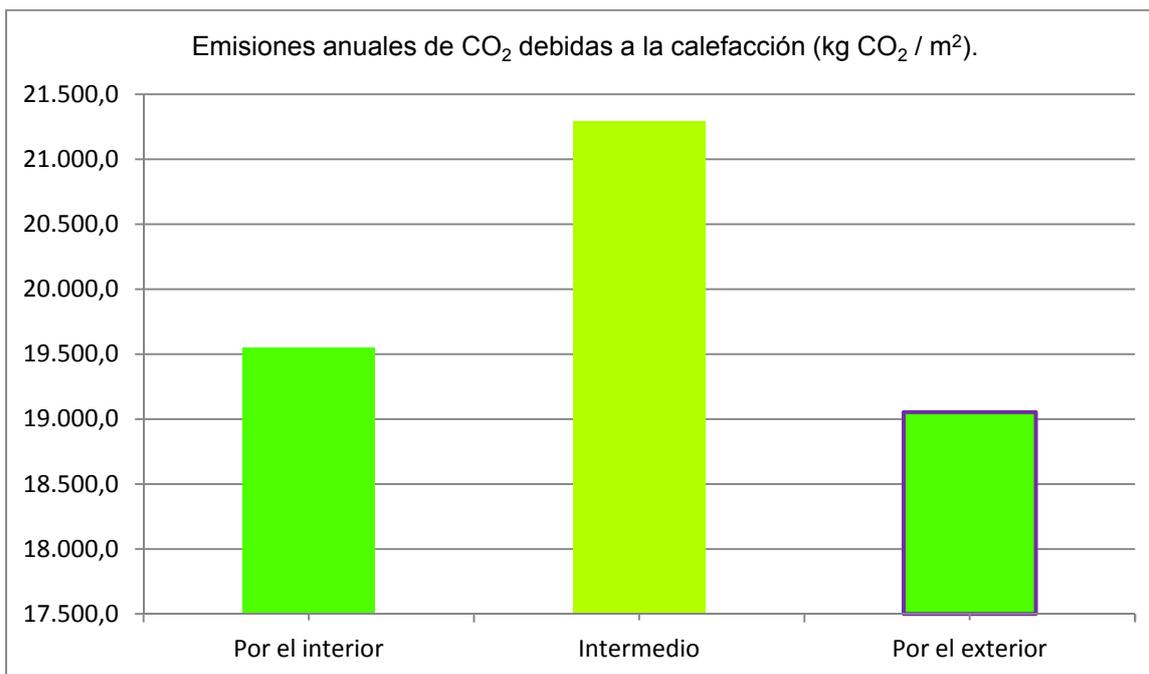
Seguidamente, se muestran los resultados de las tres modelizaciones correspondientes a las propuestas de rehabilitación energética de las fachadas realizadas sobre el edificio, con su orientación Norte como la más favorable.

ORIENTACIÓN NORTE AISLAMIENTO DE LAS FACHADAS	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENEGÉTICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Por el interior	74.468,5	C	4.483,1	F	78.951,6	19.551,1	B	0,0	A	24,2	B
Intermedio	82.313,9	C	3.486,8	F	85.800,7	21.294,5	C	0,0	A	25,6	B
Por el exterior	71.728,9	C	4.856,6	F	76.585,5	19.053,0	B	0,0	A	23,8	B

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas. Los criterios de representación son análogos a los empleados en las cinco gráficas anteriores, correspondientes a las cuatro orientaciones del edificio.







El aislamiento por el exterior de las fachadas del edificio con orientación Norte, es la solución constructiva que consigue la mayor disminución de la demanda energética anual total y de las emisiones anuales de CO₂, debidas a la calefacción y a la refrigeración.

La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 93,7 % y del 6,3 %, respectivamente.

Comportamiento de la fachada según el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación.

Finalmente, y teniendo como referencia los valores mínimos exigidos en el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación, se muestran los resultados de la transmitancia térmica de las fachadas, el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las mismas y el factor de temperatura superficial de los puentes térmicos integrados en las fachadas.

Todo ello para el edificio con orientación Norte, como la más favorable, tanto con el estado actual como con las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas.

Los valores que a continuación se exponen se han obtenido de los documentos justificativos generados por los programas LIDER y CALENER VYP para cada caso. Sólo aparecen reflejados cuando hay incumplimientos. La ausencia de valores concretos indica que se cumplen los requisitos mínimos.

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LAS FACHADAS				
$U \leq U_{\text{máxima}}$				
FACHADA	U (W/m ² K)	Zona climática E1		
		U _{máxima} (W/m ² K)	U _{límite} (W/m ² K)	CUMPLE
Estado actual	1,30	0,74	0,57	NO
Aislamiento por el interior	0,43	0,74	0,57	SI
Aislamiento intermedio	0,54	0,74	0,57	SI
Aislamiento por el exterior	0,44	0,74	0,57	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LAS FACHADAS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
FACHADA	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE
Estado actual	0,67	0,64	SI	0,67	0,78	NO
Aislamiento por el interior	---	0,64	SI	---	0,78	SI
Aislamiento intermedio	---	0,64	SI	---	0,78	SI
Aislamiento por el exterior	---	0,64	SI	---	0,78	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES INTERSTICIALES EN LAS FACHADAS						
$P_n \leq P_{sat,n}$ (en cada capa)						
FACHADA	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE
Estado actual	---	---	SI	---	---	NO
Aislamiento por el interior	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento intermedio	---	---	NO	---	---	NO
Aislamiento por el exterior	---	---	SI	---	---	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO ESTADO ACTUAL	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,79	0,64	SI	0,79	0,78	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO
Encuentro cubierta – fachada	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO
Esquina saliente	0,85	0,64	SI	0,85	0,78	SI
Hueco ventana	0,70	0,64	SI	0,70	0,78	NO
Esquina entrante	0,92	0,64	SI	0,92	0,78	SI
Pilar	0,89	0,64	SI	0,89	0,78	SI
Unión solera – pared exterior	0,76	0,64	SI	0,76	0,78	NO

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,71	0,64	SI	0,71	0,78	NO
Encuentro suelo exterior – fachada	0,67	0,64	SI	0,67	0,78	NO
Encuentro cubierta – fachada	0,67	0,64	SI	0,67	0,78	NO
Esquina saliente	0,71	0,64	SI	0,71	0,78	NO
Hueco ventana	0,78	0,64	SI	0,78	0,78	SI
Esquina entrante	0,86	0,64	SI	0,86	0,78	SI
Pilar	0,84	0,64	SI	0,84	0,78	SI
Unión solera – pared exterior	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO INTERMEDIO	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,79	0,64	SI	0,79	0,78	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO
Encuentro cubierta – fachada	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO
Esquina saliente	0,85	0,64	SI	0,85	0,78	SI
Hueco ventana	0,70	0,64	SI	0,70	0,78	NO
Esquina entrante	0,92	0,64	SI	0,92	0,78	SI
Pilar	0,89	0,64	SI	0,89	0,78	SI
Unión solera – pared exterior	0,76	0,64	SI	0,76	0,78	NO

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR	Zona climática E1					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,91	0,64	SI	0,91	0,78	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,85	0,64	SI	0,85	0,78	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,85	0,64	SI	0,85	0,78	SI
Esquina saliente	0,83	0,64	SI	0,83	0,78	SI
Hueco ventana	0,74	0,64	SI	0,74	0,78	NO
Esquina entrante	0,92	0,64	SI	0,92	0,78	SI
Pilar	0,89	0,64	SI	0,89	0,78	SI
Unión solera – pared exterior	0,76	0,64	SI	0,76	0,78	NO

14.2. ZONA CLIMÁTICA C2.

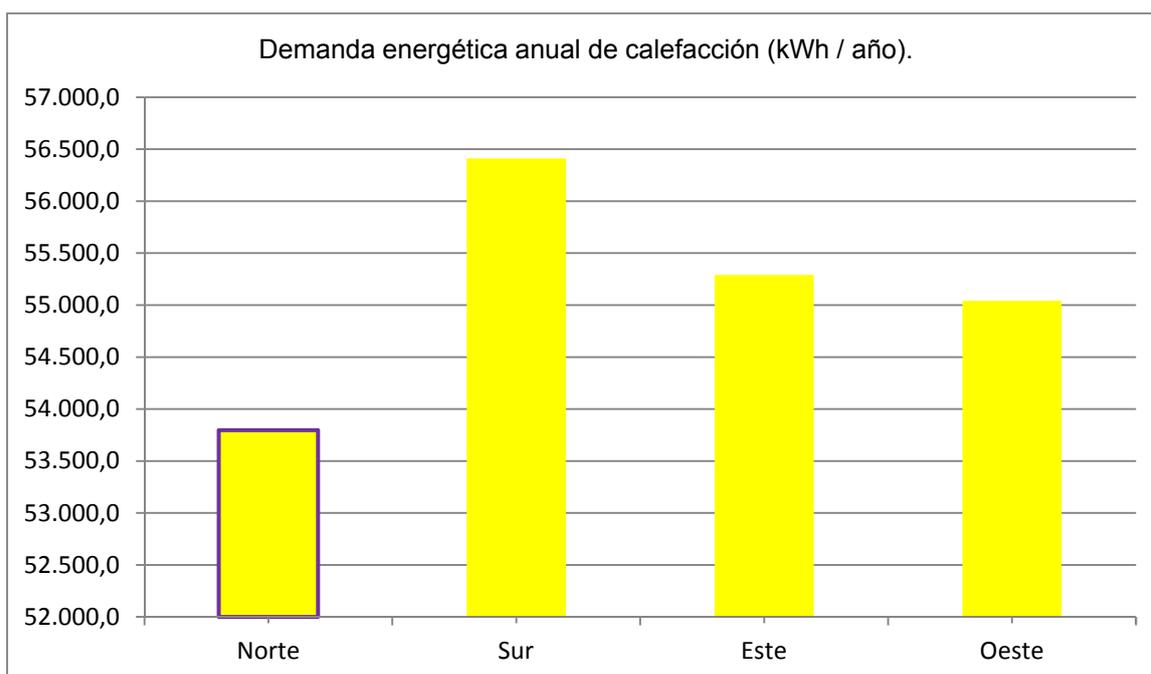
Variantes del estado actual.

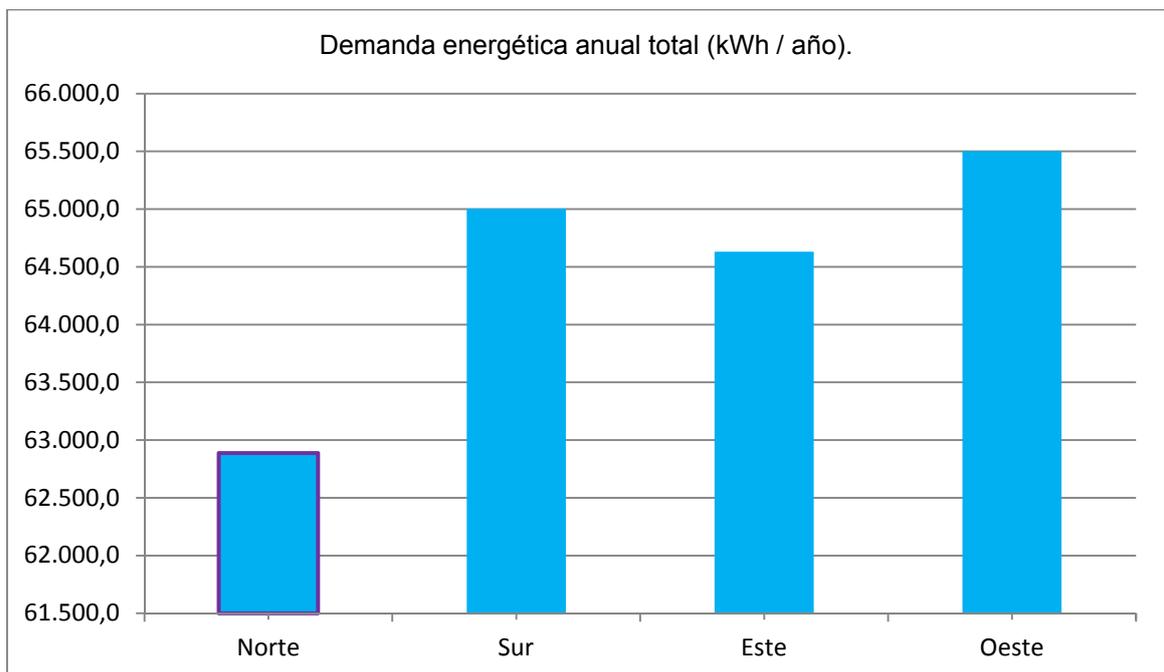
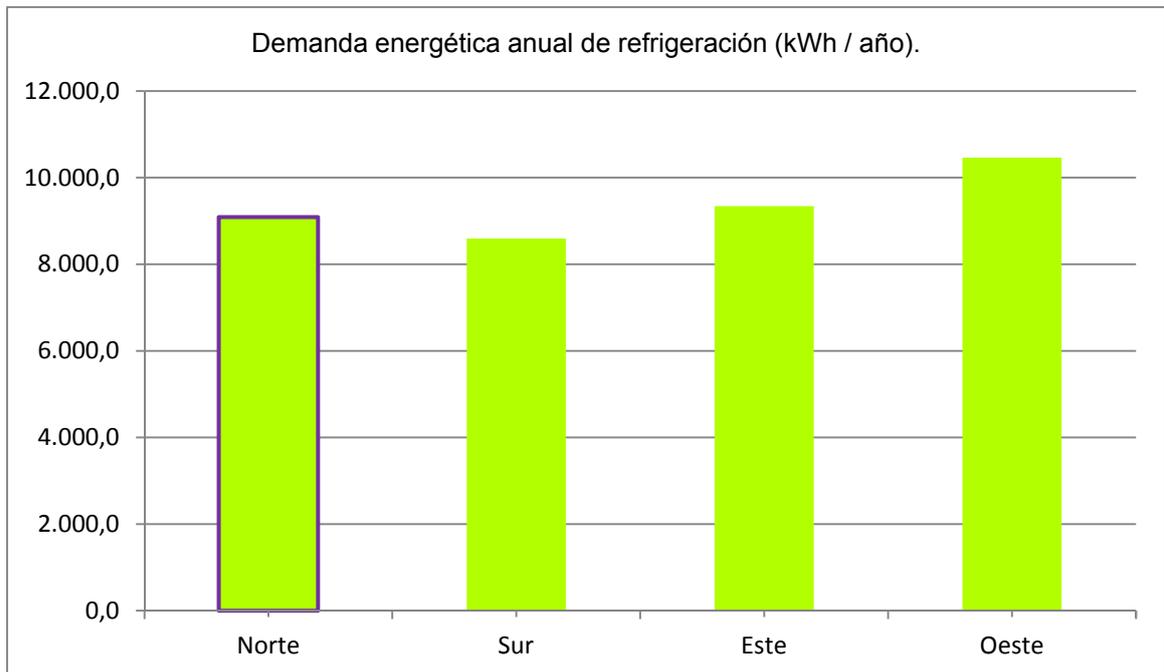
ORIENTACIÓN	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENERGETICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Norte	53.796,7	D	9.090,6	C	62.887,3	14.943,5	C	0,0	A	20,2	C
Sur	56.411,8	D	8.592,5	C	65.004,3	15.690,7	C	0,0	A	20,8	C
Este	55.291,0	D	9.339,7	C	64.630,7	15.317,1	C	0,0	A	20,5	C
Oeste	55.042,0	D	10.460,5	C	65.502,5	15.192,6	C	0,0	A	20,4	C

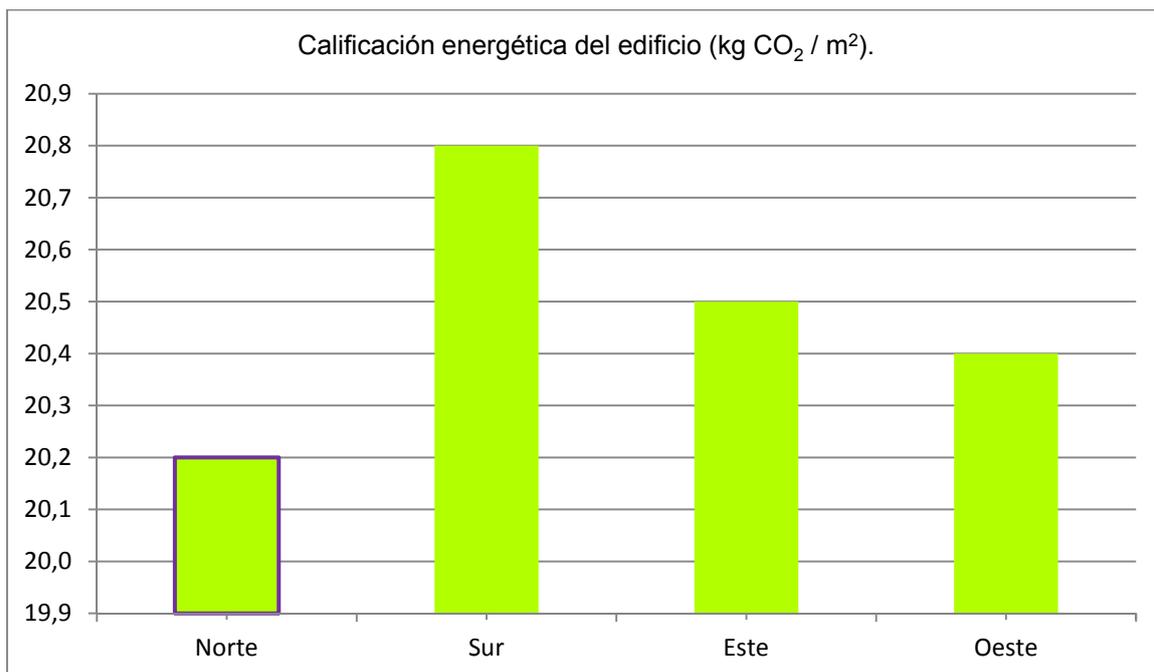
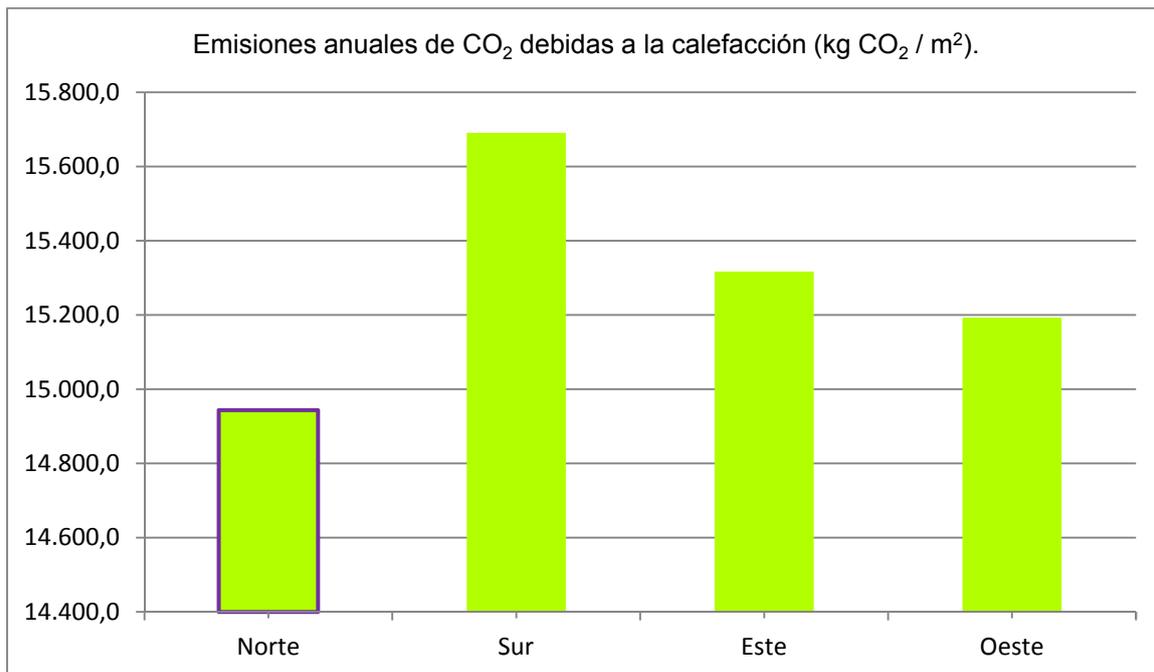
La orientación Norte es la más favorable para la zona climática C2, ya que tiene la menor demanda anual total de energía (calefacción + refrigeración). Consecuentemente, también es la que tiene menores emisiones anuales totales de CO₂, al pesar más la calefacción.

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las cuatro posibles orientaciones. No se representan las emisiones anuales de CO₂ debidas a la refrigeración ya que son nulas, al no existir una instalación de climatización que satisfaga dicha demanda.

Los datos que llevan aparejados una clase energética, se representan con el color normalizado de la misma, de acuerdo con la etiqueta de eficiencia energética que figura en el *R.D. 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*.





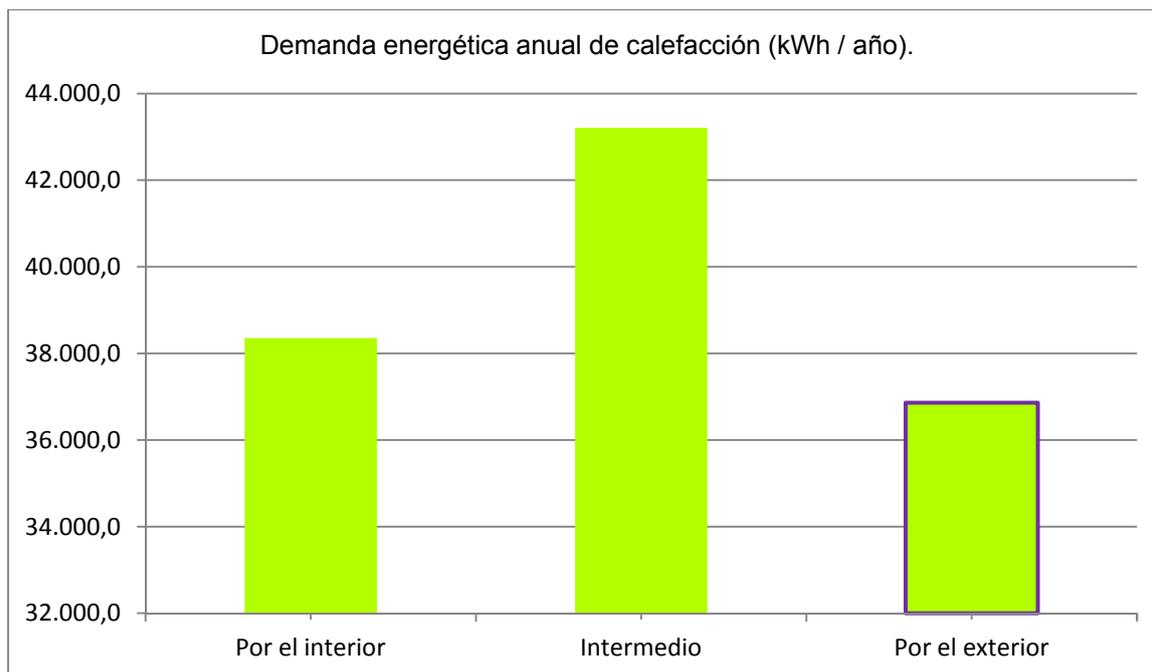


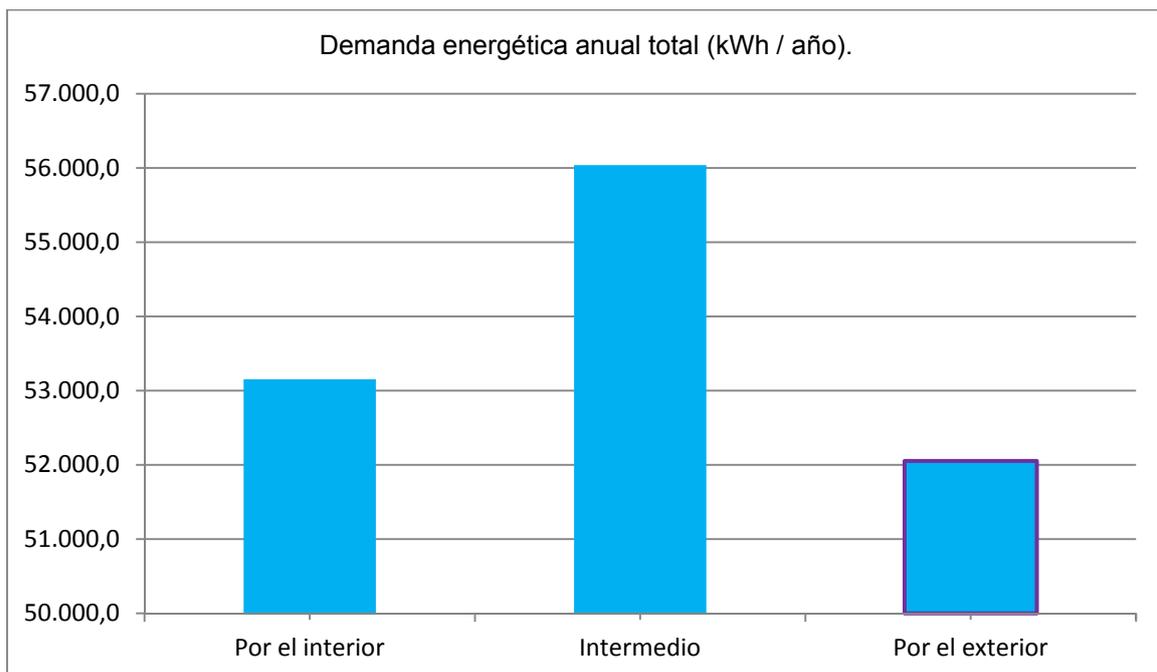
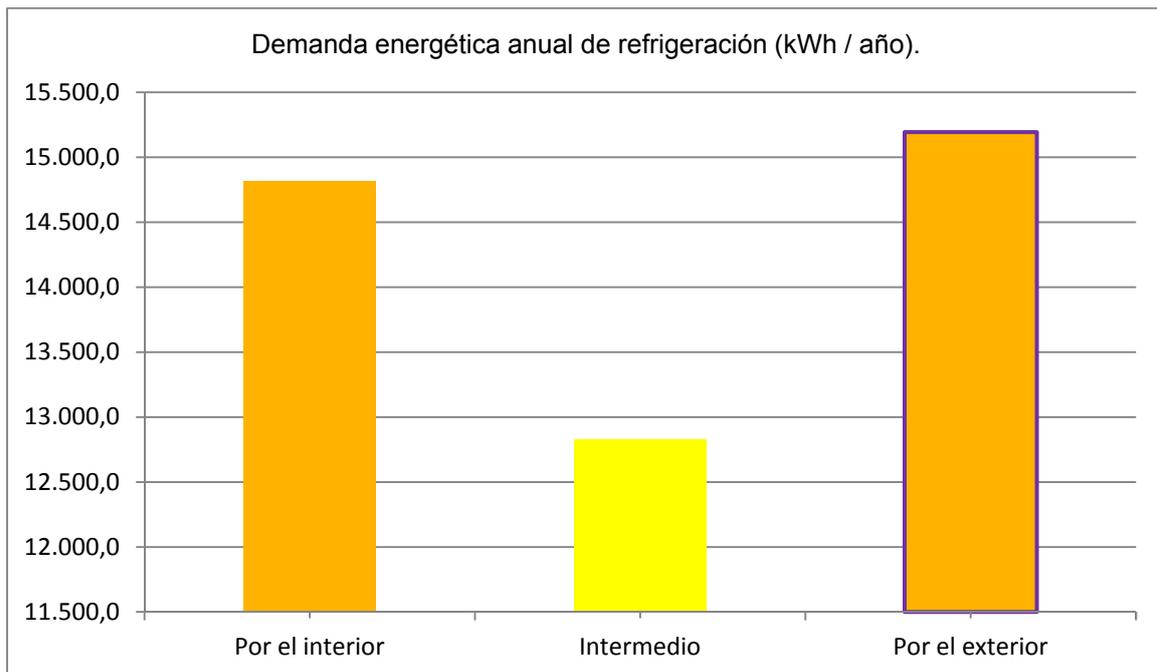
Variantes de aislamiento de fachada en la orientación más favorable.

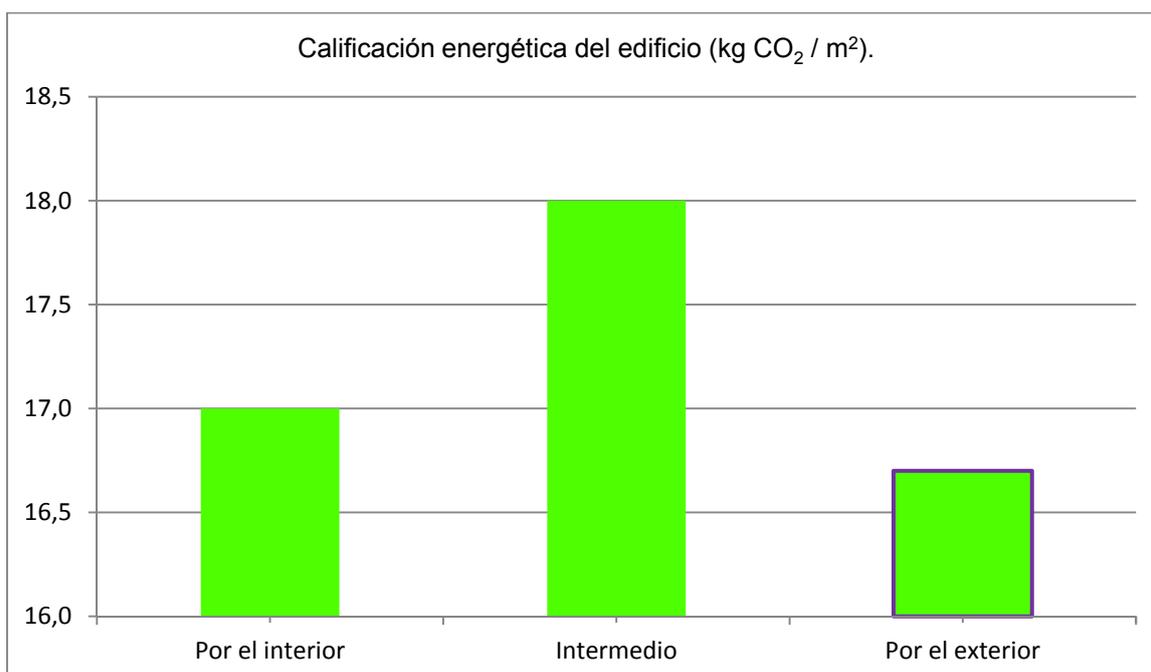
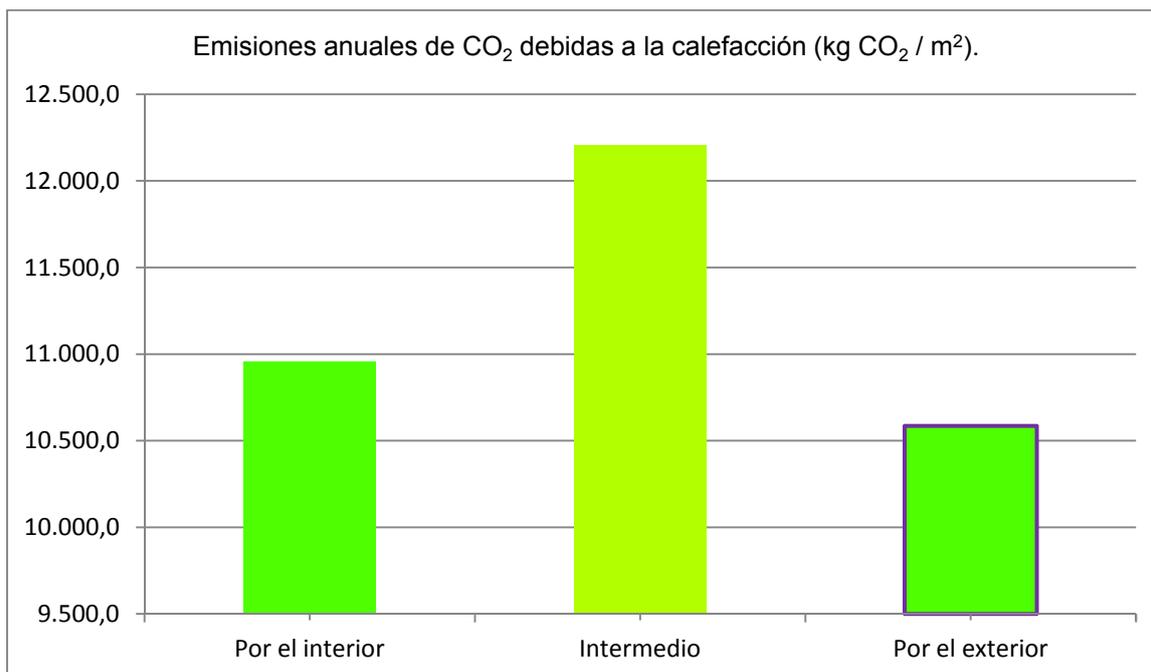
Seguidamente, se muestran los resultados de las tres modelizaciones correspondientes a las propuestas de rehabilitación energética de las fachadas realizadas sobre el edificio, con su orientación Norte como la más favorable.

ORIENTACIÓN NORTE AISLAMIENTO DE LAS FACHADAS	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENEGÉTICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Por el interior	38.355,0	C	14.819,0	E	53.154,0	10.958,6	B	0,0	A	17,0	B
Intermedio	43.211,7	C	12.826,5	D	56.038,2	12.203,9	C	0,0	A	18,0	B
Por el exterior	36.860,7	C	15.192,6	E	52.053,3	10.585,0	B	0,0	A	16,7	B

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas. Los criterios de representación son análogos a los empleados en las cinco gráficas anteriores, correspondientes a las cuatro orientaciones del edificio.







El aislamiento por el exterior de las fachadas del edificio con orientación Norte, es la solución constructiva que consigue la mayor disminución de la demanda energética anual total y de las emisiones anuales de CO₂, debidas a la calefacción y a la refrigeración.

La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 70,9 % y del 29,1 %, respectivamente.

Comportamiento de la fachada según el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación.

Finalmente, y teniendo como referencia los valores mínimos exigidos en el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación, se muestran los resultados de la transmitancia térmica de las fachadas, el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las mismas y el factor de temperatura superficial de los puentes térmicos integrados en las fachadas.

Todo ello para el edificio con orientación Norte, como la más favorable, tanto con el estado actual como con las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas.

Los valores que a continuación se exponen se han obtenido de los documentos justificativos generados por los programas LIDER y CALENER VYP para cada caso. Sólo aparecen reflejados cuando hay incumplimientos. La ausencia de valores concretos indica que se cumplen los requisitos mínimos.

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LAS FACHADAS $U \leq U_{\text{máxima}}$				
FACHADA	U (W/m ² K)	Zona climática C2		
		U _{máxima} (W/m ² K)	U _{límite} (W/m ² K)	CUMPLE
Estado actual	1,30	0,95	0,73	NO
Aislamiento por el interior	0,43	0,95	0,73	SI
Aislamiento intermedio	0,54	0,95	0,73	SI
Aislamiento por el exterior	0,44	0,95	0,73	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LAS FACHADAS $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
FACHADA	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE
Estado actual	0,67	0,56	SI	0,67	0,69	NO
Aislamiento por el interior	---	0,56	SI	---	0,69	SI
Aislamiento intermedio	---	0,56	SI	---	0,69	SI
Aislamiento por el exterior	---	0,56	SI	---	0,69	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES INTERSTICIALES EN LAS FACHADAS $P_n \leq P_{sat,n}$ (en cada capa)						
FACHADA	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE
Estado actual	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento por el interior	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento intermedio	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento por el exterior	---	---	SI	---	---	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO ESTADO ACTUAL	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,75	0,56	SI	0,75	0,69	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,71	0,56	SI	0,71	0,69	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,71	0,56	SI	0,71	0,69	SI
Esquina saliente	0,82	0,56	SI	0,82	0,69	SI
Hueco ventana	0,70	0,56	SI	0,70	0,69	SI
Esquina entrante	0,90	0,56	SI	0,90	0,69	SI
Pilar	0,86	0,56	SI	0,86	0,69	SI
Unión solera – pared exterior	0,74	0,56	SI	0,74	0,69	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,67	0,56	SI	0,67	0,69	NO
Encuentro suelo exterior – fachada	0,63	0,56	SI	0,63	0,69	NO
Encuentro cubierta – fachada	0,63	0,56	SI	0,63	0,69	NO
Esquina saliente	0,66	0,56	SI	0,66	0,69	NO
Hueco ventana	0,77	0,56	SI	0,77	0,69	SI
Esquina entrante	0,82	0,56	SI	0,82	0,69	SI
Pilar	0,79	0,56	SI	0,79	0,69	SI
Unión solera – pared exterior	0,70	0,56	SI	0,70	0,69	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO INTERMEDIO	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,75	0,56	SI	0,75	0,69	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,71	0,56	SI	0,71	0,69	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,71	0,56	SI	0,71	0,69	SI
Esquina saliente	0,82	0,56	SI	0,82	0,69	SI
Hueco ventana	0,70	0,56	SI	0,70	0,69	SI
Esquina entrante	0,90	0,56	SI	0,90	0,69	SI
Pilar	0,86	0,56	SI	0,86	0,69	SI
Unión solera – pared exterior	0,74	0,56	SI	0,74	0,69	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR	Zona climática C2					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,88	0,56	SI	0,88	0,69	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,82	0,56	SI	0,82	0,69	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,82	0,56	SI	0,82	0,69	SI
Esquina saliente	0,80	0,56	SI	0,80	0,69	SI
Hueco ventana	0,74	0,56	SI	0,74	0,69	SI
Esquina entrante	0,90	0,56	SI	0,90	0,69	SI
Pilar	0,87	0,56	SI	0,87	0,69	SI
Unión solera – pared exterior	0,74	0,56	SI	0,74	0,69	SI

14.3. ZONA CLIMÁTICA A4.

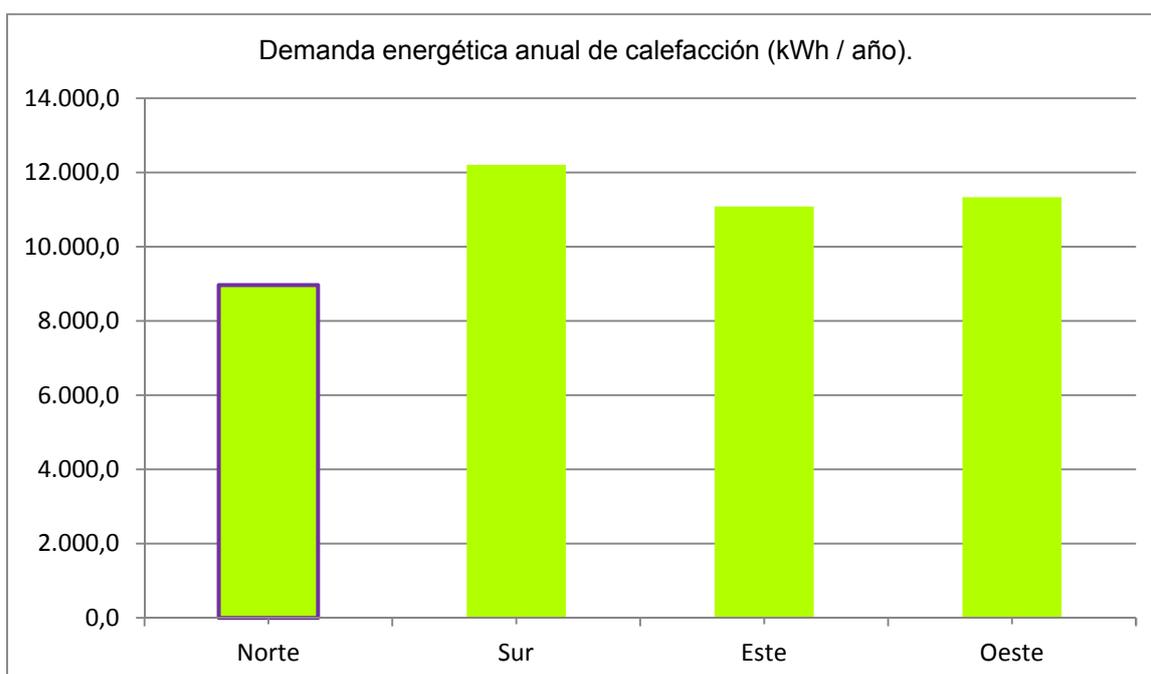
Variantes del estado actual.

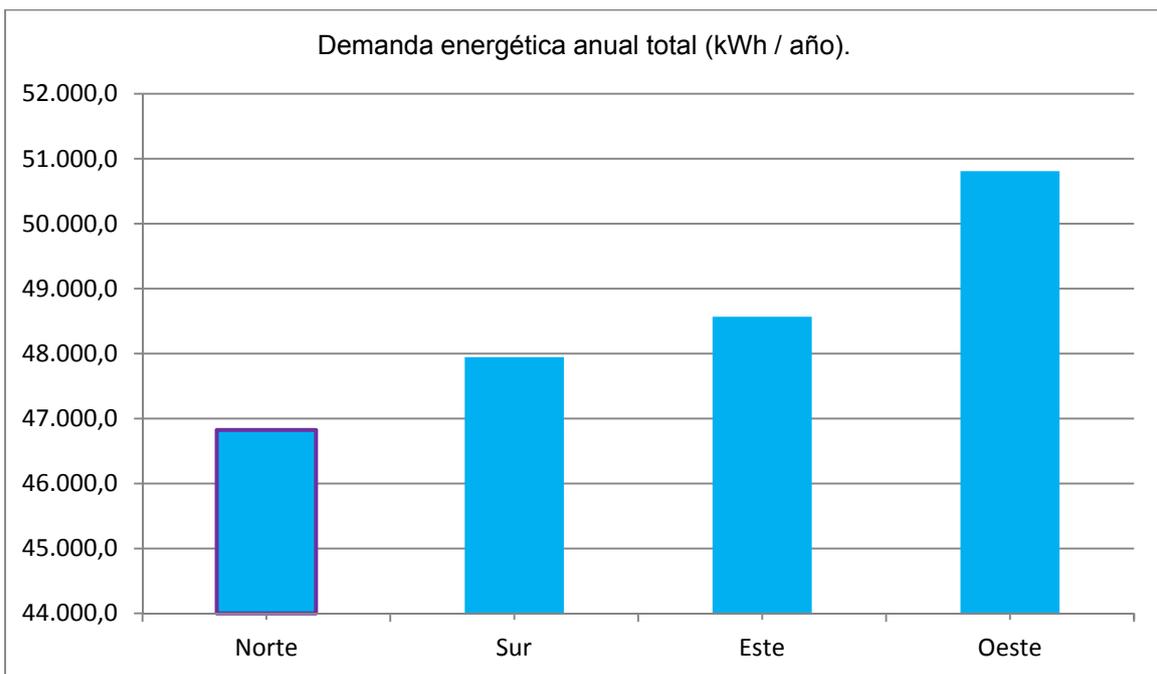
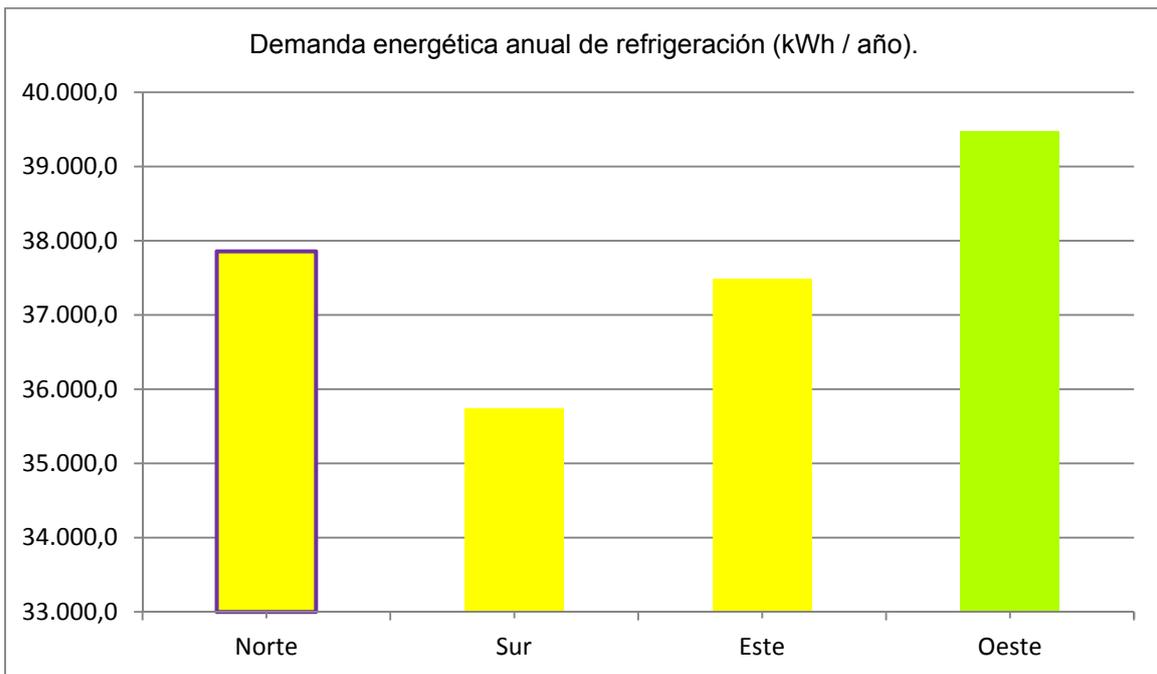
ORIENTACIÓN	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENEGÉTICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Norte	8.966,1	C	37.856,9	D	46.823,0	2.864,2	C	0,0	A	10,3	B
Sur	12.203,9	C	35.739,9	D	47.943,8	3.860,4	C	0,0	A	11,1	C
Este	11.083,1	C	37.483,3	D	48.566,4	3.486,8	C	0,0	A	10,8	B
Oeste	11.332,2	C	39.475,8	C	50.808,0	3.486,8	C	0,0	A	10,8	B

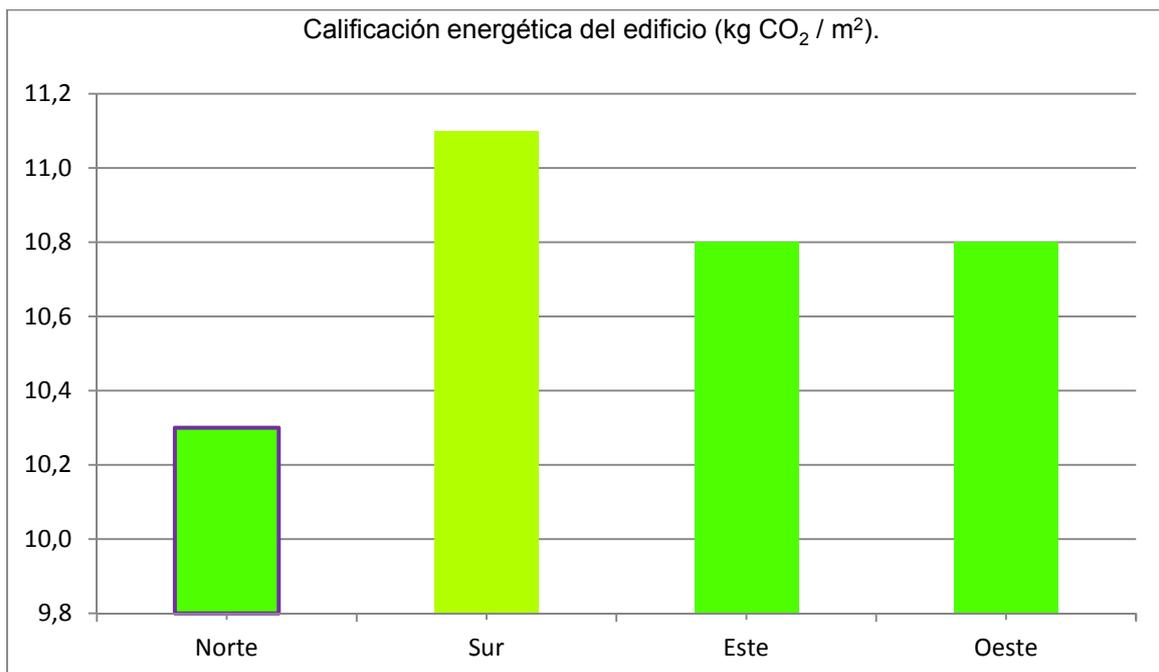
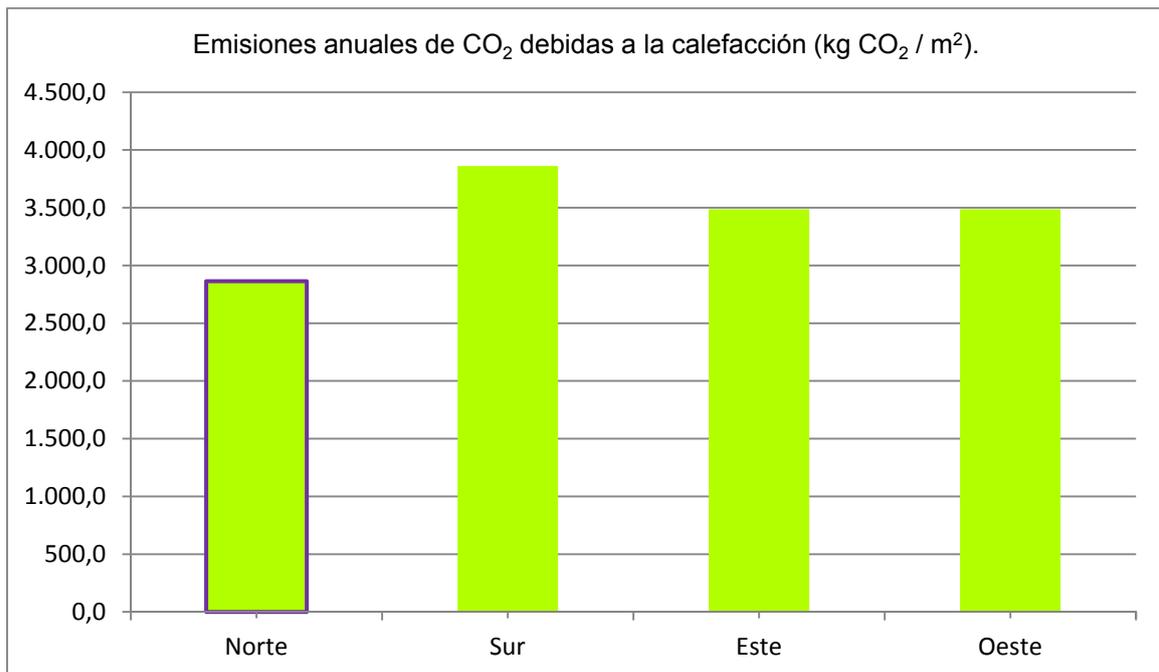
La orientación Norte es la más favorable para la zona climática A4, ya que tiene la menor demanda anual total de energía (calefacción + refrigeración). También es la que tiene menores emisiones anuales totales de CO₂, aparentemente, porque en esta zona climática la refrigeración pesa más que la calefacción, y no se puede evaluar al no existir una instalación específica.

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las cuatro posibles orientaciones. No se representan las emisiones anuales de CO₂ debidas a la refrigeración ya que son nulas, al no existir una instalación de climatización que satisfaga dicha demanda.

Los datos que llevan aparejados una clase energética, se representan con el color normalizado de la misma, de acuerdo con la etiqueta de eficiencia energética que figura en el *R.D. 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.*





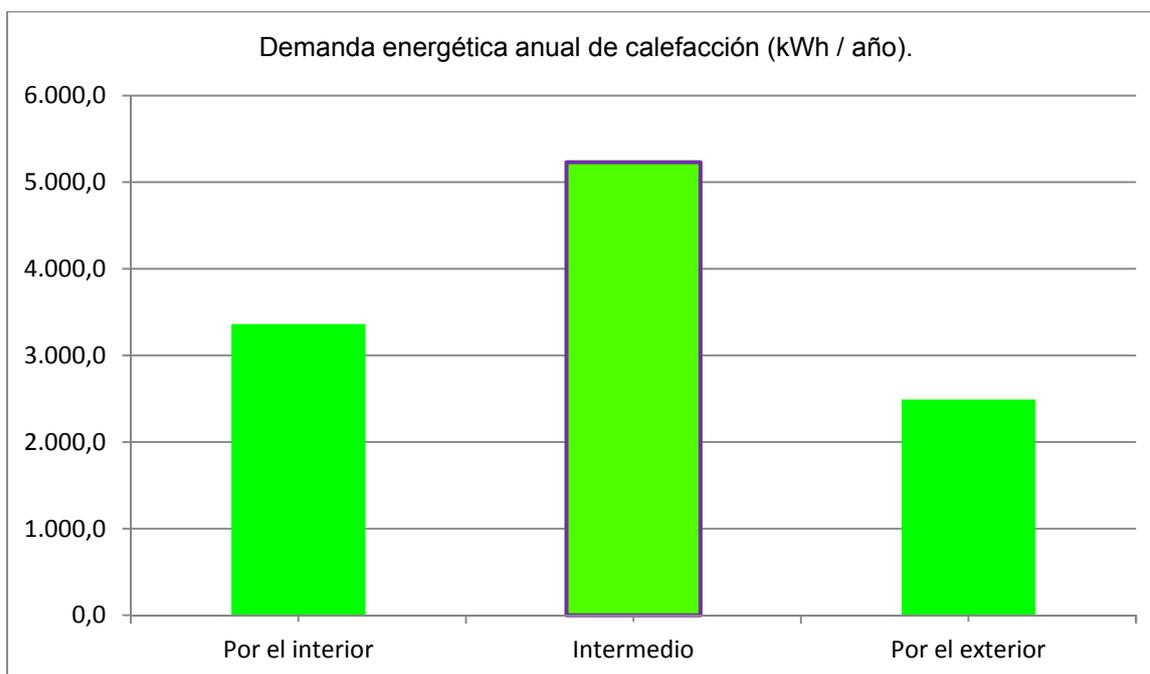


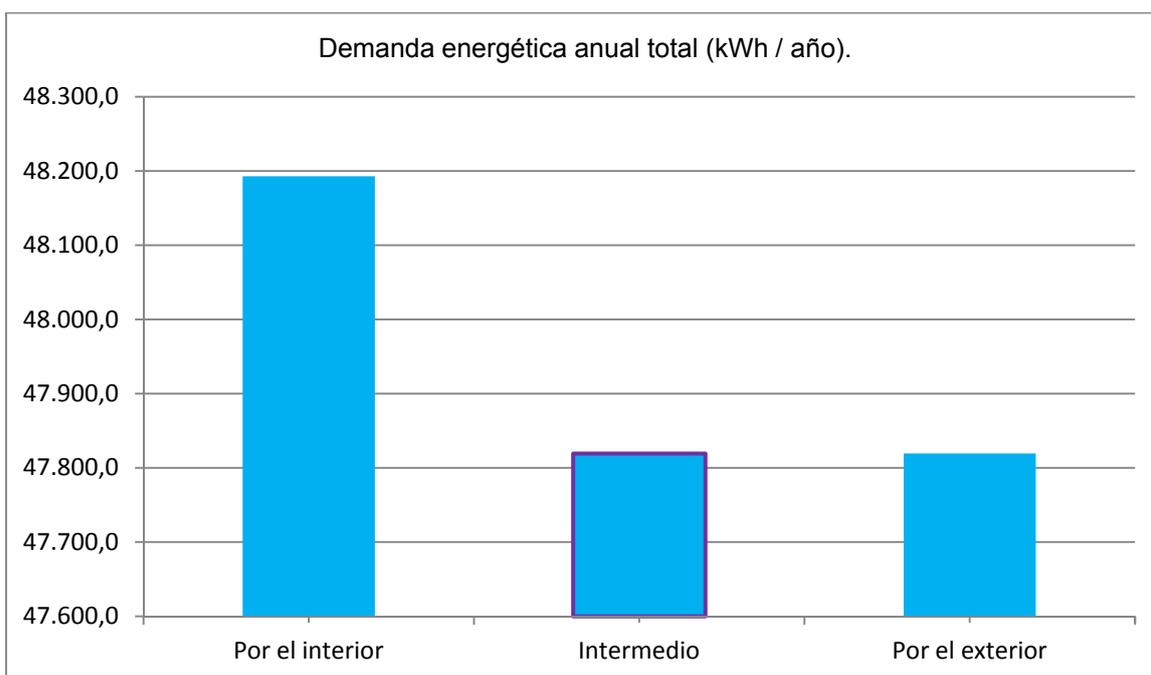
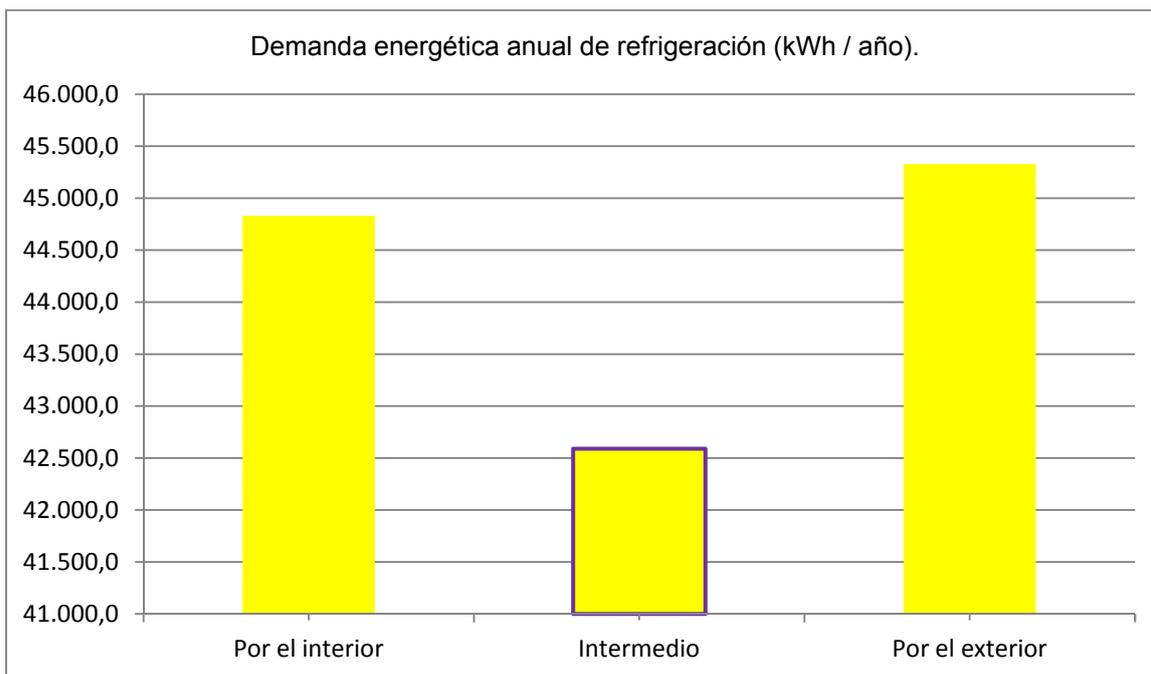
Variantes de aislamiento de fachada en la orientación más favorable.

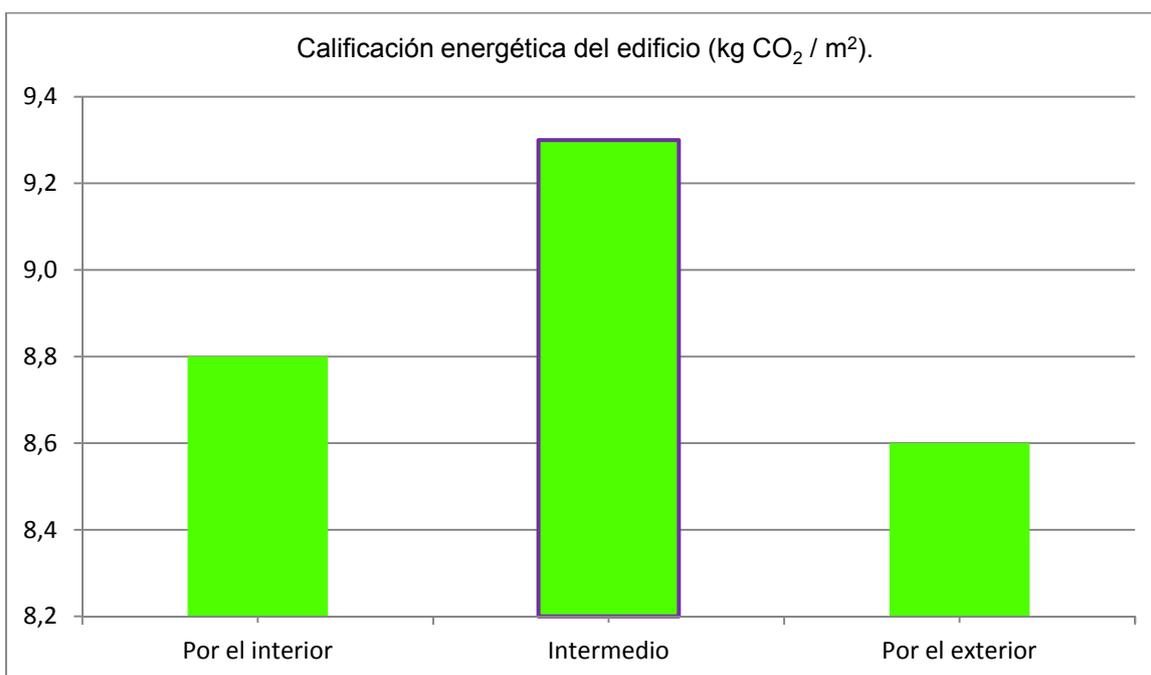
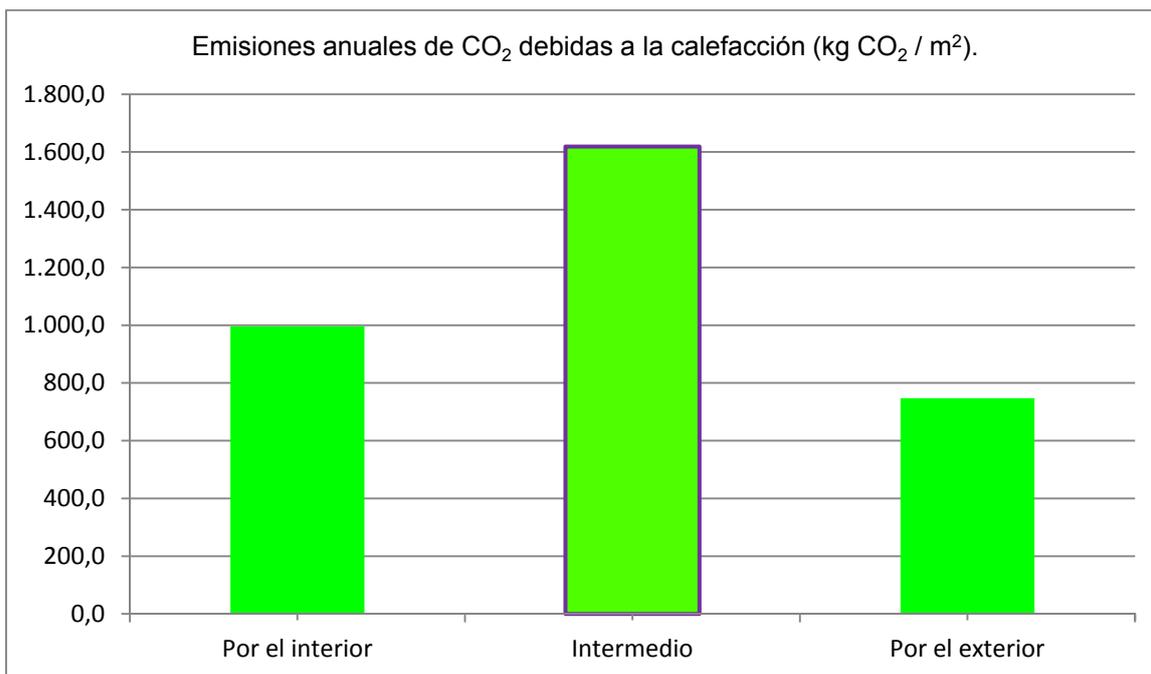
Seguidamente, se muestran los resultados de las tres modelizaciones correspondientes a las propuestas de rehabilitación energética de las fachadas realizadas sobre el edificio, con su orientación Norte como la más favorable.

ORIENTACIÓN NORTE AISLAMIENTO DE LAS FACHADAS	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL					EMISIONES ANUALES DE CO ₂					
	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		TOTAL	CALEFACCIÓN		REFRIGERACIÓN		CALIFICACIÓN ENEGÉTICA DEL EDIFICIO	
	kWh / año	CLASE	kWh / año	CLASE	kWh / año	kg CO ₂ / año	CLASE	kg CO ₂ / año	CLASE	Kg CO ₂ / m ²	CLASE
Por el interior	3.362,3	A	44.830,6	D	48.192,9	996,2	A	0,0	A	8,8	B
Intermedio	5.230,2	B	42.589,0	D	47.819,2	1.618,9	B	0,0	A	9,3	B
Por el exterior	2.490,6	A	45.328,7	D	47.819,3	747,2	A	0,0	A	8,6	B

Seguidamente, se muestran en cinco gráficas las series de valores obtenidos para facilitar la comparación de los mismos entre las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas. Los criterios de representación son análogos a los empleados en las cinco gráficas anteriores, correspondientes a las cuatro orientaciones del edificio.







El aislamiento intermedio de las fachadas del edificio con orientación Norte, es la solución constructiva que consigue la menor demanda energética anual total, y especialmente la de refrigeración, aunque sea la que mayores emisiones anuales de CO₂ genera, al estar computadas sólo las debidas a la calefacción. Con la fachada en su estado actual la demanda energética anual total es menor, pero no cumple las exigencias del *DB HE-1*.

La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 11,0 % y del 89,0 %, respectivamente.

Comportamiento de la fachada según el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación.

Finalmente, y teniendo como referencia los valores mínimos exigidos en el Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1, del Código Técnico de la Edificación, se muestran los resultados de la transmitancia térmica de las fachadas, el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las mismas y el factor de temperatura superficial de los puentes térmicos integrados en las fachadas.

Todo ello para el edificio con orientación Norte, como la más favorable, tanto con el estado actual como con las tres posibles soluciones para la rehabilitación energética de las fachadas.

Los valores que a continuación se exponen se han obtenido de los documentos justificativos generados por los programas LIDER y CALENER VYP para cada caso. Sólo aparecen reflejados cuando hay incumplimientos. La ausencia de valores concretos indica que se cumplen los requisitos mínimos.

TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LAS FACHADAS				
$U \leq U_{\text{máxima}}$				
FACHADA	U (W/m ² K)	Zona climática A4		
		U _{máxima} (W/m ² K)	U _{límite} (W/m ² K)	CUMPLE
Estado actual	1,30	1,22	0,94	NO
Aislamiento por el interior	0,43	1,22	0,94	SI
Aislamiento intermedio	0,54	1,22	0,94	SI
Aislamiento por el exterior	0,44	1,22	0,94	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LAS FACHADAS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
FACHADA	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE	f _{Rsi}	f _{Rsi,min}	CUMPLE
Estado actual	---	0,50	SI	---	0,66	SI
Aislamiento por el interior	---	0,50	SI	---	0,66	SI
Aislamiento intermedio	---	0,50	SI	---	0,66	SI
Aislamiento por el exterior	---	0,50	SI	---	0,66	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES INTERSTICIALES EN LAS FACHADAS						
$P_n \leq P_{sat,n}$ (en cada capa)						
FACHADA	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE	P _n	P _{sat,n}	CUMPLE
Estado actual	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento por el interior	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento intermedio	---	---	SI	---	---	SI
Aislamiento por el exterior	---	---	SI	---	---	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO ESTADO ACTUAL	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,70	0,50	SI	0,70	0,66	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,67	0,50	SI	0,67	0,66	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,67	0,50	SI	0,67	0,66	SI
Esquina saliente	0,79	0,50	SI	0,79	0,66	SI
Hueco ventana	0,69	0,50	SI	0,69	0,66	SI
Esquina entrante	0,87	0,50	SI	0,87	0,66	SI
Pilar	0,84	0,50	SI	0,84	0,66	SI
Unión solera – pared exterior	0,72	0,50	SI	0,72	0,66	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,63	0,50	SI	0,63	0,66	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,59	0,50	SI	0,59	0,66	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,59	0,50	SI	0,59	0,66	SI
Esquina saliente	0,60	0,50	SI	0,60	0,66	SI
Hueco ventana	0,77	0,50	SI	0,77	0,66	SI
Esquina entrante	0,78	0,50	SI	0,78	0,66	SI
Pilar	0,73	0,50	SI	0,73	0,66	SI
Unión solera – pared exterior	0,66	0,50	SI	0,66	0,66	SI

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO INTERMEDIO	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,70	0,50	SI	0,70	0,66	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,67	0,50	SI	0,67	0,66	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,67	0,50	SI	0,67	0,66	SI
Esquina saliente	0,79	0,50	SI	0,79	0,66	SI
Hueco ventana	0,69	0,50	SI	0,69	0,66	SI
Esquina entrante	0,87	0,50	SI	0,87	0,66	SI
Pilar	0,84	0,50	SI	0,84	0,66	SI
Unión solera – pared exterior	0,72	0,50	SI	0,72	0,66	SI

UNIVERSIDAD DE BURGOS – ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
MÁSTER INTERUNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA TÉRMICA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER: Raúl Briones Llorente.

RIESGO DE FORMACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES EN LOS PUENTES TÉRMICOS						
$f_{Rsj} \geq f_{Rsi,min}$						
PUENTE TÉRMICO AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR	Zona climática A4					
	CLASE HIGROMÉTRICA 3			CLASE HIGROMÉTRICA 4		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE	f_{Rsi}	$f_{Rsi,min}$	CUMPLE
Encuentro forjado – fachada	0,85	0,64	SI	0,85	0,66	SI
Encuentro suelo exterior – fachada	0,79	0,64	SI	0,79	0,66	SI
Encuentro cubierta – fachada	0,79	0,64	SI	0,79	0,66	SI
Esquina saliente	0,76	0,64	SI	0,76	0,66	SI
Hueco ventana	0,75	0,64	SI	0,75	0,66	SI
Esquina entrante	0,87	0,64	SI	0,87	0,66	SI
Pilar	0,84	0,64	SI	0,84	0,66	SI
Unión solera – pared exterior	0,72	0,64	SI	0,72	0,66	SI

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

15.1. ZONA CLIMÁTICA E1.

La orientación Norte es la más favorable para la zona climática E1, ya que presenta la menor demanda energética de calefacción, y la segunda menor demanda energética de refrigeración.

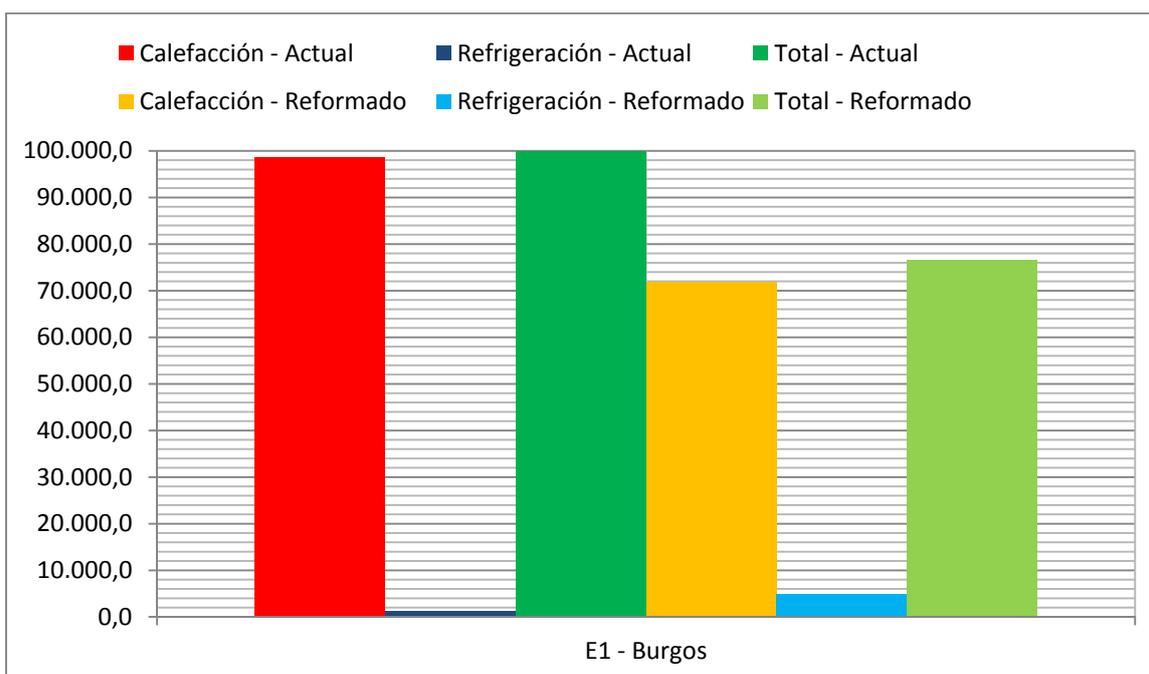
La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 98,8 % y del 1,2 %, respectivamente. Luego globalmente, es la orientación que tiene la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

Con el edificio orientado hacia el Norte, el aislamiento por el exterior de las fachadas es la solución constructiva que consigue la mayor disminución de la demanda energética anual total y de las emisiones anuales de CO₂, debidas a la calefacción y a la refrigeración.

En su estado reformado, presenta la menor demanda energética de calefacción, y la mayor demanda energética de refrigeración.

Se ha modificado la proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, pasando a ser del 93,7 % y del 6,3 %, respectivamente. Globalmente, sigue teniendo la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

ZONA CLIMÁTICA	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (kWh/año)					
	ESTADO ACTUAL			ESTADO REFORMADO		
	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL
E1 – Burgos	98.502,7	1.245,3	99.748,0	71.728,9	4.856,6	76.585,5



La fachada del edificio, en su estado actual, no cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Para los espacios habitables acondicionados con clase higrométrica 3, cumple con los valores mínimos exigidos para evitar el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas, y las condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas.

En los espacios habitables acondicionados con clase higrométrica 4, existiría riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas, y de condensaciones superficiales en cuatro de los ocho tipos de puentes térmicos integrados en las mismas.

ZONA CLIMÁTICA E1 (BURGOS) – FACHADAS ESTADO ACTUAL			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	NO	NO
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	NO
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	NO
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	NO (4 de 8)

La fachada del edificio con aislamiento por el exterior, cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Con esta solución constructiva, no hay riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas. Es la opción con la que se consigue evitar en mayor medida el riesgo de formación de condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas. Sólo aparece, para la clase higrométrica 4, en dos de los ocho puentes térmicos estudiados, y para ellos habría que desarrollar modelos específicos.

ZONA CLIMÁTICA E1 (BURGOS) – FACHADAS CON AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	SI	SI
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	SI
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	NO (2 de 8)

Como resumen, teniendo en cuenta la demanda energética anual para calefacción y refrigeración y las emisiones de CO₂ asociadas, así como el cumplimiento de los requerimientos del documento *DB HE-1*, se recomienda el aislamiento exterior de las fachadas del edificio, para la orientación Norte, como la mejor solución constructiva para su rehabilitación energética.

15.2. ZONA CLIMÁTICA C2.

La orientación Norte es la más favorable para la zona climática C2, ya que presenta la menor demanda energética de calefacción, y la segunda menor demanda energética de refrigeración.

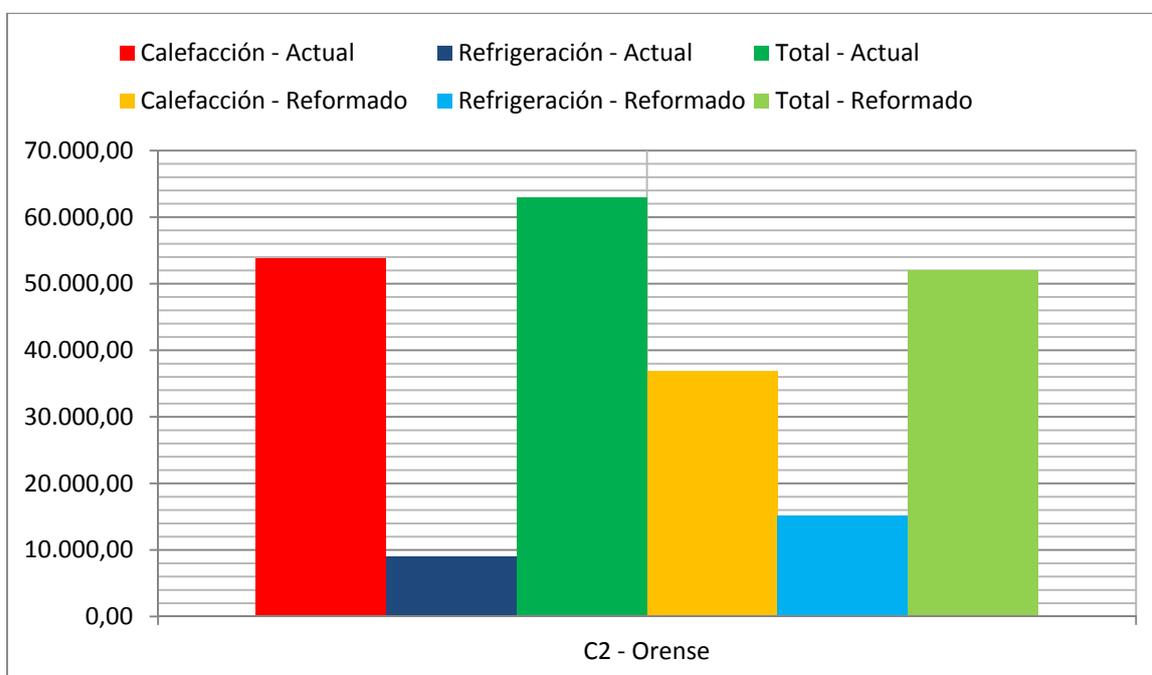
La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 85,5 % y del 14,5 %, respectivamente. Luego globalmente, es la orientación que tiene la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

Con el edificio orientado hacia el Norte, el aislamiento por el exterior de las fachadas es la solución constructiva que consigue la mayor disminución de la demanda energética anual total y de las emisiones anuales de CO₂, debidas a la calefacción y a la refrigeración.

En su estado reformado, presenta la menor demanda energética de calefacción, y la mayor demanda energética de refrigeración.

Se ha modificado la proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, pasando a ser del 70,9 % y del 29,1 %, respectivamente. Globalmente, sigue teniendo la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

ZONA CLIMÁTICA	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (kWh/año)					
	ESTADO ACTUAL			ESTADO REFORMADO		
	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL
C2 – Orense	53.796,7	9.090,6	62.887,3	36.860,7	15.192,6	52.053,3



La fachada del edificio, en su estado actual, no cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Para los espacios habitables acondicionados con clase higrométrica 3, cumple con los valores mínimos exigidos para evitar el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas, y las condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas.

En los espacios habitables acondicionados con clase higrométrica 4, existiría riesgo de formación de condensaciones superficiales en las fachadas.

ZONA CLIMÁTICA C2 (ORENSE) – FACHADAS ESTADO ACTUAL			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	NO	NO
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	NO
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	SI
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI

La fachada del edificio con aislamiento por el exterior, cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Con esta solución constructiva, no hay riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas. Tampoco hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas.

ZONA CLIMÁTICA C2 (ORENSE) – FACHADAS CON AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	SI	SI
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	SI
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI

Como resumen, teniendo en cuenta la demanda energética anual para calefacción y refrigeración y las emisiones de CO₂ asociadas, así como el cumplimiento de los requerimientos del documento *DB HE-1*, se recomienda el aislamiento exterior de las fachadas del edificio, para la orientación Norte, como la mejor solución constructiva para su rehabilitación energética.

15.3. ZONA CLIMÁTICA A4.

La orientación Norte es la más favorable para la zona climática A4, ya que presenta la menor demanda energética de calefacción, y la tercera menor demanda energética de refrigeración.

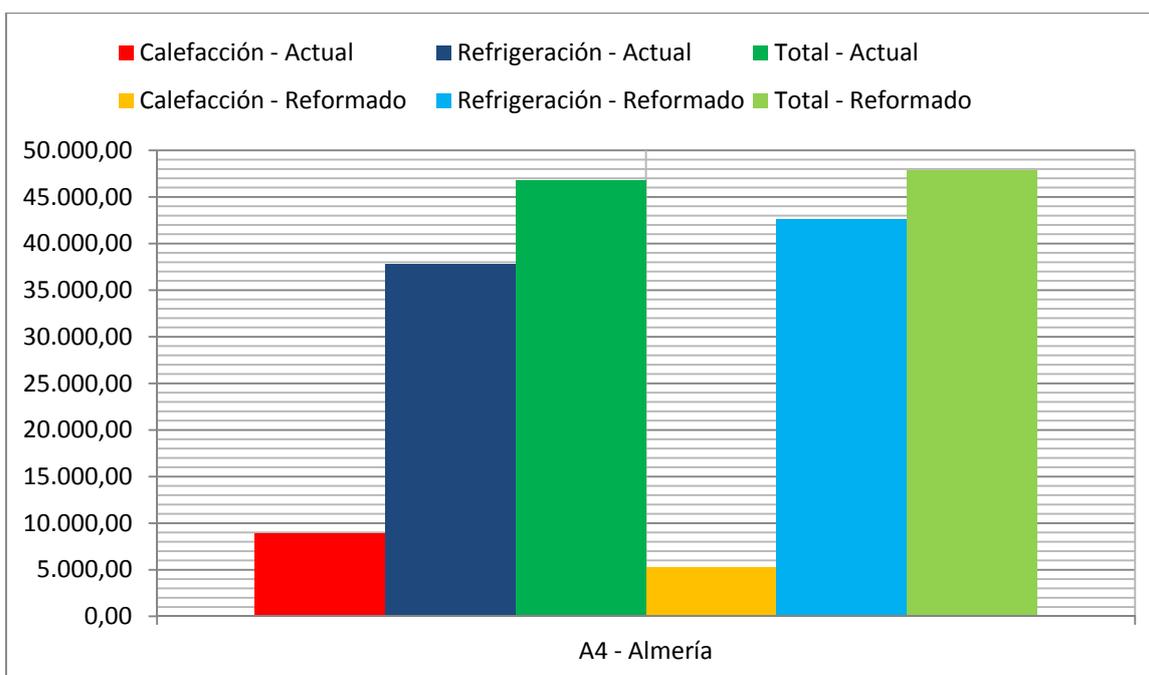
La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, es del 19,2 % y del 80,8 %, respectivamente. Luego globalmente, es la orientación que tiene la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

Con el edificio orientado hacia el Norte, el aislamiento intermedio de las fachadas es la solución constructiva que consigue la menor demanda energética anual total, y especialmente la de refrigeración, aunque sea la que mayores emisiones anuales de CO₂ genera, al estar computadas sólo las debidas a la calefacción. Con la fachada en su estado actual la demanda energética anual total es menor, pero no cumple las exigencias del *DB HE-1*.

En su estado reformado, presenta la mayor demanda energética de calefacción, y la menor demanda energética de refrigeración.

Se ha modificado la proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración, pasando a ser del 11,0 % y del 89,0 %, respectivamente. Globalmente, sigue teniendo la menor demanda anual total de energía: calefacción + refrigeración.

ZONA CLIMÁTICA	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (kWh/año)					
	ESTADO ACTUAL			ESTADO REFORMADO		
	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	TOTAL
A4 – Almería	8.966,1	37.856,9	46.823,0	5.230,2	42.589,0	47.819,2



La fachada del edificio, en su estado actual, no cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Para los espacios habitables acondicionados con clases higrométricas 3 y 4, cumple con los valores mínimos exigidos para evitar el riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas, y las condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas.

ZONA CLIMÁTICA A4 (ALMERÍA) – FACHADAS ESTADO ACTUAL			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	NO	NO
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	SI
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI

La fachada del edificio con aislamiento intermedio, cumple con el valor mínimo exigido en el *Documento de Ahorro de Energía, DB HE-1*, del *Código Técnico de la Edificación*, en cuanto a la transmitancia térmica.

Con esta solución constructiva, no hay riesgo de formación de condensaciones superficiales e intersticiales en las fachadas. Tampoco hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en los puentes térmicos integrados en las mismas.

ZONA CLIMÁTICA A4 (ALMERÍA) – FACHADAS CON AISLAMIENTO INTERMEDIO			
REQUERIMIENTOS CTE - DB HE-1		CLASE HIGROMÉTRICA 3	CLASE HIGROMÉTRICA 4
Transmitancia térmica	$U \leq U_{\text{máxima}}$	SI	SI
Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI
Condensaciones intersticiales	$P_n \leq P_{sat,n}$	SI	SI
Puentes térmicos - Condensaciones superficiales	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,min}$	SI	SI

Como resumen, teniendo en cuenta la demanda energética anual para calefacción y refrigeración y las emisiones de CO₂ asociadas, así como el cumplimiento de los requerimientos del documento *DB HE-1*, se recomienda el aislamiento intermedio de las fachadas del edificio, para la orientación Norte, como la mejor solución constructiva para su rehabilitación energética.

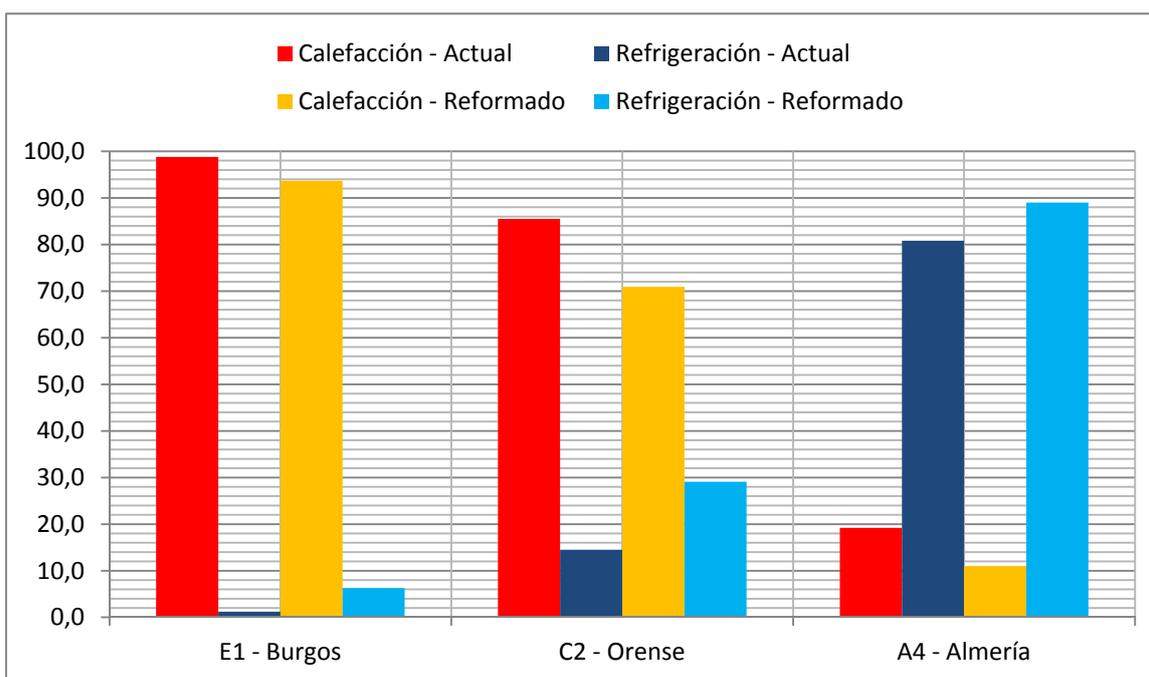
15.4. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.

La demanda energética anual de refrigeración se puede evaluar perfectamente en las tres zonas climáticas. Pero como el edificio está pensado para la zona climática E1, no dispone de instalación de refrigeración. Esto hace que no se puedan evaluar las emisiones anuales de CO₂ achacables a la refrigeración, lo que distorsiona la calificación energética del edificio, especialmente en las zonas climáticas donde la proporción relativa de la demanda de refrigeración es superior a la de calefacción, como sucede en la zona A4.

La proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio orientado hacia el Norte con las fachadas en el estado actual, es distinta para cada zona climática. La demanda de calefacción es más importante que la de refrigeración en la zona climática E1, seguida de la zona climática C2, y es menos importante en la zona climática A4.

En las tres rehabilitaciones de las fachadas elegidas para las tres zonas climáticas se produce una modificación de la proporción relativa de las demandas de calefacción y refrigeración. En todas ellas disminuye el peso de la demanda de calefacción y aumenta el peso de la demanda de refrigeración. Esto se debe a la reducción de las pérdidas por transmisión a través de las fachadas, y al aumento de la inercia térmica de los cerramientos.

ZONA CLIMÁTICA	DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (%)			
	ESTADO ACTUAL		ESTADO REFORMADO	
	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN
E1 – Burgos	98,8	1,2	93,7	6,3
C2 – Orense	85,5	14,5	70,9	29,1
A4 – Almería	19,2	80,8	11,0	89,0



A la hora de rehabilitar energéticamente las fachadas del edificio, hay que hacerlo de manera integral incluyendo también la sustitución de las carpinterías exteriores. En los informes del *LIDER* se detecta que las puertas y ventanas no cumplen los requisitos mínimos de transmitancia térmica ni de permeabilidad al aire exterior en las zonas E1 y C2.

Por otra parte, la colocación en la zona climática A4 de nuevas carpinterías exteriores con menor transmitancia térmica, menor factor solar para el vidrio y menor absortividad del marco, contribuiría a disminuir la demanda energética de refrigeración, que supone la mayor parte de la demanda energética anual en esa zona.

También habría que estudiar otras medidas pasivas, como la colocación de objetos que generen sombra sobre las ventanas en los meses más calurosos, cuando el Sol está más alto, como toldos, tejadillos o lamas con una determinada inclinación y separación.

Para todas las zonas sería recomendable hacer una intervención en la envolvente térmica que alcance a los demás elementos además de los de la fachada, como el suelo en contacto con el terreno, el suelo en contacto con el exterior, y las cubiertas planas e inclinadas. Se conseguiría disminuir la demanda energética anual, cumplir con los requisitos del documento *DB HE-1*, y un funcionamiento más homogéneo de los elementos constructivos con similares dilataciones y contracciones debidas a la variación de la temperatura, lo que redundaría en una mayor vida útil.

Si la parcela en la que está ubicado el edificio lo permite, sería interesante estudiar otra medida pasiva de ahorro energético como es la colocación de una pantalla vegetal formada por árboles de hoja caduca, que permiten el paso de la radiación solar en invierno mientras frenan la acción del viento y de la lluvia, y en verano dan sombra al edificio ayudando a bajar la temperatura exterior de envolvente térmica, y crean en su entorno un microclima con una temperatura menor y una humedad relativa mayor, asociada al fenómeno de la evaporación.

Respecto a los puentes térmicos, se desprende del análisis de los informes del *LIDER* que existe en general mayor riesgo de formación de condensaciones superficiales en las zonas con peores condiciones de severidad climática en invierno: temperatura exterior baja y humedad relativa exterior alta.

Se propone el estudio detallado de los distintos puentes térmicos con programas informáticos específicos como el *THERM*, que es un programa de cálculo de calor en dos dimensiones en régimen estacionario, o *WUFI*, que es un programa de análisis dinámico higrométrico de cerramientos.

Una vez conseguida la reducción de la demanda energética del edificio, y saliéndose ya del alcance del presente trabajo, se recomienda el estudio y mejora de sus instalaciones de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación. Se conseguiría aumentar la eficiencia de las mismas contribuyendo también a disminuir la demanda energética desde el punto de vista activo, y permitiría la incorporación de sistemas basados en energías

renovables, lo que ayudaría decisivamente a reducir las emisiones de CO₂ y a mejorar la calificación energética del edificio.

Para poder realizar un estudio completo de las medidas pasivas y activas de cara a la mejora de la eficiencia energética del edificio, y poder manejar más parámetros de entrada y salida de datos, se recomienda el uso del programa *TRNSYS*. Es un entorno de simulación completo y extensible para sistemas transitorios, es decir que evolucionan en el tiempo, pasando de un estado 1 a otro 2, permitiendo la simulación de edificios formados por varias zonas. Este software es utilizado por ingenieros e investigadores de todo el mundo para justificar proyectos relacionados con comportamientos energéticos. Por ejemplo, este paquete permite evaluar un sistema doméstico de agua caliente diseñando y simulando el edificio con todo su equipamiento, incluyendo las estrategias de control, la ocupación, sistemas de energías renovables (eólico, solar, fotovoltaico, geotérmico, sistemas basados en el hidrógeno), etc.

Las administraciones públicas competentes en legislación urbanística deberían favorecer medidas como el aislamiento exterior de las fachadas de los edificios, aunque suponga romper levemente las alineaciones de los mismos y aumentar su superficie construida. También deberían primar para las nuevas zonas de planeamiento urbano y para los nuevos edificios situados en parcelas amplias, la orientación de las fachadas que permita un mayor ahorro de energía, por encima de criterios basados sólo en el diseño urbanístico.

Como conclusión final, se deduce que no sirve un mismo proyecto de nueva construcción o de rehabilitación para un mismo edificio que vaya a ser construido en diferentes zonas climáticas, o con diferentes orientaciones. Hay que estudiar soluciones específicas teniendo en cuenta las condiciones exteriores de humedad, temperatura, viento o elementos de sombra, y las condiciones interiores de temperatura, humedad, renovación de aire o cargas internas, además de las características de la envolvente térmica del edificio y de sus instalaciones. Para manejar todos estos datos de partida, estudiar distintas soluciones y obtener resultados concluyentes, son muy útiles los programas de modelización energética de edificios existentes en la actualidad.

16. BIBLIOGRAFÍA.

Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE – Ahorro de energía. Ministerio de Fomento. Actualizado en 2009.

André P., Georges B., Lebrun J., Lemort V., Teodorese I.V. «From model validation to production of reference simulations: How to increase reliability and applicability of building and HVAC simulation models.» *Building Services Engineering Research and Technology*, 2008: 29 (1), pp. 61-72.

Arlati E. «University / industry experimental research program: Ventilated facades envelopes & energy savings - Components' integration for innovative and sustainable building envelopes.» *Proceedings of the 6th European Conference on Product and Process Modelling - eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, ECPPM 2006*, 2006: pp. 197-205.

Azuvi, Coarce. «Backlighting murals. Arquitect. Polis.» *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2009: 48 (2), pp. 131-134.

Basset M. R., McNeil S. «Measured ventilation rates in water managed wall cavities.» *Proceedings of the 3rd International Building Physics Conference - Research in Building Physics and Building Engineering*, 2006: pp. 403-410.

Bernardo E., De Lazzari M., Colombo P., Llaudis A.S., Garcia Ten F.J. «Lightweight Porcelain stoneware by engineered Ceo2 addition.» *Advanced Engineering Materials*, 2010: 12 (1-2), pp. 65-70.

Bojic M., Nikolic N., Nikolic D., Skerlic J., Miletic I. «Toward a positive-net-energy residential building in Serbian conditions.» *Applied Energy*, 2011: 88 (7), pp.2407-2419.

Bougiatioti F., Evangelinos E., Poulakos G., Zacharopoulos E. «An assessment of construction details as indicators of the environmental impact of materials used on the "skin" in Greek cities.» *Management of Environmental Quality*, 2009: 20 (2), pp. 142-154.

Broome B. «Museo del Acero horno.» *Iron and Steel Technology*, 2008: 5 (3), pp. 27-29.

Charron R., Athienitis A.K. «A two-dimensional model of a double-façade with integrated photovoltaic panels.» *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 2006: 128 (2), pp. 160-167.

Charron R., Athienitis A.K. «Optimization of the performance of doble-façades with integrated photovoltaic panels and motorized blinds.» *Solar Energy*, 2006: 80 (5), pp. 482-491.

Corgnati S.P., Perino M., Serra V. «Experimental assessment of the performance of an active transparent façade during actual operating conditions.» *Solar Energy*, 2007: 81 (8), pp. 993-1013.

Coussirat M., Guardo A., Jou E., Egusquiza E., Cuerva E., Alavedra P. «Performance and influence of numerical sub-models on the CFD simulation of free and forced convection in double-glazed ventilated façades.» *Energy and Buildings*, 2008: 40 (10), pp. 1781-1789.

Davidovic D., Srebric J., Burnett E.F.P. «Modeling convective drying of ventilated wall chambers in buildings enclosures.» *International Journal of Thermal Sciences*, 2006: 45 (2), pp. 180-189.

Fonseca Díaz N. «Modeling of a hydronic ceiling system and its environment as energetic auditing tool.» *Applied Energy*, 2011: 88 (3), pp. 636-649.

Fraisse G., Boichot R., Kouyoumji J. L., Souyri B. «Night cooling with a Ventilated Internal Double Wall.» *Energy and Buildings*, 2010: 42 (3), pp. 393-400.

Fraisse G., Johannes K., Trilland-Berdal V., Achard G. «The use of a heavy internal wall with a ventilated air gap to store solar energy and improve summer comfort in timber frame houses.» *Energy and Buildings*, 2006: 38 (4), pp. 293-302.

Haase M., Amato A. «A study of the effectiveness of different control strategies in double skin facades in warm and humid climates.» *Journal of Building Performance Simulation*, 2009: 2 (3), pp. 179-187.

Haase M., Marques da Silva F., Amato A. «Simulation of ventilated facades in hot and humid climates.» *Energy and Buildings*, 2009: 41 (4), pp. 361-373.

Hackler J., Holdren J.P. «Walking the talk and walking the walk at the woods hole research center: Design and performance of an award-winning green headquarters.» *Journal of Green Building*, 2008: 3 (1), pp. 3-13.

Hegger J., Horstman M. «Light-weight TRC sandwich building envelopes.» *Excellence in Concrete Construction through innovation - Proceedings of the International Conference on Concrete Construction*, 2009: pp. 187-194.

Hegger J., Horstmann M., Voss S., Will N. «Textile reinforced concrete load-bearing behavior, design and application.» *Beton - und Stahlbetonbau*, 2007: 102 (6), pp. 362-370.

Hegger J., Voss S. «Investigations on the bearing behavior and application potential of textile reinforced concrete.» *Engineering Structures*, 2008: 30 (7), pp. 2050-2056.

Horstmann M., Hegger J. «Sandwich façades made of Textile Reinforced Concrete - Experimental investigations.» *Bautechnik*, 2011: 88 (5), pp. 281-291.

Infield D., Eicker U., Fux V., Mei L., Schumacher J. «A simplified approach to thermal performance calculation for building integrated mechanically PV facades.» *Building and Environment*, 2006: 41 (7), pp. 893-901.

Joscak M., Sonderegger W., Niemz P., Holm A., Krus M., GroBkinsky T., Lengsfeld K., Grunewald J. «Comparative measurements of heat and moisture transfer in different wood-based building elements.» *Bauphysik*, 2011: 33 (5), pp. 287-298.

Kapsalaki M., Leal V. «Recent progress on net zero energy buildings.» *Advances in Building Energy Research*, 2011: 5 (1), pp. 129-162.

Kulas C., Schneider M., Will N., Grebe R. «Ventilated façade structures made of textile reinforced concrete - Structural behavior and construction.» *Bautechnik*, 2011: 88 (5), pp. 271-280.

Marques da Silva F., Glória Gomes M. «Gap inner pressures in multi-storey double skin facades.» *Energy and Buildings*, 2008: 40 (8), pp. 1553-1559.

Martín-Márquez J., Rincón J.Ma., Romero M. «Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles.» *Ceramics International.*, 2008: 34 (8), pp. 1867-1873.

Matuska T., Sourek B. «Façade solar collectors.» *Solar Energy*, 2006: 80 (11), pp. 1443-1452.

Mazzanti B., Fazio S., Salomoni A., Dei Svaldi S., Zevi C., Rotunno G. «External building façades using photovoltaic ceramic tiles.» *InterCeram: International Ceramic Review*, 2008: 57 (5), pp. 335-341.

Mokry M. «Encounters with the golden ratio in fluid dynamics.» *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2008: 114, pp. 119-128.

Mora Pérez M., López Patiño G., Bengoechea Escribano M.A., López Jiménez P.A. «Quantification of ventilated façade efficiency by using computational fluid mechanics techniques.» *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2011: 50 (2), pp. 99-108.

Müller A., De Oliveira A.P.N., Güths S., Alarcon O.E. «Thermal behavior of ventilated facades assembled using porcelain-coated stoneware tile.» *American Ceramic Society Bulletin*, 2007: 86 (6), pp. 35-39.

Nitsche L., Nitsche P. «Casa bar sahy Sao Paulo, Brazil.» *ARQ*, 2010: (76), pp. 40-43.

Nore K., Blocken B., Thue J.V. «On CFD simulation of wind-induced airflow in narrow ventilated facade cavities: Coupled and decoupled simulations and modelling limitations.» *Building and Environment*, 2010: 45 (8), pp. 1834-1846.

Nümberger U., Köse C. «Corrosion behavior of stainless steel weld-on anchors of claddings for external walls ventilated at the rear and made of natural stone.» *Bautechnik*, 2010: 87 (7), pp. 373-382.

Parkinson S., Sandkuehler P., Pérez Segú M., Colomer J., Nieto J., Berto A.M., Vilches E.S., Solana V.S., Moreno G.S. «Laminated ceramic polymer composites for ventilated façade systems.» *InterCeram: International Ceramic Review*, 2009: 58 (1), pp. 31-35.

Patania F., Gagliano A., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. «Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades.» *Energy and Buildings*, 2010: 42 (7), pp. 1148-1155.

Pérez Lombard L., Ortiz J., Coronel J.F., Maestre I.R. «A review of HVAC systems requirements in building energy regulations.» *Energy and Buildings*, 2011: 43 (2-3), pp. 255-268.

Pulselli R.M., Simoncini E., Marchettini n. «Energy and emergy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate.» *Building and Environment*, 2009: 44 (5), pp. 920-928.

Raimondo M., Dondi M., Zanelli C., Guarini G., Gozzi A., Marani F., Fossa L. «Processing and properties of large-sized ceramic slabs.» *Boletín de la Sociedad Española d Cerámica y Vidrio*, 2010: 49 (4), pp. 289-295.

- Reddy T.A., Maor I., Panjapornpon C. «Calibrating detailed building energy simulation programs with measured data - Part I: General methodology (RP-1051).» *HVAC and R Research*, 2007: 13 (2), pp. 221-241.
- Richman R.C., Cianfrone C., Pressnail K.D. «More sustainable masonry façades: Preheating ventilation air using a dynamic buffer zone.» *Journal of Building Physics*, 2010: 34 (1), pp. 27-41.
- Sadineni S.B., Madala S., Boehm R.F. «Passive building energy savings: A review of building envelope components.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012: 15 (8), pp. 3617-3631.
- Sanjuan C., Sánchez M.N., Heras M.D.R., Blanco E. «Experimental analysis of natural convection in open joint ventilated façades with 2D PIV.» *Building and Environment*, 2011: 46 (11), pp. 2314-2325.
- Sanjuan C., Suárez M.J., Blanco E., Heras M.d.R. «Development and experimental validation of a simulation model for open joint ventilated façades.» *Energy and Buildings*, 2012.
- Sanjuan C., Suárez M.J., González M., Pistono J., Blanco E. «Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade.» *Solar Energy*, 2011: 85 (9), pp. 1851-1863.
- Seferis P., Strachan P., Dimoudi A., Androutsopoulos A. «Investigation of the performance of a ventilated wall.» *Energy and Buildings*, 2011: 43 (9), pp. 2167-2178.
- Sinclair R., Phillips D., Mezhibovski V. «Ventilating façades.» *ASHRAE Journal*, 2009: 51 (4), pp. 16-27.
- Soto R., Boutinguiza M., Lusquiños F., Pou J., Quintero F., Pérez-Amor M. «Laser drilling of natural stones.» *Materials Science Forum*, 2006: 514-516 (PART 1), pp. 734-738.
- Stadler M., Siddiqui A., Marnay C., Aki H., Lai J. «Control of greenhouse gas emissions by optimal der technology investment and energy management in zero-net-energy buildings.» *European Transactions on Electrical Power*, 2011: 21 (2), pp. 1291-1309.
- Stazi F., Tomassoni F., Vegliò A., Di Perna C. «Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding.» *Renewable Energy*, 2011: 36 (12), pp. 3373-3385.
- Vielba C. «Natural stone in ventilated façades: method for determining the appropriate moisture content for strength tests.» *Materiales de Construcción*, 2009: 59 (293), pp. 63-83.
- Zanghirella F., Perino M. «A numerical model to evaluate the thermal behavior of active transparent façades.» *Proceedings - 6th International Symposium on Heating, Ventilating and Air Conditioning ISHVAC*, 2009: 3, pp. 2154-2163.
- Zanghirella F., Perino M., Serra V. «A numérical model to evaluate the thermal behavior of active transparent façades.» *Energy and Buildings*, 2012.
- Zhao J., Li J., Xu P. «Thermal performance study on modular evaporative cooling sandwich wall on mechanical ventilation condition.» *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2011: 27 (2), pp. 312-318.

ANEXO. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA.

Con el documento escrito del presente Trabajo de Fin de Máster, se adjunta un CD con la siguiente información complementaria:

- 01 – Artículos mostrados en la bibliografía.
- 02 – Fotos y gráficos empleados.
- 03 – Planos del edificio.
- 04 – *TRNSYS*: archivo con la modelización del edificio.
- 05 – *LIDER* y *CALENER VYP*: informes de resultados y archivos de todas las modelizaciones realizadas.
- 06 – Memoria escrita.
- 07 – Presentación para la defensa oral del trabajo.