

## **PRECOST&E REHABILITACIÓN**

EVALUACIÓN DE LOS COSTES CONSTRUCTIVOS Y CONSUMOS ENERGÉTICOS DERIVADOS DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LA ZONA CLIMÁTICA D3 (MADRID)

---

**MEMORIA**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (UPM). Grupo de Investigación SCI (Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria)

PROMOTORES: FUNDACIÓN ASPRIMA, GAS NATURAL FENOSA, UPONOR, URSA-PLADUR, IDAE

## **ÍNDICE**

### **1. INTRODUCCIÓN**

1.1 Promotores

1.2 Antecedentes

1.3 Introducción

### **2. OBJETIVOS**

### **3. METODOLOGÍA**

3.1 Selección del edificio

3.2 Cuestiones previas

3.3 Herramientas

3.4 Etapas del estudio

### **4. DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS PREVIO**

4.1 Análisis de la documentación de proyecto

4.2 Documentación gráfica

- 4.2.1 Plantas del edificio
- 4.2.2 Alzados y secciones

4.3 Clima

- 4.3.1 Datos climáticos
- 4.3.2 Cartas bioclimáticas

### **5. CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO**

5.1 Entorno

5.2 El edificio Alameda de Osuna nº48

5.3 Características constructivas

- 5.3.1 Estructura

## **PRECOST&E REHABILITACIÓN**

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

- 5.3.2 Envolverte

5.4 Sistemas energéticos

5.5 Ventilación

5.6 Cumplimiento del DB-HE 1: Limitación de la demanda energética

5.7 Puentes fuertes y puntos débiles

## **6. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EXISTENTE CON CALENER VYP**

## **7. ESTUDIO DE LOS CONSUMOS**

7.1 Consumo de gas natural

7.2 Consumo de electricidad

7.3 Consumo de agua

## **8. CATALOGACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**

8.1 Precios de las partidas

8.2 Estrategias

8.3 Ventilación

8.4 Fachadas

- 8.4.1 Sistema de aislamiento térmico por el exterior de fachadas con acabado de enfoscado (SATE)
- 8.4.2 Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada
- 8.4.3 Sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante
- 8.4.4 Comparación de las medidas de mejora de la fachada

8.5 Cubiertas

- 8.5.1 Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida
- 8.5.2 Sistema de aislamiento por el exterior con cubierta vegetal
- 8.5.2 Sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto
- 8.5.4 Sistema de aislamiento por el exterior con doble cubierta inclinada con espacio destinado a trasteros
- 8.5.5 Comparación de las medidas de mejora de las cubiertas

## **PRECOST&E REHABILITACIÓN**

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

### 8.6 Suelos

- 8.5.1 Sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido

### 8.7 Huecos

- 8.7.1 Sustitución de vidrios
- 8.7.2 Sustitución de los huecos existentes
- 8.7.3 Colocación de un nuevo hueco por el exterior
- 8.7.4 Protección solar en los huecos de fachada
- 8.7.5 Comparación de las medidas de mejora de las características de los huecos
- 8.7.6 Comparación de las medidas de protección solar de los huecos

### 8.8 Resumen de resultados

## **9. CASOS DE ENVOLVENTE**

9.1 Envoltente que cumple el DB-HE1 (E1)

9.2 Envoltente mejorada (E2)

9.3 Comparación de resultados de las envoltentes

## **10. CATALOGACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS**

10.1 Características de los sistemas energéticos seleccionados

- 10.1.1 Equipos
- 10.1.2 Emisores

10.2 Energías renovables

- 10.2.1 Instalación solar térmica

10.3 Presupuestos de los sistemas energéticos

10.4 Sistemas energéticos seleccionados

- 10.4.1 Calefacción y ACS
- 10.4.2 Calefacción, refrigeración y ACS

10.5 Resumen de resultados

## **11. HIPÓTESIS DE CÁLCULO. RESULTADOS DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA**

11.1 Definición de las hipótesis de cálculo

11.2 Calificaciones energéticas, demandas y coste de las medidas

11.3 Consumos y ahorros energéticos

11.4 Costes y amortización

## **12. CONCLUSIONES**

12.1 Conclusiones sobre las herramientas

12.2 Conclusiones económicas

12.3 Conclusiones generales

## **13. BIBLIOGRAFÍA**

## **14. ANEXOS**

14.1 Listado de precios de las medidas de la envolvente

14.2 Presupuestos de los sistemas energéticos

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Promotores

El estudio Precost&e es un convenio de colaboración entre los promotores del trabajo: la Fundación Asprima, Gas Natural Fenosa, Uponor y Ursa-Pladur, el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) y el Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria (giSCI) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). La fase actual se ha desarrollado entre septiembre de 2011 y julio de 2012.

El equipo investigador está formado por Justo García Navarro (Dr. Arquitecto), María Jesús González Díaz (Arquitecta) y Marta Valdivieso Rodríguez (Arquitecta).

#### 1.2 Antecedentes

Precost&e Rehabilitación es la tercera fase del estudio. Las fases I y II evaluaron los costes constructivos y los consumos energéticos derivados de la calificación energética en un bloque de viviendas de nueva construcción. La primera fase, finalizada en 2009, se desarrolló en la zona climática D3 (Madrid), y la segunda, finalizada en 2010, amplió el estudio a otras zonas climáticas: B3 (Valencia), B4 (Sevilla), C1 (Oviedo), y C2 (Barcelona).

#### 1.3 Introducción

##### Contexto europeo

La Unión Europea aprobó en 2008 la comunicación *Dos veces 20 para el 2020. El cambio climático, una oportunidad para Europa*, que establecía tres objetivos para el año 2020: la reducción de un 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (780 millones de toneladas), el suministro de al menos un 20% de la energía consumida con fuentes renovables, y la reducción, mediante el incremento de la eficiencia energética, de un 20% del consumo de energía primaria en Europa (368 millones de toneladas equivalentes de petróleo y un ahorro de 100.000 millones de euros anuales en costes de combustible). En Europa los edificios son responsables del 40% del consumo final de energía, por lo que son un elemento clave para alcanzar ese objetivo.

La Comisión Europea aprobó en 2002 la Directiva 2002/91/UE (EPBD) de eficiencia energética de los edificios, y un refundido en mayo de 2010 como Directiva 2010/31/EU. Ambas desarrollan una metodología común para calcular la eficiencia energética de los edificios, unos requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios nuevos y rehabilitaciones importantes, los sistemas para la certificación energética de los edificios, y los requisitos para las inspecciones periódicas de las calderas y los sistemas centrales de aire acondicionado. La Directiva 2010/31 UE además introduce el concepto de edificio de consumo de energía casi nulo, como aquel con un nivel de eficiencia energética muy alto, y en el que la energía requerida, casi nula o muy baja, debe estar cubierta, en muy amplia medida, por energía de

fuentes renovables (in situ o en el entorno). La UE estima que la implementación de la Directiva 2010/31 puede reducir el consumo energético en un 5-6%.

La EPBD 2002/91/EC se ha transpuesto a la legislación española mediante:

- El Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, cuyo *Documento Básico HE (DB-HE): Ahorro de energía* establece los requisitos de eficiencia energética, su aplicación en edificios nuevos y a los sufran reformas significativas, y del uso de energías renovables.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.
- El Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Nueva Construcción.
- Proyecto del procedimiento básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios Existentes (B.O.E., núm. 28 de 2 de febrero de 2012), en periodo de aprobación en junio de 2012.

### Contexto español

En España, la edificación representa el 26% del consumo de energía final, un 17% las viviendas y un 9% los edificios del sector terciario. El 53% de esas viviendas, de un total aproximado de 25 millones (en 2008), son anteriores a la entrada en vigor de cualquier normativa de eficiencia energética (la primera fue la NBE-CT/79, de 1979).

Además en los últimos 18 años el consumo energético de los hogares se ha incrementado cerca de un 50%. Los usos de calefacción (47%) y refrigeración (0,8%) representan la mitad del consumo de energía final de una vivienda española media, cifra que asciende al 75% si se considera también el consumo para la producción de agua caliente sanitaria (18,9%) (1).

Para alcanzar los objetivos 20-20-20 las mejoras energéticas en las nuevas construcciones no son suficientes para reducir el consumo de energía y las emisiones de las edificaciones, es necesario que la rehabilitación energética empiece a cobrar importancia en el sector de la construcción.

Según el estudio *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020* (2), de WWF, el sector residencial español tiene capacidad técnica y económica para asumir un objetivo de reducción del consumo de energía final en el parque de viviendas existente para el 2020 de al menos un 30% con respecto 2008. Esto significa reducir las emisiones de CO2 en 8,7 millones de toneladas anuales y un ahorro medio anual de 2.312 millones de euros.

Según el mismo estudio, para ello sería necesario renovar entre medio millón y un millón de viviendas al año (2-4% del parque residencial que existía en 2008), lo que significa multiplicar entre 3 y 7 veces la tasa de rehabilitación del Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012.

También son interesantes los informes *Una visión-país para el sector de la edificación en España- Hoja de ruta para un nuevo sector de vivienda* (3), sobre la repercusión y las

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

estimaciones globales de la rehabilitación energética en el parque de viviendas en España, y el *Estudio sobre Pobreza Energética en España. Potencial generación de empleo derivado de la rehabilitación energética de viviendas* (4), donde se establece el concepto de pobreza energética, muy relevante en el aspecto social de la rehabilitación energética.

## **2. OBJETIVOS**

Estudiar la relación, en un edificio existente, entre las medidas que permiten rehabilitar energéticamente el edificio, la nueva calificación energética conseguida con estas medidas y su coste de ejecución aproximado, en la zona climática D3 (Madrid).

Obtener conclusiones que orienten a promotores y arquitectos en las decisiones de proyecto, ofreciendo información de la relación coste/beneficio/inversión en la rehabilitación energética, y permitan encontrar las mejores soluciones para cada caso desde un punto de vista medioambiental y económico.

Ofrecer una visión general e integral de los aspectos de la rehabilitación energética, que pueda repetirse y aplicarse en diferentes circunstancias, con una base fundamentada y rigurosa sobre la que basar estrategias según las características de cada caso. Marcar así mismo, basándose en el análisis de un edificio representativo del parque español de viviendas, criterios generales de aplicación para una aproximación a la eficiencia energética.

---

### 3. METODOLOGÍA

Se selecciona un edificio existente, del que se calcula por una parte la demanda y el consumo energético real, y por otra se evalúa su calificación energética con Calener VyP, y se obtienen resultados de demandas y consumos energéticos. Esto permitirá establecer una relación de fiabilidad entre los datos de demanda del edificio, los resultados del método de evaluación empleado (Lider y Calener VyP) y los consumos reales.

Una vez caracterizado el edificio real, se simularán mejoras en la envolvente, que serán evaluadas una a una para establecer: su capacidad de reducción de la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub>, la nueva calificación energética que se obtiene como resultado, y su coste de ejecución material.

Posteriormente se evaluarán dos hipótesis de la envolvente del edificio, mejorada con algunas Intervenciones seleccionadas. Estas envolventes se denominarán E1 (Envolvente que cumple CTE) y E2 (Envolvente que supera los mínimos estrictos del CTE), y sobre ellas se calcularán varios sistemas energéticos seleccionados. Se evaluarán de nuevo la reducción de demanda y emisiones de CO<sub>2</sub>, y la variación en la calificación energética, para establecer la demanda final del edificio y la calificación energética alcanzable con las envolventes y sistemas energéticos considerados. Todas las hipótesis serán presupuestadas (precio de ejecución material).

Finalmente, se analizarán las comparaciones entre todos los datos obtenidos para establecer las relaciones entre calificación energética, coste, beneficio e inversión de las actuaciones realizadas.

#### 3.1 Selección del edificio

El edificio de 95 viviendas en el Paseo Alameda de Osuna 48, en Madrid, se seleccionó, de un listado puesto a disposición del estudio, por los siguientes motivos:

- Tipología de edificio en bloque de 95 viviendas, de 2 y 3 dormitorios entre 65 m<sup>2</sup> y 80 m<sup>2</sup>.
- Edificio con un único propietario.
- Situación en un centro urbano.
- Periodo de construcción anterior a la entrada en vigor del CTE.
- Características constructivas tipo.
- Disponibilidad del proyecto de ejecución del edificio.
- Acceso a datos de los consumos energéticos (gas natural y electricidad), de agua y de los sistemas energéticos.
- Edificio sin problemas estructurales, de salubridad, riesgo de exclusión social u otras circunstancias que impidan considerarlo un edificio tipo.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---



*Imagen 1. Edificio Alameda de Osuna 48. Fachada este*

### 3.2 Cuestiones previas

- No existe un método de calificación energética para edificios construidos para la opción general. Durante el desarrollo del estudio, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha aprobado dos procedimientos simplificados para la certificación energética de edificios existentes, CE3 y CE3X.
- La rehabilitación energética es solo una parte de la rehabilitación sostenible, ya que esta incluye además aspectos relacionados con otros recursos naturales y aspectos culturales, sociales, medioambientales y económicos.
- Las medidas adoptadas para conseguir el ahorro energético deben evitar molestias a los usuarios.
- En la elección de medidas para conseguir el ahorro energético se considerará que las viviendas están habitadas.
- Las medidas deben ser viables desde el punto de vista constructivo, económico, técnico y de gestión.
- Los resultados están condicionados por las herramientas de evaluación utilizadas.

### 3.3 Herramientas

Para la realización del estudio se han utilizado los programas oficiales Lider (versión 1.0), Calener VyP (versión 1.0) y Postcalener (versión 0.95).

Se ha utilizado Calener VyP porque todavía no existe una versión del programa para el cálculo de la calificación energética de edificios existentes para la opción general.

En el artículo 4: Calificación de la eficiencia energética de un edificio, del Proyecto de Real

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

Decreto por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, pendiente de aprobación, se especifica que para la opción general: *La versión del programa informático oficial de referencia se denomina CALENER, y estará disponible al público en el Registro general, para su libre utilización.* Esta versión de Calener todavía no es pública.

Así, Calener continúa siendo el procedimiento de referencia para la calificación energética de edificios, también los existentes, aunque tiene una serie de limitaciones que hace necesario el desarrollo de procedimientos específicos.

Las limitaciones para su aplicación en Precost&e han sido:

- La escala para viviendas existentes no está implementada en Calener VyP: en Precost&e se ha solucionado calculando la escala según el documento Escala de calificación energética para edificios existentes, elaborado por AICIA (Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla) y publicado por el IDAE.
- La obtención de los datos necesarios para la introducción del edificio en Calener en los edificios existentes puede ser complicada (por ejemplo, conocer la composición de cerramientos): en Precost&e se ha dispuesto de la documentación del proyecto de ejecución, por lo que no ha sido un problema.

CE3 y CE3X son los documentos reconocidos para la calificación energética de edificios existentes. Son procedimientos simplificados y desarrollan la metodología de cálculo de la calificación energética de una manera indirecta, por lo tanto son más conservadores y pronostican una clase de eficiencia energética igual o inferior a la obtenida con Calener.

La utilización de Calener VyP, la misma herramienta que en las fases anteriores del estudio, es fundamental para la comparación de los resultados. Esta comparación no sería posible si se hubiesen utilizado los procedimientos simplificados.

Por ejemplo, los resultados de los procedimientos simplificados para un edificio de viviendas en bloque en la zona climática D3 (Madrid), según los test comparativos de precisión publicados por el IDAE, son:

- CE3X: La calificación energética coincide en un 71,85% de los casos, pierde una calificación en el 18,52% y dos calificaciones en el 9,31%. La calificación aumenta en un 0,32% de los casos.
- CE3: La calificación energética coincide en un 78,76% de los casos, pierde una calificación en el 20,38% y dos calificaciones en el 0,86%. La calificación aumenta en un 0% de los casos.

En cualquier caso, las versiones de estos métodos simplificados que hoy son documentos reconocidos no han estado disponibles hasta que ha terminado el proyecto.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---



*Imagen 2. Edificio Alameda de Osuna 48. Fachada oeste*

**Therm 6.3**, un programa de cálculo de calor en dos dimensiones en régimen estacionario desarrollado por el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), se ha utilizado para calcular las características térmicas de los puentes térmicos del edificio.

**Calener VvP** es el programa informático de referencia para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas y del pequeño y mediano terciario. Permite evaluar los efectos sobre la demanda y el consumo al modificar la envolvente y los sistemas. El cálculo de la calificación energética se realiza mediante un procedimiento de validación, a través de la comparación con un modelo de referencia.

**Postcalener** permite el tratamiento de componentes, equipos o sistemas no incluidos en los procedimientos originales Calener, y obtener una nueva calificación energética. Se ha utilizado con la herramienta **CertCHP** para obtener la calificación energética del edificio cuando se instalan equipos de microgeneración para la producción de ACS.

El programa **ACSOL** se ha utilizado para el cálculo de instalaciones solares térmicas, y **ASTER** (Análisis de Sistemas de Trigeneración para el sector Terciario) para simular el funcionamiento de una instalación de microgeneración.

### **3.4 Etapas del estudio**

Las etapas del estudio son:

- Documentación y análisis previo.
- Caracterización del edificio de estudio.
- Calificación energética del edificio con Calener VyP.
- Estudio de los consumos.
- Catalogación de medidas para la mejora de la envolvente del edificio. Casos de envolvente.
- Catalogación de medidas para la mejora de sistemas energéticos.
- Hipótesis de cálculo.
- Resultados de la calificación energética y evaluación económica.
- Conclusiones.

## 4. DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS PREVIO

### 4.1 Análisis de la documentación de proyecto

Testa Inmuebles en Renta S.A., propietaria del edificio seleccionado, ha facilitado el proyecto de ejecución. La documentación del Proyecto de Ejecución de 95 viviendas, garajes y trasteros en la Parcela R-1 del Plan de reforma Paseo de la Alameda 50, Madrid, es la siguiente:

- Memorias de arquitectura, estructuras, instalaciones y uso y mantenimiento
- Planos de arquitectura e instalaciones
- Pliegos de condiciones técnicas y de las instalaciones
- Normativa
- Presupuesto
- Fotos exteriores del edificio

### 4.2 Documentación gráfica

#### 4.2.1 Plantas del edificio

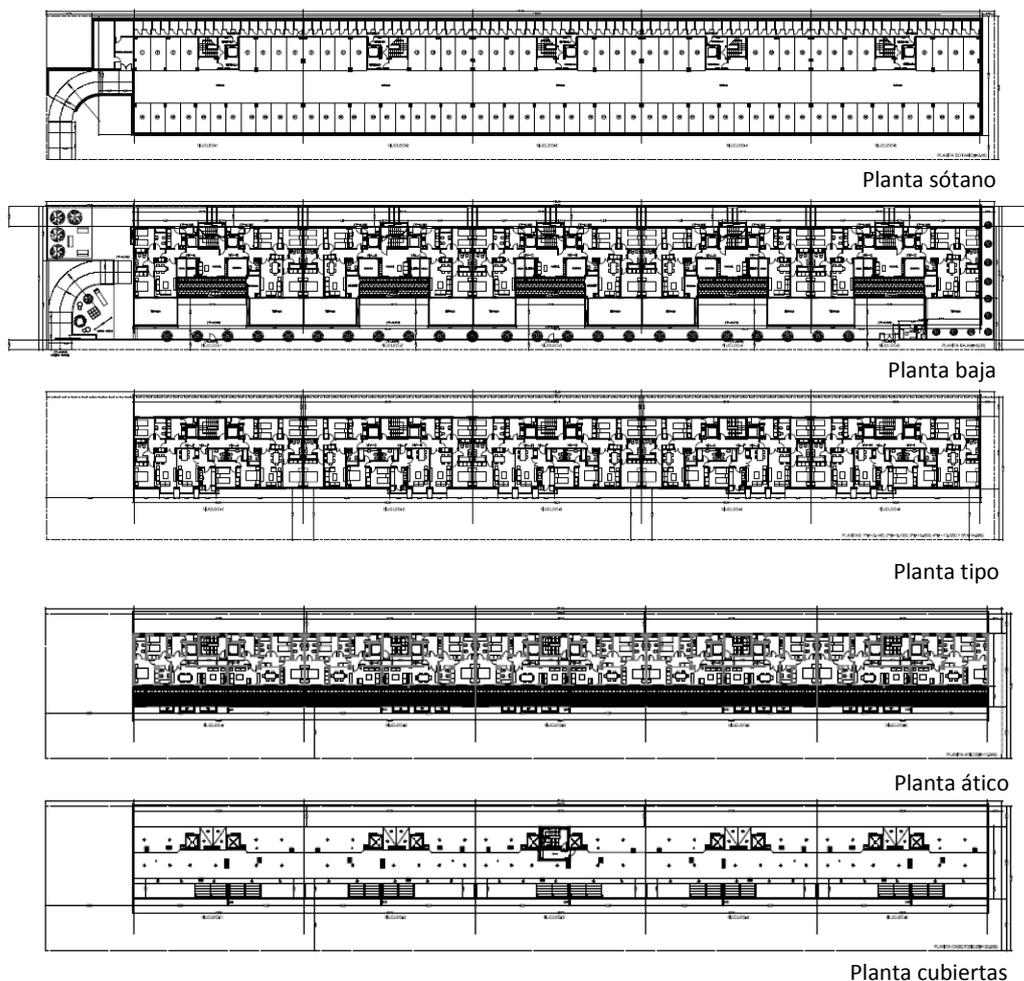
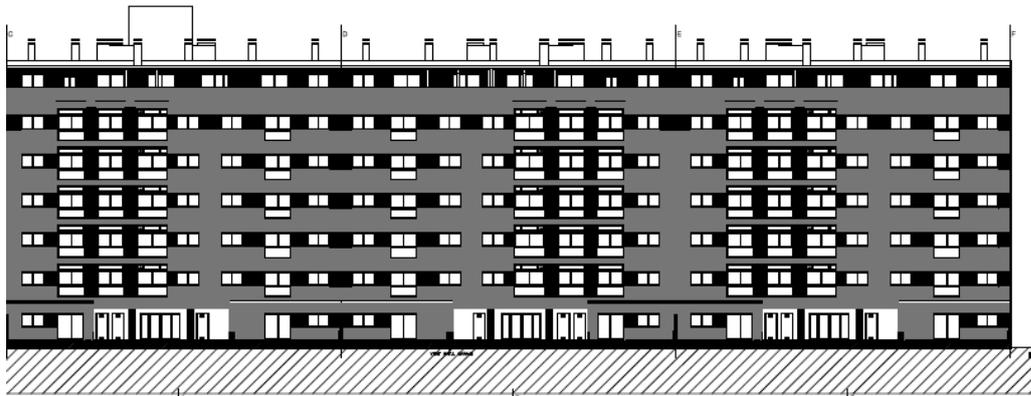
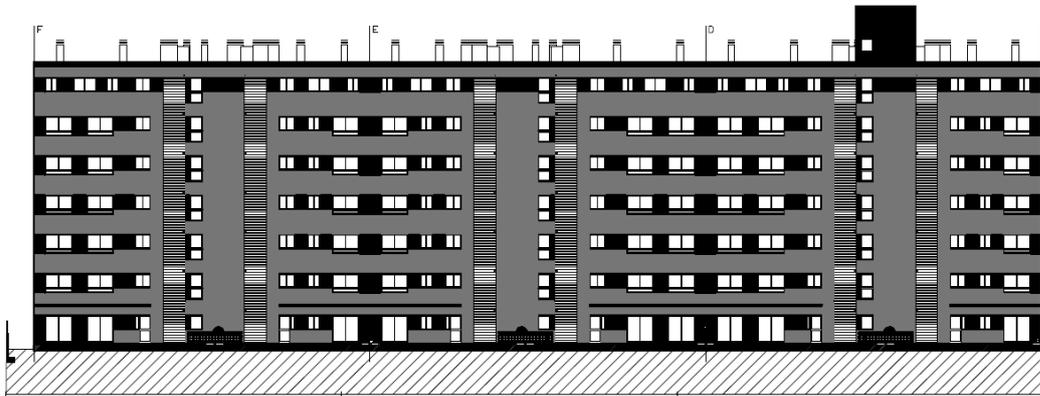


Imagen 3. Documentación gráfica del proyecto: plantas

#### 4.2.2 Alzados y secciones



Detalle alzado este (portales C, D y E)



Detalle alzado oeste (portales C, D y E)

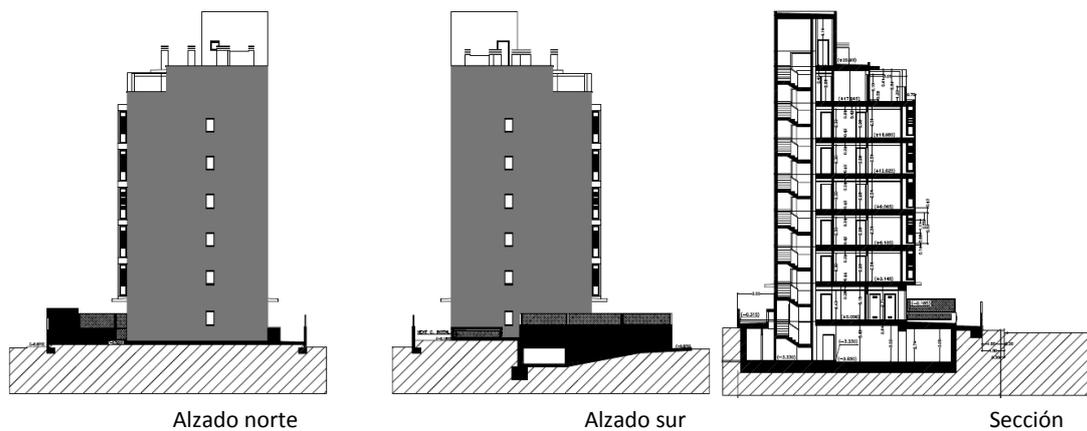


Imagen 4. Documentación gráfica del proyecto: alzados y secciones

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 4.3 Clima

#### 4.3.1 Datos climáticos

Madrid tiene un clima mediterráneo con inviernos fríos. Se encuentra en la zona climática D3, según el DB-HE 1, lo que significa que el clima es severo tanto en verano como en invierno.

	Temperatura media mensual (°C)	Temperatura máxima media mensual (°C)	Temperatura mínima media mensual (°C)	Humedad relativa media (%)	Humedad relativa mínima (%)	Humedad relativa máxima (%)	Temperatura rocío media (°C)
ENERO	5,4	10,6	0,3	75,0	62,0	89,0	1,0
FEBRERO	7,2	12,9	1,5	68,0	57,0	87,0	1,0
MARZO	9,8	16,3	3,2	59,0	47,0	83,0	2,0
ABRIL	11,7	18,0	5,4	58,0	48,0	83,0	4,0
MAYO	15,6	22,3	8,8	56,0	44,0	82,0	7,0
JUNIO	20,7	28,2	13,0	47,0	38,0	76,0	10,0
JULIO	24,5	33,0	16,1	40,0	30,0	67,0	11,0
AGOSTO	24,2	32,4	16,0	41,0	31,0	68,0	11,0
SEPTIEMBRE	20,2	27,6	12,7	51,0	38,0	75,0	10,0
OCTUBRE	14,4	20,6	8,3	64,0	51,0	85,0	7,0
NOVIEMBRE	9,2	14,7	3,8	73,0	60,0	89,0	4,0
DICIEMBRE	6,4	11,0	1,8	77,0	66,0	89,0	2,0
AÑO	14,1	20,6	7,6	59,1	47,7	81,1	5,8

Tabla 1: Datos climáticos de Madrid (Fuente: AEMET, Weather Base)

#### 4.3.2 Cartas bioclimáticas

Con los datos climáticos del apartado 4.3.1 se elaboran las cartas bioclimáticas de Olgay y Givoni. Estos diagramas son la representación gráfica de las relaciones entre las diferentes variables térmicas que influyen en la sensación del confort térmico.

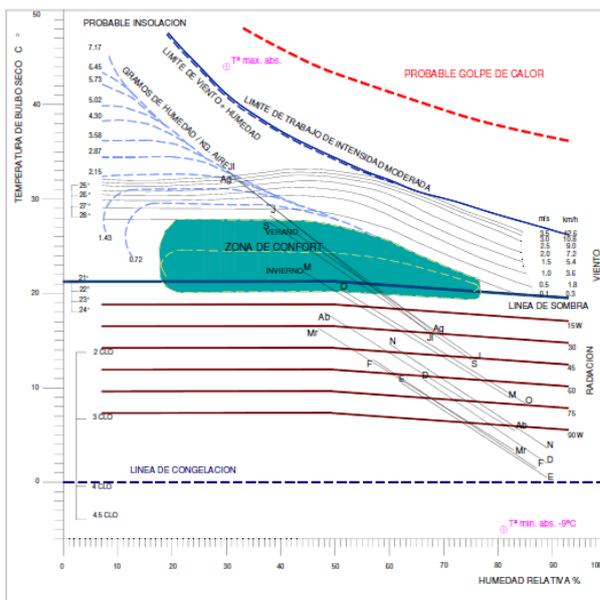


Imagen 5: Carta bioclimática de Olgay

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

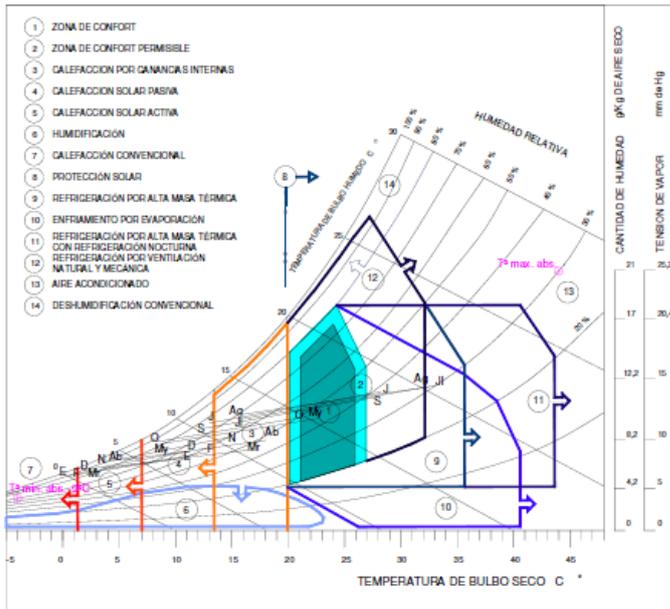


Imagen 6. Carta bioclimática de Givoni

Las cartas permiten establecer estrategias para restablecer el confort.

En los meses fríos:

- Desde octubre hasta abril se puede aprovechar el soleamiento.
- En los meses de diciembre, enero y febrero es necesaria la calefacción convencional.
- En los meses de noviembre a abril se llega al confort mediante el aprovechamiento activo de la energía solar (energía solar térmica y fotovoltaica).
- En los meses de octubre a abril se llega al confort mediante el aprovechamiento pasivo de la energía solar (acción solar directa en la habitación, invernaderos, muros Trombe).
- En los meses de septiembre a junio se llega al confort mediante calefacción por ganancias internas, por el hecho de habitarlo (equipos electrónicos, cocinas, calor metabólico, etc.).

En los meses cálidos, son necesarios:

- El sombreado de mayo a septiembre.
- La ventilación nocturna de junio hasta septiembre.
- La inercia térmica en el edificio para mantener las temperaturas nocturnas durante el día (color de acabado, aislamiento exterior).
- El enfriamiento por evaporación de junio hasta septiembre (necesaria una masa de agua o masa húmeda).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

### 5. CARACTERIZACIÓN DEL EDIFICIO DE ESTUDIO

#### 5.1 Entorno

El edificio se sitúa en el centro urbano de Madrid (28042), en el Paseo Alameda de Osuna 48, en una parcela de 21,5 m por 141 m de superficie 3.031,5 m<sup>2</sup>, con orientación este-oeste desviado 12° NO y topografía plana.

La parcela limita:

- Al norte con el Paseo Alameda de Osuna y el parque El Capricho.
- Al sur con una parcela sin construir, que no presenta obstáculos.
- Al este con el vial de la urbanización y otras parcelas construidas del Plan de reforma Alameda 50, de la cuales la R4 y R5 proyectan sombras sobre el edificio.
- Al oeste con las instalaciones deportivas municipales: Campo municipal polivalente. Instalación deportiva El Capricho.



Imagen 7. Edificio Alameda de Osuna 48. Entorno

#### 5.2 El edificio Alameda de Osuna nº48

El proyecto del edificio, de los arquitectos Aurelio Rodríguez, I. Rubio y Noemí Sáenz es del año 2003, y se terminó de construir en el 2005. Su propietario es Testa Inmuebles en Renta S.A. (Grupo Sacyr Vallehermoso).

Es un edificio en bloque, exento, de dimensiones 126,11 m por 10,80 m, y está compuesto por cinco portales independientes de 25,22 m por 10,80 m. Cada portal tiene un núcleo de comunicaciones vertical formado por dos ascensores y unas escaleras que comunican las diferentes plantas.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Las plantas son ocho, una bajo rasante y siete sobre rasante:

- Planta sótano: destinada a garaje y trasteros.
- Planta baja: con dos viviendas por portal, una de 2 dormitorios y otra de 3, ambas pasantes.
- Plantas tipo: son 5, y en cada portal hay una vivienda de 3 dormitorios y 2 de 2 dormitorios. Dos son pasantes y la tercera está orientada al este.
- Planta ático: tiene 2 viviendas de 2 dormitorios, ambas pasantes.

Por portal hay 19 viviendas, 13 de 2 dormitorios y 6 de 3 dormitorios. El bloque, formado por 5 edificios, tiene 95 viviendas, 65 de 2 dormitorios y 30 de 3 dormitorios.

<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA TOTAL (m<sup>2</sup>)</b>	11.589,65
<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA BAJO RASANTE (m<sup>2</sup>)</b>	2.281,09
<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA SOBRE RASANTE (m<sup>2</sup>)</b>	9.317,56
<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA DE VIVIENDAS (m<sup>2</sup>)</b>	7.798,71
<b>SUPERFICIE ÚTIL DE VIVIENDAS (m<sup>2</sup>)</b>	6795,97

Tabla 2. Superficies del edificio Alameda de Osuna 48

Las superficies útiles de las viviendas son para 2 dormitorios, entre 65,31 m<sup>2</sup> y 71,05 m<sup>2</sup>; y para 3 dormitorios, en torno a 80,20 m<sup>2</sup>

En la planta tipo del edificio se observa que de las tres viviendas por planta dos tienen aberturas en fachadas opuestas, y posibilidad de ventilación cruzada, y la tercera tiene los huecos en una sola fachada, sin posibilidad de este tipo de ventilación.

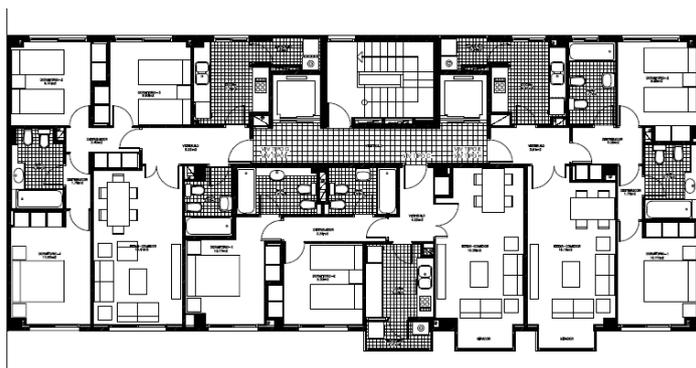


Imagen 8. Planta tipo de portal

Es un edificio de viviendas en alquiler. El precio mensual para una vivienda de dos dormitorios es de 825€ y para una de 3 dormitorios 900 €, incluido la comunidad y la plaza de garaje, que supone 9-10 €/m<sup>2</sup> construidos de vivienda (Fuente: Idealista.com, 20/01/2012).

### 5.3 Características constructivas

#### 5.3.1 Estructura

La estructura se compone de pilares de hormigón y forjados reticulares de 30 cm de canto, con casetones de hormigón no recuperables como elementos aligerantes.

La cimentación se realiza mediante losa armada.

#### 5.3.2 Envoltente

##### Fachadas

La fachada es de dos hojas, formada por: medio pie de ladrillo hidrófugo, enfoscado, 40 mm de aislamiento de poliuretano proyectado, tabique cerámico de 60 mm y enlucido. La transmitancia térmica es  $U= 0,55 \text{ W/ m}^2\text{K}$ . En los espacios entre ventanas la capa exterior está formada por fábrica de ladrillo tosco de 80 mm de espesor revestido con mortero monocapa.

La fachada este del ático y la del portal de planta baja están revestidas de mortero monocapa, y su transmitancia es  $U= 0,54 \text{ W/ m}^2\text{K}$ .

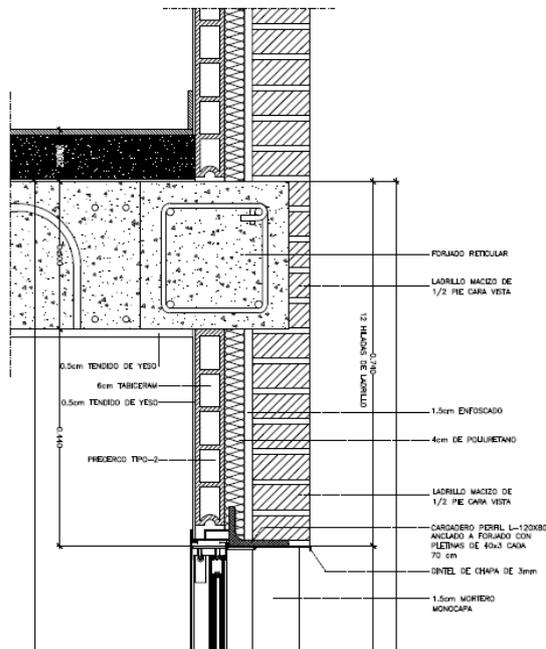


Imagen 9. Detalle constructivo de la fachada de ladrillo

##### Cubiertas

La cubierta de los áticos, casetones de ascensor y escaleras, es una cubierta plana invertida con acabado de grava, con aislamiento térmico de paneles de poliestireno extruido de 40 mm. Su transmitancia térmica es  $U= 0,56 \text{ W/ m}^2\text{K}$ .

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

La cubierta de las terrazas de la planta baja, de los áticos y los porches, es una cubierta plana invertida acabada con solado de gres, con un aislamiento térmico de paneles de poliestireno extruido de 40 mm. Su transmitancia térmica es  $U= 0,56 \text{ W/ m}^2\text{K}$ .

### Suelos

El suelo en contacto con el exterior de la planta primera tiene una transmitancia térmica  $U= 0,68 \text{ W/ m}^2\text{K}$ . Está aislado con 30 mm de poliuretano proyectado.

El forjado de la planta baja, en contacto con los espacios no calefactados del sótano, tiene una transmitancia térmica  $U= 0,68 \text{ W/ m}^2\text{K}$ . Está aislado con un panel de poliestireno extruido de 30 mm.

### Huecos

Los marcos son de aluminio lacado, de color claro, sin rotura de puente térmico y transmitancia  $U= 5,7 \text{ W/ m}^2\text{K}$ .

Los vidrios son dobles 6-8-4, de transmitancia  $U= 3,0 \text{ W/ m}^2\text{K}$  y factor solar  $g=0,75$ ; y monolíticos 5+5, de seguridad, en las partes fijas de las ventanas, con una transmitancia  $U= 5,5 \text{ W/ m}^2\text{K}$  y factor solar  $g=0,85$ .

Todas las ventanas poseen persianas enrollables. Destacan los miradores (tres por planta y bloque) situados en la fachada este y acristalados en toda la altura interior. Dos de ellos pertenecen a cuartos de estar y el tercero a una cocina, y ninguno posee sistemas de protección solar.



*Imagen 10. Ventanas y miradores de la fachada este*

### Particiones interiores

Las medianeras entre portales están formadas por un doble tabique cerámico con aislamiento de lana mineral de 50 mm en la cámara intermedia. Tienen una transmitancia térmica  $U = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Las particiones interiores, que separan las viviendas de los espacios comunes no calefactados están formadas por tabiques de medio pie. Tienen una transmitancia térmica entre  $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $U = 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 5.4 Sistemas energéticos

Cada vivienda cuenta con un sistema mixto de producción de agua caliente para calefacción y ACS, compuesto por:

- Una caldera estanca convencional con una capacidad nominal de 27,6 kW y un rendimiento nominal del 91%.
- Un acumulador de 43 l integrado en la caldera.
- Radiadores de aluminio.

No hay sistemas de refrigeración ni instalaciones de energías renovables.

Para el cálculo con Calener VyP de la calificación energética del edificio existente se utilizan, además de los anteriores, los siguientes datos:

- La capacidad nominal de los radiadores, que se calcula según el proyecto de calefacción y las características técnicas de los emisores.
- La temperatura de impulsión de calefacción, que se supone de 80°C.
- La demanda de ACS que, al no existir otros cálculos, se calcula según el documento *DB-HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*, considerando una temperatura de impulsión sanitaria de 60 °C y un consumo de 22 l/persona día. La demanda total del edificio es de 6.930 l/día.

### 5.5 Ventilación

La ventilación se ha calculado según el *DB-HS 3: Calidad del aire interior*, al no haber datos de proyecto. Se consideran 0,9 renovaciones/hora.

En el garaje existe ventilación natural. Se considera una estanqueidad 2 (0,5 renovaciones/hora).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 5.6 Cumplimiento del DB-HE 1: Limitación de la demanda energética

El edificio, por su año de construcción, debe cumplir la Norma Básica de la Edificación NBE-CT/79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios, vigente hasta la entrada en vigor del CTE.

Con Lider se comprueba que no cumple el DB-HE 1 y se detectan los elementos que no satisfacen los requisitos mínimos.

El edificio no se puede definir en un solo archivo de Lider, por lo que se divide en tres partes que se corresponden con los portales A y B, los portales C y D, y el portal E.

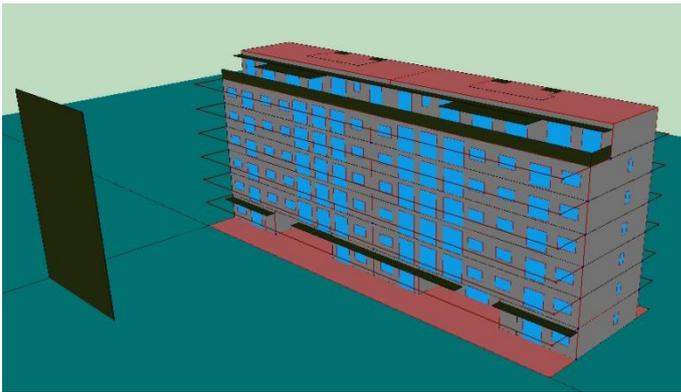


Imagen 11. Lider: portales A y B

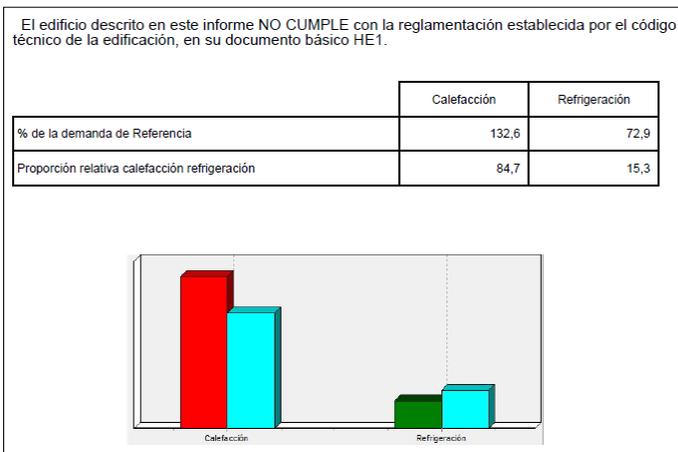


Imagen 12. Resultado del informe de Lider: portales A y B

Los cerramientos y particiones interiores que no cumplen los requisitos mínimos son los siguientes:

- Fachadas: 2,45 W/m<sup>2</sup>K; 2,70 W/m<sup>2</sup>K; 2,81W/m<sup>2</sup>K (Ulímite= 0,86W/m<sup>2</sup>K).
- Cubiertas: 0,68 W/m<sup>2</sup>K; 0,56 W/m<sup>2</sup>K (Ulímite= 0,49 W/m<sup>2</sup>K).
- Suelo en contacto con el exterior: 0,68 W/m<sup>2</sup>K (Ulímite= 0,64 W/m<sup>2</sup>K).
- Ventanas: 3,67 W/m<sup>2</sup>K; 4,42 W/m<sup>2</sup>K; 4,05W/m<sup>2</sup>K (Ulímite= 3,50W/m<sup>2</sup>K).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

- Particiones interiores: 2,70 W/m<sup>2</sup>K (Ulímite= 1,20 W/m<sup>2</sup>K).

Los puentes térmicos en pilares de esquina, huecos de ventana y encuentros de forjado con cubierta tienen un factor de temperatura superficial menor del mínimo permitido.

Existe riesgo de formación de condensaciones superficiales en cerramientos y particiones interiores.

Lider tiene limitaciones para introducir ciertos sistemas o elementos constructivos:

- El edificio tiene persianas térmicas que no se puede simular, porque no hay posibilidad de establecer un corrector de transmitancia térmica en función de horarios.
- No se pueden simular galerías ni invernaderos, ya que el programa no reconoce la pared interior ni se pueden simular los cerramientos de carpintería.
- Los puentes térmicos considerados en la base de datos de Lider son uniformes en todo el edificio y no se ajustan a los valores de un edificio construido que no cumple el CTE. Se calculan, en cada caso, los valores de los puentes térmicos con el programa Therm 6.3. y se hayan los valores medios cuando es necesario.

### 5.7 Puentes fuertes y puntos débiles

Los puntos fuertes y las oportunidades que ofrece el edificio son:

- Su geometría y compacidad, que además facilitan las actuaciones en la envolvente.
- La mayor parte de la superficie de fachada opaca cumple con las exigencias del DB-HE 1.
- La posibilidad de instalar energías renovables.
- El entorno accesible.
- La posibilidad de ventilación cruzada en gran número de viviendas.
- El propietario es único, lo que permite actuar en todo el edificio.

Los puntos débiles son:

- La orientación este-oeste.
- El edificio está en uso.
- Importantes puentes térmicos en pilares, frentes de forjado, encuentro de cubierta y fachada, encuentro de fachada y suelo en contacto con el exterior.
- Los miradores, especialmente en las viviendas centrales de la planta tipo, que suponen un sobrecalentamiento en espacios que no permiten la ventilación cruzada.
- Los sistemas energéticos individuales.
- Las carpinterías sin rotura de puente térmico.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 6. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EXISTENTE CON CALENER VYP

La calificación energética del edificio existente, obtenida con Calener VyP, es 29,4 (E).

	PORTALES A Y B	PORTALES C Y D	PORTAL E	EDIFICIO
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,6	29,0	29,7	<b>29,4 (E)</b>
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	73,8	72,3	74,2	<b>73,3 (E)</b>
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,4	12,6	13,3	<b>13,1 (D)</b>
DEMANDA ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	17,9	17,9	17,9	<b>17,9</b>
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,4	20,1	20,5	<b>20,3 (D)</b>
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	4,8	5,1	<b>5,0 (E)</b>
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1	<b>4,1 (E)</b>

Tabla 3. Resultados parciales y final de la calificación energética del edificio existente

La demanda energética total (climatización y producción de ACS) es 104,3 kWh/m<sup>2</sup>. El 70,3% de la demanda es de calefacción, el 12,6% de refrigeración y el 17,2% de ACS.

Calener VyP es la herramienta para la calificación de edificios de nueva construcción, por lo que la escala abarca las calificaciones permitidas en este caso, de la A a la E. Para comprobar que la calificación es efectivamente E se calcula la escala completa de calificación energética para edificios existentes (5).

#### Certificación Energética de Edificios Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

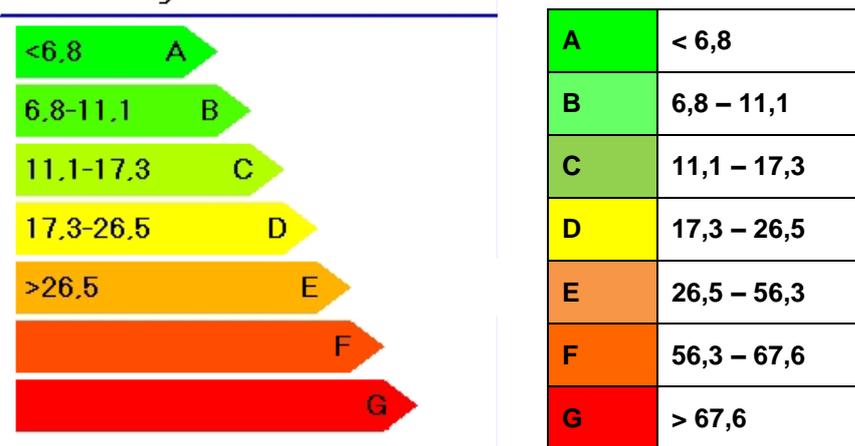


Imagen 13. Escala de calificación energética para bloques de vivienda existentes en Madrid

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Se calculan además los límites entre clases para la demanda de calefacción, la demanda de refrigeración, las emisiones de calefacción, las emisiones de refrigeración y las emisiones de ACS.

	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> )	EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> )	EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> )
<b>A</b>	< 9,4	< 4	< 4	< 1	< 1,4
<b>B</b>	9,4 – 21,9	4 – 6,5	4 – 7,6	1 – 1,6	1,4 – 1,6
<b>C</b>	21,9 – 39,6	6,5 – 10,1	7,6 – 12,8	1,6 – 2,5	1,6 – 1,9
<b>D</b>	39,6 – 66,3	10,1 – 15,5	12,8 – 20,5	2,5 – 3,9	1,9 – 2,4
<b>E</b>	66,3 – 121,2	15,5 – 19,1	20,5 – 46,6	3,9 – 4,8	2,4 – 4,9
<b>F</b>	121,2 – 132,2	19,1 – 23,5	46,6 – 54,4	4,8 – 5,9	4,9 – 5,72
<b>G</b>	> 132,2	> 23,5	> 54,4	> 5,9	> 5,72

Tabla 4. Límites entre clases para la demanda de calefacción, la demanda de refrigeración, las emisiones de calefacción, las emisiones de refrigeración y las emisiones de ACS para bloques de vivienda existentes en Madrid

Las calificaciones obtenidas se mantienen excepto la calificación de las emisiones de refrigeración, que es F en vez de E.

	EDIFICIO
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO2/m<sup>2</sup>)</b>	29,4 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	73,3 (E)
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,1 (D)
EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> )	20,3 (D)
<b>EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO2/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,0 (F)</b>
EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> )	4,1 (E)

Tabla 5. Resultado final de la calificación energética del edificio existente

## 7. ESTUDIO DE LOS CONSUMOS

Para evaluar el nivel de consumo del edificio y establecer la fiabilidad de los resultados obtenidos en la etiqueta de eficiencia energética, se comparan los consumos reales del edificio con:

- Los consumos de calefacción y ACS obtenidos con Calener VyP.
- El consumo de electricidad calculado a partir de los datos del informe *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*, publicado por el IDAE, para viviendas en bloque en la zona continental (6).
- El consumo de agua potable calculado a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) (7).

La ocupación media del edificio, desde marzo de 2006 hasta octubre de 2011, fue del 85,9%, según datos facilitados por Testa.

La comparación de los consumos del edificio es orientativa, ya que se comparan valores medios con consumos reales, que dependen de factores tan variables como los horarios, los hábitos de consumo, el número de habitantes, etc.

### 7.1 Consumo de gas natural

Los datos de consumo de gas natural para calefacción y ACS han sido facilitados por Gas Natural Fenosa.

El consumo acumulado del edificio, del 9 de marzo de 2006 al 20 de octubre de 2011, es de 380.457 m<sup>3</sup> de gas natural, equivalentes a 4.049.939,1 kWh y 721.086,7 kWh/año. Según la facturación real el consumo medio de las viviendas para calefacción y ACS ha sido de 106,11 kWh/m<sup>2</sup>año.

El consumo es desigual en viviendas con características y demandas energéticas similares debido a que, al tratarse de sistemas energéticos individuales, el consumo varía mucho en función de los hábitos

El consumo total estimado por Calener VyP es de 118,19 kWh/m<sup>2</sup> año. El programa supone por defecto un sistema de refrigeración y un consumo eléctrico que no existen, por lo que se considera también el consumo solo de calefacción y ACS, que es de 110,51 kWh/m<sup>2</sup>año.

OCUPACIÓN MEDIA 85,9%		Incremento respecto Cr	Cr/Cc
CONSUMO REAL GAS NATURAL (Cr)	106,11 kWh/m <sup>2</sup> año		
CONSUMO CALENER VyP (Cc)	101,53 kWh/m <sup>2</sup> año	-4,3%	1,05
CONSUMO CALENER VyP (calefacción y ACS) (Cc)	94,93 kWh/m <sup>2</sup> año	-10,5%	1,12

Tabla 6. Comparación del consumo real de gas natural con los consumos estimados por Calener VyP

La relación entre el consumo real y el consumo calculado es 1,1.

## **7.2 Consumo de electricidad**

Los datos de consumo de electricidad, de electrodomésticos, cocina e iluminación, se elaboran a partir de las lecturas de los contadores del edificio, debido a la dificultad de obtenerlos a través de la compañía suministradora.

Este consumo acumulado del edificio, de marzo de 2006 a febrero de 2012 es de 1.165.263 kWh y 194.864 kWh/año, equivalente a 33,1 kWh/m<sup>2</sup> útil de vivienda y año.

Calener VyP no calcula el consumo eléctrico de las viviendas derivado de la iluminación, electrodomésticos, cocina u otros equipamientos, pero estima un consumo de electricidad que proviene del sistema de refrigeración supuesto por el programa.

El consumo de electricidad calculado según datos del *Análisis del consumo energético del sector residencial en España* es de 37,67 kWh/m<sup>2</sup>. Este consumo incluye el de los electrodomésticos existentes en las viviendas, la cocina (vitrocerámica) y la iluminación.

El consumo en las viviendas del edificio Alameda de Osuna es un 12,1% menor que el consumo de electricidad estimado según el informe del IDAE para las viviendas en bloque en la zona continental.

## **7.3 Consumo de agua**

Los datos de consumo de agua potable han sido leídos en los contadores del edificio, debido a la dificultad de obtenerlos a través de la compañía suministradora.

El consumo acumulado del edificio, de marzo de 2006 a febrero de 2012, es de 50.935,4 m<sup>3</sup> y 8.517,8 m<sup>3</sup>/año.

El consumo de agua, calculado a partir de datos del INE para Madrid (145 l/hab día) es, para una ocupación del 85,9%, de 14.420,7 m<sup>3</sup>/año.

El consumo real de agua es, según estos cálculos, un 59% del estimado. Esta diferencia se debe a que el consumo estimado está condicionado por el número de habitantes del edificio. Este valor se ha calculado según el DB-HE 4 (punto 4, del apartado 3: Cálculo y dimensionado), al no disponer del dato real, y probablemente es superior al de los inquilinos reales. Estos consumos suponen datos a considerar en una hipotética rehabilitación sostenible.

## **8. CATALOGACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**

La mejora de la envolvente, y por tanto la reducción de la demanda energética, es el primer paso para la mejora de la eficiencia energética del edificio.

En este apartado se valoran medidas para la mejora de la envolvente del edificio, que se evalúan de forma independiente sobre uno de los bloques del edificio. En cada caso se define la actuación, se evalúa con Calener VyP su capacidad para reducir la demanda energética y el impacto en la calificación energética, y se establece el presupuesto de ejecución material. Finalmente, se comparan los resultados de las medidas.

### **8.1. Precios de las partidas**

Para establecer el coste de las partidas se han utilizado, en la mayoría de los casos, los precios descompuestos del generador de precios de rehabilitación de CYPE. Estos precios son de referencia, ya que hay factores como los descuentos por volumen o por relación con el fabricante, que no se pueden prever. Sin embargo la utilización de una sola base de datos da coherencia al estudio y CYPE permite añadir condiciones (ciudad, tipo de edificio, accesibilidad, etc.) para ajustarse más a la realidad. También se utilizan los precios aportados por Pladur y Cobert para sus sistemas.

Los precios, con fecha de referencia enero de 2012, incluyen las obras, demoliciones, parte proporcional del andamiaje y acabados. No incluyen gestión de residuos, remates o detalles constructivos especiales, ni impuestos

Las mediciones se han obtenido del proyecto de ejecución del edificio.

*Anexo 1. Listado de precios de las medidas de la envolvente*

### **8.2 Estrategias**

Las **estrategias para reducir la demanda de calefacción** son:

- Mejorar las características térmicas de los cerramientos opacos: sistemas de aislamiento por el exterior, aumento de aislamiento en fachadas, cubiertas y suelos.
- Mejorar las características de los huecos: transmitancia térmica y factor solar, posición respecto a la fachada.
- Aumento de la inercia térmica: cubiertas ajardinadas, aislamiento por el exterior.
- Aprovechamiento pasivo de la energía solar de octubre a abril mediante captación solar directa y galerías.
- Reducción de puentes térmicos e infiltraciones.

Las **estrategias para reducir la demanda de refrigeración** son:

- Evitar el soleamiento en la envolvente: elementos de sombra en huecos, fachada ventilada.
- Elementos de sombra que permitan la captación solar en los meses fríos (octubre a abril) y la protección en los meses cálidos (mayo a septiembre): toldos y sistemas móviles de lamas (estandarizado), parasoles horizontales y verticales (diseño específico), barreras vegetales, etc.
- Aumento de la inercia térmica para mantener las temperaturas nocturnas durante el día en los meses cálidos: cubiertas ajardinadas, aislamiento por el exterior y acabado de la fachada en color claro.
- Presencia de vegetación para la creación de microclimas.
- Fomento de la ventilación cruzada.
- Ventilación nocturna de junio hasta septiembre. En las viviendas pasantes favorecer la ventilación cruzada.

### 8.3 Ventilación

En el estudio no se modifica el valor de la ventilación del edificio, 0,9 renovaciones/hora. No se han realizado ensayos para comprobar las infiltraciones de aire, por estar fuera del alcance del proyecto, por lo que no se dispone de datos reales. Teniendo en cuenta la gran influencia que tiene la variación de la ventilación en la calificación energética se ha optado por mantener el valor fijo.

La ventilación cruzada es un elemento con grandes posibilidades en la rehabilitación energética y sostenible. Sin embargo, las herramientas utilizadas en el estudio (Lider, Calener VyP) todavía no consideran en sus cálculos los sistemas pasivos o aquellos que dependen del uso que les de el inquilino, por lo que a pesar de su eficiencia y su economía no han podido ser parametrizados.

### 8.4 Fachadas

#### 8.4.1 Sistema de aislamiento térmico por el exterior de fachadas con acabado de enfoscado (SATE)

La rehabilitación energética mediante aislamiento por el exterior consiste en fijar una capa de aislamiento térmico a la fachada existente y protegerla mediante un nuevo acabado exterior de mortero. El sistema está compuesto por los siguientes elementos, colocados sobre el muro soporte:

- Revoco que asegura la planitud de la superficie
- Mortero adhesivo
- Aislamiento mediante un panel de poliestireno extruido (XPS)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

- Anclajes mediante espigas de nylon
- Enlucido
- Malla de armadura de fibra de vidrio
- Enlucido
- Imprimación
- Acabado con enfoscado de color claro

Las ventajas del sistema en este edificio son:

- Mejora el aislamiento térmico.
- La geometría plana del edificio es adecuada para su aplicación.
- La obra se realiza con mínimas molestias para los inquilinos.
- No se reduce la superficie útil de vivienda.
- La eliminación de puentes térmicos integrados en la fachada (pilares, cajas de persiana, jambas de ventana).
- Mayor aprovechamiento de la inercia térmica del muro.
- La carga añadida a la estructura y la cimentación es mínima.
- El coste es menor que el de los sistemas de fachada ventilada.

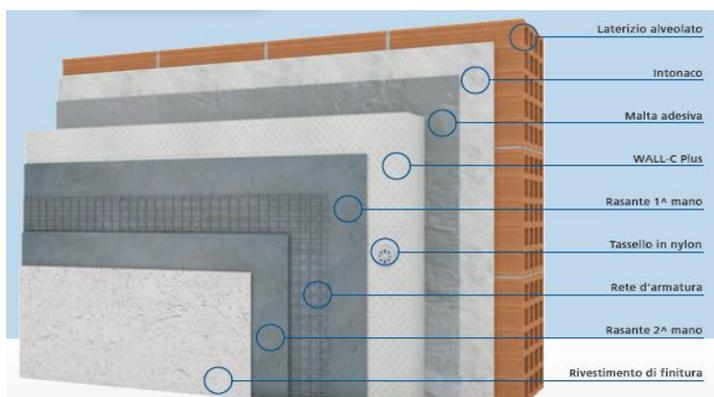


Imagen 14. Sistema SATE (Fuente: Ursa)

Aunque en este caso el cerramiento está en buen estado, en casos en que la fachada no esté en buenas condiciones se consigue proteger el cerramiento original del edificio y corregir posibles filtraciones, además de mejorar el aspecto del edificio.

Como **desventajas** tiene:

- La resolución de los encuentros con el suelo, zócalos, jambas de ventana, quiebros de fachada, equipos de climatización exteriores existentes, voladizos, canalones, etc.
- El coste de la medida, y el mantenimiento.
- No se solucionan todos los puentes térmicos (encuentros de fachada con el suelo y la

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

cubierta).

Y aunque no es el caso del edificio de estudio:

- No es válido para edificios con fachadas protegidas porque se modifica el acabado exterior.
- Es necesario el acuerdo de todos los vecinos, porque la obra afecta al edificio completo.
- No se debe utilizar en edificios de gran altura donde la fuerza del viento es importante.
- Aumenta el grosor del cerramiento de fachada hacia el exterior, lo que puede influir en las alineaciones, aumentar la superficie construida o invadir espacios exteriores, y resultar incompatible con algunas ordenanzas o casuísticas particulares.

La **superficie** de actuación es 4.430,54 m<sup>2</sup>.

El **precio** de la medida es:

- Sistema con una capa de aislamiento de poliestireno extruido (XPS) de 60mm: 85,36 €/m<sup>2</sup>; 378.190,9 € totales; y una repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 40,59 €/m<sup>2</sup>.
- Sistema con una capa de aislamiento de poliestireno extruido (XPS) de 80mm: 89,61 €/m<sup>2</sup>; 397.020,7 € totales; y una repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 42,61 €/m<sup>2</sup>.
- No se consideran en el coste remates en encuentros con huecos, carpinterías, capialzados, vierteaguas, impostas, tendedores, etc.

Las **transmitancias** de las fachadas en el edificio existente y tras la aplicación de las medidas son:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	1.a SATE (XPS 60mm)	1.b SATE (XPS 80mm)
XPS (λ=0,034 W/mK)	0 mm	60mm	80mm
<b>FACHADA TIPO</b>	0,55	0,28	0,24
<b>FACHADA TERRAZA</b>	2,70	0,47	0,37

Transmitancia límite de fachadas en la zona climática D3: U<sub>lim</sub>= 0,66 W/m<sup>2</sup>K

Tabla 7. Transmitancias con sistema SATE

Las **calificaciones energéticas** obtenidas son:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	1.a SATE (XPS 60mm)	1.b SATE (XPS 80mm)
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	<b>29,7 (E)</b>	<b>22,1(D)</b>	<b>21,8(D)</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	49,4	48,2

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	12,4	12,4
EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	13,3	13,0
EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	4,7	4,7
EMISIONES CO2 ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO2 (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		7,6	7,9

Tabla 8. Calificaciones energéticas con sistema SATE

### 8.4.2 Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada

El sistema de fachada ventilada está formado por el muro existente de fábrica de ladrillo y un revestimiento exterior, sujeto mediante un sistema de perfiles metálicos a la parte interior del cerramiento. Entre ambos existe una cámara de aire parcialmente rellena de aislamiento térmico, un panel de lana mineral de 80 mm de espesor ( $\lambda=0,036$  W/mK) recubierto con un tejido negro. La ventilación se provoca mediante aperturas superiores e inferiores o a través del diseño de las juntas de la envolvente. El cerramiento está formado por placas semipesadas.

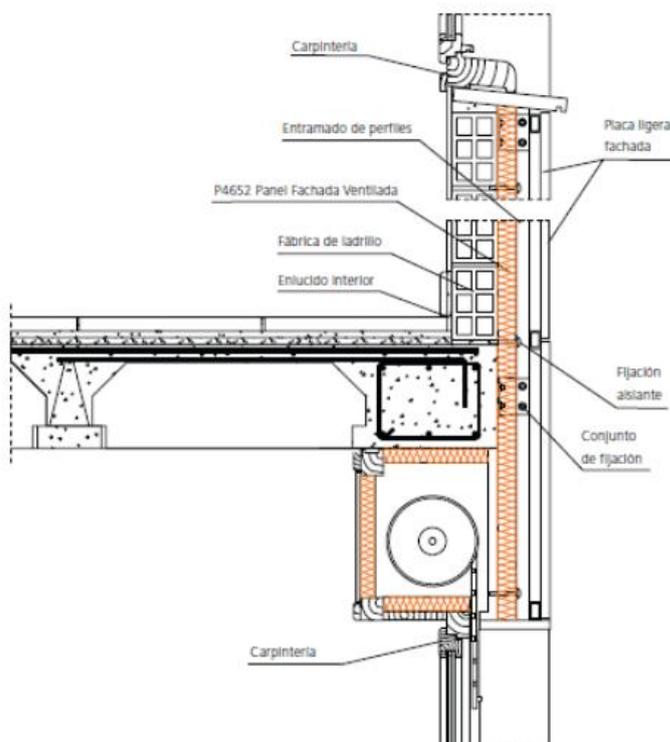


Imagen 15. Ejemplo de detalle genérico de fachada ventilada (Fuente: Ursa)

En este edificio las **ventajas** que ofrece el sistema de fachada ventilada son:

- Mejora de la protección térmica, acústica y contra el fuego del edificio.
- Protección del cerramiento interior y del aislamiento frente a la acción del viento, la

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

lluvia y la radiación solar.

- La obra se realiza con pocas molestias para los inquilinos.
- La facilidad de montaje y mantenimiento.
- No se reduce la superficie útil de vivienda.
- La ventilación de la cámara permite la disminución de la demanda de refrigeración gracias al movimiento de aire en la cámara, que evacua parte del calor radiado por la hoja exterior y elimina el riesgo de condensaciones intersticiales y superficiales.
- Eliminación de puentes térmicos integrados en la fachada (pilares, cajas de persiana, jambas de ventana).
- Se aprovecha mejor la inercia térmica del cerramiento interior.

Aunque en este edificio el cerramiento está en buenas condiciones, de manera general la fachada ventilada permite renovar y mejorar el aspecto del edificio, utilizando gran variedad de materiales.

Los **inconvenientes** del sistema son:

- Su coste, mayor que el de otras soluciones de aislamiento en fachada, y que
- La resolución de los remates inferior y superior, los encuentros con jambas de ventana, puertas, equipos de climatización exteriores existentes, voladizos, canalones, etc.
- El aumento hacia el exterior del grosor del cerramiento de fachada, lo que puede suponer influencia en las alineaciones, aumento de la superficie construida y una invasión de espacios exteriores incompatible con algunas ordenanzas o casuísticas particulares.

La **superficie** de actuación es 4.430,54 m<sup>2</sup>.

El **precio** de la medida es de 155,3 €/m<sup>2</sup>; 688.062,86 € en total y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 73,85 €/ m<sup>2</sup>.

No se consideran en el coste elementos como los remates, específicos en cada caso, para los encuentros de la fachada ventilada con elementos existentes en el cerramiento original, como huecos, carpinterías, capialzados, vierteaguas, impostas, tendedores, etc.

La **transmitancia** de la fachada en el edificio existente y tras la aplicación de la medida es:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	1.c FACHADA VENTILADA
LANA MINERAL ( λ=0,036 W/mK)	0 mm	80mm
FACHADA TIPO	0,55	0,24

Transmitancia límite de fachadas en la zona climática D3: U<sub>lim</sub>= 0,66 W/m<sup>2</sup>K

*Tabla 9. Transmitancias con sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada*

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	1.c SISTEMA DE AISLAMIENTO EXTERIOR CON FACHADA VENTILADA
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	<b>29,7 (E)</b>	<b>21,8 (D)</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	48,5
<b>DEMANDA REFRIGERACIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	12,1
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> CALEFACCIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	13,1
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> REFRIGERACIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	4,6
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> ACS</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES CO<sub>2</sub></b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		<b>7,9</b>

Tabla 10. Calificación energética con sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada

Lider no permite la introducción de cerramientos ventilados, por lo que el cálculo se realiza mediante una aproximación. Se simula el efecto térmico mediante el aislamiento y una cámara de aire ventilada, y el efecto de sombra mediante una sombra que cubre la fachada. No se puede evaluar la disminución del aporte solar en condiciones de verano, debida a la ventilación de la cámara, que reduciría notablemente la demanda de refrigeración.

### 8.4.3 Sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante

El trasdosado autoportante es un sistema de aislamiento térmico y acústico formado por placas de yeso laminado colocadas sobre un armazón metálico. El espacio ocupado por los perfiles deja una cámara en la que se instala el aislamiento térmico de lana mineral. El espesor total del trasdosado es de 86 mm (76+10). Se compone de los siguientes elementos:

- Estructura de perfiles de acero galvanizado de 46 mm de ancho, a base de montantes, separados entre ellos 600 mm, y canales.
- Aislamiento térmico: 45 mm de lana mineral ( $\lambda = 0,036$  W/mK).
- Paneles de trasdosado: dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor atornilladas en el lado externo de la estructura.
- Barrera de vapor en las zonas húmedas.

Las **ventajas** de este sistema son:

- La mejora del aislamiento térmico y del confort en la vivienda.
- La mejora significativa del aislamiento acústico.
- Acabados de gran calidad gracias a la planeidad.
- La mejora de la resistencia al fuego.
- La facilidad y rapidez de ejecución sin necesidad de instalar medios auxiliares.
- Elimina los puentes térmicos integrados en la fachada (pilares, cajas de persiana,

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

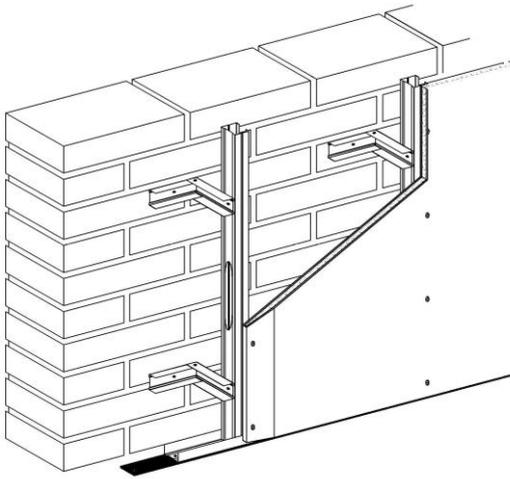
---

jambas de ventana).

- El coste es menor que en los sistemas de aislamiento por el exterior.

Y aunque no es el caso de este edificio, el sistema permite:

- Rehabilitar edificios protegidos en los que no se puede alterar la fachada, o edificios sujetos a normativa que impida la intervención por el exterior.
- Corregir irregularidades en el cerramiento existente.
- La rehabilitación energética de viviendas aisladas, sin modificar el acabado exterior del edificio.
- Incorporar instalaciones nuevas o modificar las existentes.



*Imagen 16. Sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante (Fuente: PLadur)*

Como **inconvenientes** tiene:

- La pérdida de superficie útil en la vivienda.
- Las molestias de las obras si la vivienda está habitada.
- No se solucionan los puentes térmicos de canto de forjado.
- La solución, en cada caso, de encuentros con huecos, capialzados, cajas y cintas de persianas, elementos de calefacción, elementos particulares como armarios empotrados, etc. además de los puramente estéticos como remates, rodapiés, y los relacionados con instalaciones como enchufes, interruptores y otros elementos de la instalación eléctrica, etc.

La **superficie** de la actuación (envolvente excepto las fachadas de las terrazas oeste que no se pueden aislar por el interior) es 2.704,31 m<sup>2</sup>.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

El **precio** de la medida es de 31,14 €/m<sup>2</sup>; 84.212,21 € totales; y una repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 9,04 €/m<sup>2</sup>.

La **transmitancia** de la fachada en el edificio existente y tras la aplicación de la medida es:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	1.d TRASDOSADO AUTOPORTANTE
LANA MINERAL ( $\lambda=0,036$ W/mK)	0 mm	45mm
FACHADA TIPO	0,55	0,32
FACHADA TERRAZA	2,70	0,53

Transmitancia límite de fachadas en la zona climática D3: U<sub>lim</sub>= 0,66 W/m<sup>2</sup>K

Tabla 11. Transmitancias con sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	1.d SISTEMA AISLAMIENTO INTERIOR DE FACHADAS CON TRASDOSADO AUTOPORTANTE
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	26,7 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	62,9
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	17,6
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,0
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		3,0

Tabla 12. Calificación energética con sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante

8.4.4 Comparación de las medidas de mejora de la fachada

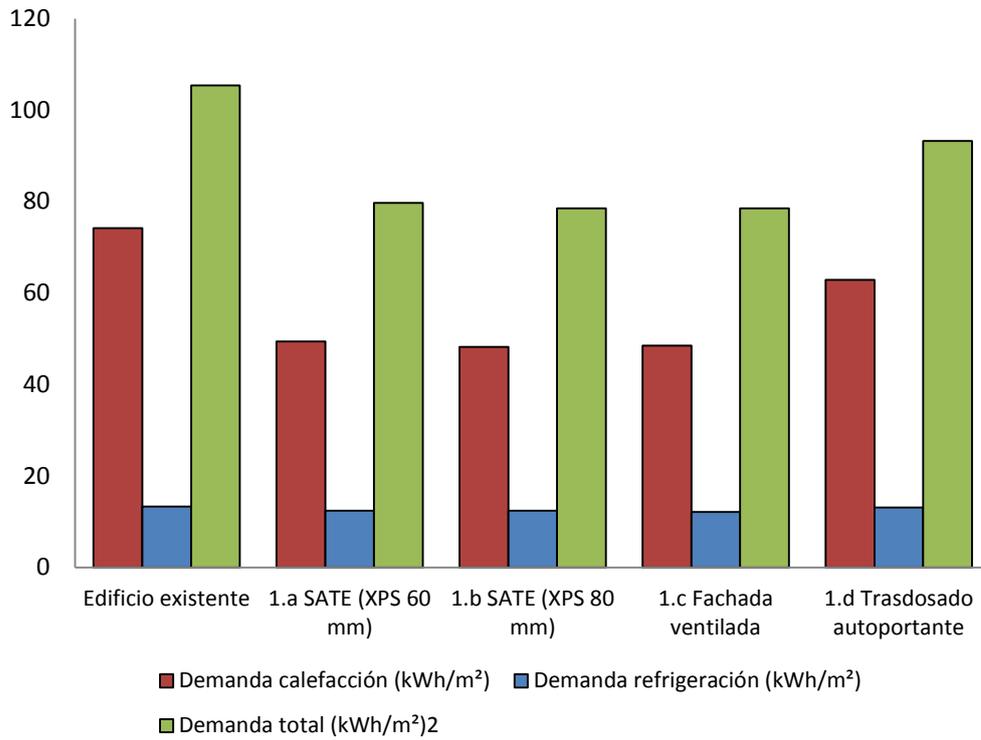


Gráfico 1: Variación de la demanda energética en las medidas de mejora de la fachada

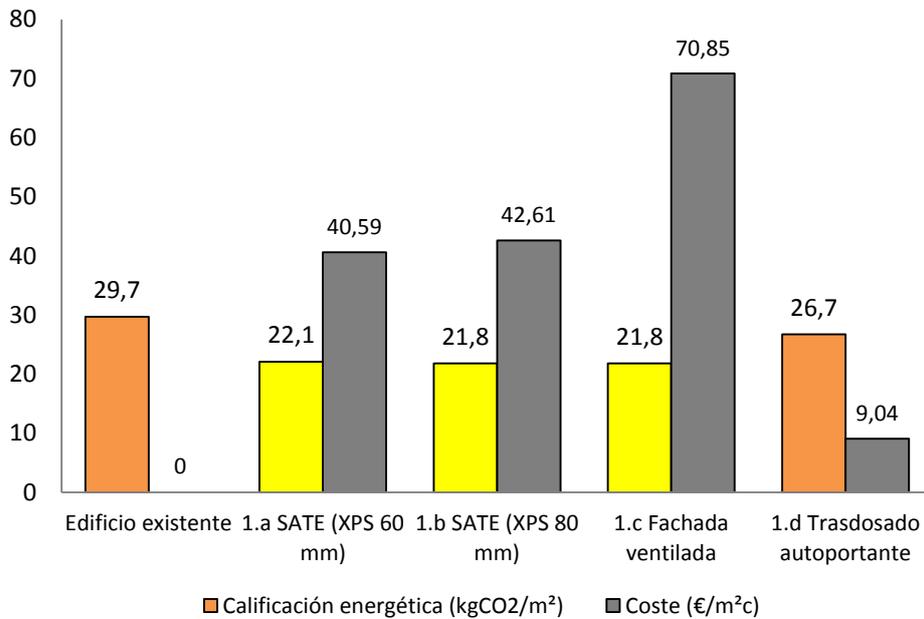


Gráfico 2: Relación entre la calificación energética y el coste de las medidas de mejora de la fachada

## 8.5 Cubiertas

### 8.5.1 Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida

El edificio tiene dos tipos de cubiertas invertidas que se rehabilitan: una con acabado de grava en la cubierta de la planta ático, y una terraza con acabado de baldosa de gres en las terrazas del ático. En ambos casos se considera que la membrana impermeabilizante está en buen estado de conservación.

La rehabilitación energética en la **cubierta plana no transitable con acabado de grava** se realiza mediante la incorporación de aislamiento térmico por el exterior de la cubierta, aumentando el aislamiento térmico ya existente, colocando un panel de poliestireno extruido de 40 mm/ 80 mm de espesor, una capa separadora de geotextil de fibras de poliéster, y una capa de protección de grava de 6 cm. La superficie de actuación es 934,20 m<sup>2</sup>.

El precio de la medida, para un espesor de aislamiento de 40mm, es de 28,12 €/m<sup>2</sup>, 26.269,7 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 2,82 €/m<sup>2</sup>. Para un espesor de aislamiento de 80mm es de 37,59 €/m<sup>2</sup>, 35.116,6 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 3,77 €/m<sup>2</sup>.

La rehabilitación energética de la **cubierta plana transitable** se realiza aumentando el aislamiento térmico por el exterior de la cubierta, con un panel de poliestireno extruido de 40 mm/ 80 mm de espesor, y protección con baldosas de gres rústico colocadas con adhesivo sobre la capa de regularización de mortero. La superficie de actuación es 349,53 m<sup>2</sup>.

El coste de la medida, para un espesor de aislamiento de 40mm es de 54,53 €/m<sup>2</sup>, 19.059,87 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 2,05 €/m<sup>2</sup>. Para un espesor de aislamiento de 80mm es de 64 €/m<sup>2</sup>, un total de 22.369,92 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 2,4 €/m<sup>2</sup>.

La **superficie** total de actuación es 1.283,73 m<sup>2</sup>.

El **precio medio** de la medida es, para 40 mm de XPS, de 35,31 €/m<sup>2</sup>, un total de 43.328,51 €, y 4,86 €/m<sup>2</sup> construido sobre rasante; y de 44,78 €/m<sup>2</sup>, 57.485,43 €, y su repercusión sobre la superficie total del edificio es de 6,17 €/m<sup>2</sup> para XPS de 80 mm.

Las **ventajas** de este sistema son:

- La molestia a los habitantes es menor que si el aislamiento se realiza en el interior.
- No se reduce la altura libre de la vivienda del último piso.
- Se aprovecha la inercia térmica del forjado.

Como **inconvenientes** tiene:

- El coste derivado de la demolición y reconstrucción de las partes superiores de la cubierta, que están en buen estado.
- No soluciona los puentes térmicos en el encuentro de fachada y cubierta.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

- La solución de encuentros con el sistema de recogida de aguas, pendientes de cubierta, bajantes, canalones, cotas de salida a terraza desde el interior, impermeabilización de zócalos, alturas de peto y barandillas, encuentros con elementos de cubierta, de chimeneas, etc. que pueden verse afectados en cada caso.

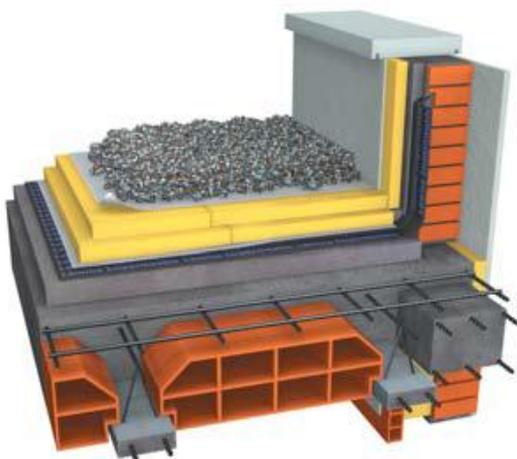


Imagen 17. Rehabilitación de cubierta plana invertida (Fuente: Ursa)

Las **transmitancias** de las cubiertas en el edificio existente y tras la aplicación de la medida son:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	2.a AISLAMIENTO EXTERIOR (+40mm)	2.b AISLAMIENTO EXTERIOR (+80mm)
XPS ( $\lambda=0,036$ W/mK)	40mm	80mm	120mm
CUBIERTA DE GRAVA	0,56	0,34	0,24
CUBIERTA ACABADO DE GRES	0,56	0,34	0,24

Transmitancia límite de cubiertas en la zona climática D3: U<sub>clim</sub>= 0,38 W/m<sup>2</sup>K

Tabla 13. Transmitancias con sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida

Las **calificaciones energéticas** obtenidas son:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	2.a SIST. AISLAMIENTO EXTERIOR CUBIERTA PLANA INVERTIDA (80mm XPS)	2.b SIS. AISLAMIENTO EXTERIOR CUBIERTA PLANA INVERTIDA (120mm XPS)
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	29,5 (E)	29,3 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	73,3	72,8
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,3	13,2
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	20,3	20,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,1	5,1

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO2 (kgCO2/m <sup>2</sup> )		<b>0,2</b>	<b>0,4</b>

Tabla 14. Calificaciones energéticas con sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida

La influencia del aumento del aislamiento de cubierta en la calificación energética global del edificio es pequeña (reducción de 0,2-0,4 kgCO2/m<sup>2</sup>). Sin embargo en los archivos de resultados se observa cómo en los espacios de las dos últimas plantas, la quinta y el ático, se reducen las demandas de calefacción y refrigeración.

### 8.5.2 Sistema de aislamiento por el exterior con cubierta vegetal

La cubierta vegetal consiste en una cubierta invertida convencional con el añadido de un sustrato vegetal y de plantas. En este caso se evalúa una cubierta extensiva o ecológica, que tiene una capa vegetal de poco espesor, y plantas autóctonas que requieren de un mantenimiento nulo o escaso.

La cubierta invertida ecológica está compuesta por: una capa de formación de pendiente, la impermeabilización, una capa separadora geotextil bajo el aislamiento, el aislamiento térmico de panel rígido de poliestireno extruido (XPS) de 80 mm de espesor, una capa separadora geotextil bajo la protección, una capa drenante y retenedora de agua, una capa filtrante y una capa de protección a base de sustrato orgánico, acabada con roca volcánica, y plantas autóctonas tipo sedum que no requieren riego.

Las **ventajas** son:

- La vegetación ofrece protección frente a la radiación solar, al no permitir que se caliente la cubierta.
- Se mejora la inercia y el aislamiento térmico de la cubierta.
- Se mejora el comportamiento acústico.
- Mejora el desagüe pluvial del edificio.
- El enfriamiento en verano de los espacios bajo cubierta, provocado por dos tipos de evaporación: la evaporación provocada por la humedad retenida en el sustrato en contacto con la radiación solar, y la evaporación a través de las plantas en sus funciones biológicas.
- Contribuye al mantenimiento de la biodiversidad en la ciudad, mejora fomentada y subsidiada en algunos países.

Los **inconvenientes** de la cubierta vegetal son su precio, y sobre todo el coste derivado de la demolición de la cubierta de grava, que se encuentra en buen estado; el sobrepeso, que aunque no es excesivo (alrededor de 100 kg/m<sup>2</sup>) ha de tenerse en cuenta; y los encuentros con los elementos de desagüe de pluviales, bajantes, uniones con chimeneas y elementos existentes de cubierta, etc.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

La **superficie** de la actuación es de 934,20 m<sup>2</sup>.

El **precio** de la medida es de 117,81 €/m<sup>2</sup>; 110.058,1 € totales; y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 11,81 €/m<sup>2</sup>.

Para poder comparar esta medida con la anterior se considera en la terraza de la planta ático un aumento del aislamiento de 40 mm de poliestireno extruido. De esta manera la superficie total de actuación es 1.283,73 m<sup>2</sup>, el precio medio de la medida es de 100,58 €/m<sup>2</sup>; 129.117,56 € en total y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 13,86€/m<sup>2</sup>.

La **transmitancia** de la cubierta vegetal es:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	2.c CUBIERTA VEGETAL
XPS ( $\lambda=0,036$ W/mK)	40mm	80mm
<b>CUBIERTA</b>	0,56	0,33

Transmitancia límite de cubiertas en la zona climática D3: U<sub>clim</sub>= 0,38 W/m<sup>2</sup>K

Tabla 15. Transmitancias con sistema de aislamiento por el exterior con cubierta vegetal

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	2.c SISTEMA AISLAMIENTO EXTERIOR CON CUBIERTA VEGETAL
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	<b>29,7 (E)</b>	<b>29,4 (E)</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	73,3
<b>DEMANDA REFRIGERACIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,3
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> CALEFACCIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	20,2
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> REFRIGERACIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,1
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> ACS</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,3
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES CO<sub>2</sub></b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		<b>0,3</b>

Tabla 16. Calificación energética con sistema de aislamiento por el exterior con cubierta vegetal

Se consigue una reducción de emisiones prácticamente igual al caso anterior. Calener VyP no tiene en cuenta la mayoría de las ventajas que supone una cubierta vegetal (inercia térmica, evaporación) y evalúa solo la mejora de la transmitancia que supone el sustrato vegetal.

### 8.5.3 Sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto

El techo semidirecto es un sistema de aislamiento térmico y acústico formado por placas de yeso laminado, de 13 mm de espesor, que se atornillan a una estructura de acero galvanizado

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

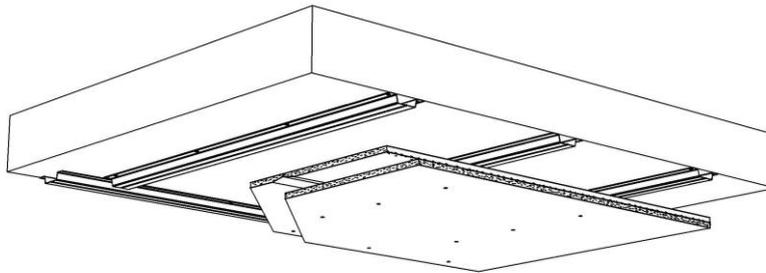
Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

formada por maestras de 70 mm de ancho y 30 mm de alto, separadas entre ellas 400 mm y ancladas directamente al forjado. En el espacio intermedio se coloca el aislamiento de lana mineral de 20 mm ( $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$ ). El espesor total del techo es de 43 mm.

Las **ventajas** de este sistema son:

- La mejora del aislamiento térmico y del confort en la vivienda.
- La mejora significativa del aislamiento acústico.
- Acabados de gran calidad gracias a la planeidad.
- La mejora de la resistencia al fuego.
- Es más barato que una intervención por el exterior cuando la cubierta se encuentra en buen estado.
- La mejora, en este edificio, del puente térmico del encuentro de la fachada con la cubierta.
- La facilidad y rapidez de ejecución (si no hay falso techo existente).



*Imagen 18. Sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto*

Y, aunque no en este caso porque el edificio tiene un único propietario, permite la rehabilitación energética de viviendas aisladas, o la rehabilitación de toda la cubierta poniendo de acuerdo solo a los vecinos de la última planta.

Tiene como **inconvenientes**:

- La reducción del espacio de la vivienda. Cuando la altura libre es pequeña puede no ser posible su instalación.
- Las molestias a los habitantes de la vivienda.
- Los remates del interior de la vivienda de tipo estético y funcional, muy variados según los casos, que pueden interferir con la instalación eléctrica del edificio, encuentro con armarios empotrados, cajeados de persianas, etc.

La **superficie** de la actuación es de 1.401,19 m<sup>2</sup>.

El **precio** de la medida es de 27,53 €/m<sup>2</sup>; 38.574,76 € totales; y una repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 4,14 €/m<sup>2</sup>.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

La **transmitancia** en la cubierta existente y en la aislada por el interior con techo semidirecto es:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	2.d TECHO SEMIDIRECTO
LANA MINERAL ( $\lambda=0,036$ W/mK)	0 mm	20mm
CUBIERTA DE GRAVA	0,56	0,41
CUBIERTA ACABADO DE GRES	0,56	0,41

Transmitancia límite de cubiertas en la zona climática D3:  $U_{lim}=0,38$  W/m<sup>2</sup>K

Tabla 17. Transmitancias con sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	2.d SISTEMA DE AISLAMIENTO INTERIOR DE CUBIERTA CON TECHO SEMIDIRECTO
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	29,3 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	72,7
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,4
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	20,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		0,4

Tabla 18. Calificación energética con sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto

### 8.5.4 Sistema de aislamiento por el exterior con doble cubierta inclinada con espacio destinado a trasteros

Se coloca una nueva cubierta que crea un espacio no habitable para trasteros. La nueva cubierta a dos aguas, que se coloca sobre la existente, está formada por una estructura metálica ligera cubierta con teja cerámica sobre una placa de fibrocemento, con 40 mm de poliestireno extruido y con cámara ventilada.

Las **ventajas** de este sistema son:

- La cámara de aire ventilada mejora el confort en verano.
- Se puede aprovechar el espacio bajo cubierta. El coste de los trasteros, en caso de que el edificio no tenga, puede compensar el coste de la actuación.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Los **inconvenientes** de este sistema son:

- Puede ser incompatible con la cubierta del edificio existente.
- No todas las normativas u ordenanzas parciales permiten este tipo de uso en cubierta, y algunas pueden lo considerarlo un aumento de edificabilidad.
- Debe considerarse la sobrecarga de uso en la estructura del forjado, superior a la sobrecarga de uso de una cubierta convencional.
- Exige un acceso a cubierta de determinadas características, que no todos los edificios poseen
- Precisa instalación eléctrica, de seguridad y contra incendios, no considerada en el coste.
- La solución de encuentros con el sistema de recogida de aguas, bajantes, canalones, encuentros con elementos de cubierta, de chimeneas, etc. que pueden verse afectados en cada caso.

La **superficie** de la actuación es de 1.172,8 m<sup>2</sup>.

El **precio** de la medida es de 87,56 €/m<sup>2</sup>; 102.690,37 € totales; y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 11,02 €/m<sup>2</sup>.

La **transmitancia** de la nueva cubierta es 0,70 W/m<sup>2</sup>K.

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	2.e SISTEMA CON CUBIERTA INCLINADA CON ESPACIO TRASTEROS
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	<b>29,7 (E)</b>	<b>29,3 (E)</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	73,3
<b>DEMANDA REFRIGERACIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,1
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> CALEFACCIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	20,2
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> REFRIGERACIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,0
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> ACS</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES CO<sub>2</sub></b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		<b>0,4</b>

Tabla 19. Calificación energética con sistema de aislamiento por el exterior con doble cubierta inclinada con espacio destinado a trasteros

8.5.5 Comparación de las medidas de mejora de las cubiertas

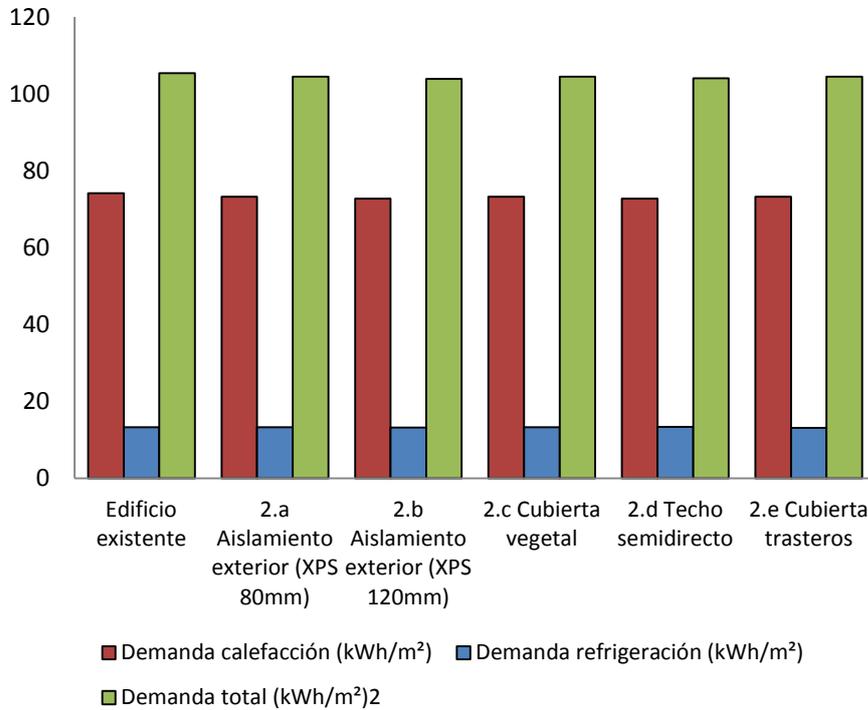


Gráfico 3: Variación de la demanda energética en las medidas de mejora de las cubiertas

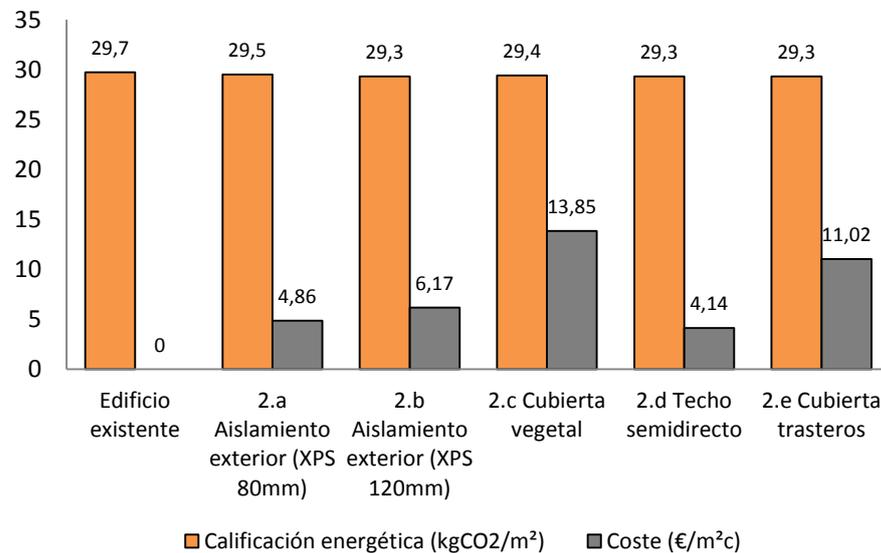


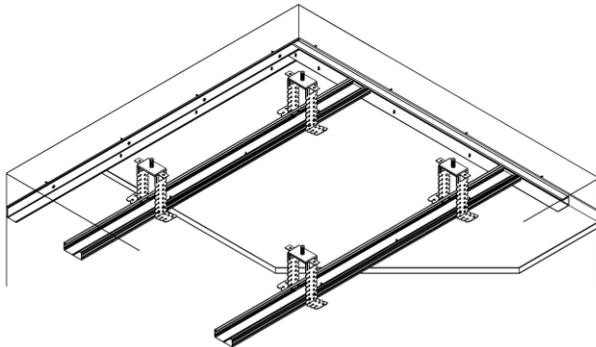
Gráfico 4: Relación entre la calificación energética y el coste de las medidas de mejora de las cubiertas

Para la correcta interpretación de estos valores ha de tenerse en cuenta el coeficiente de forma del edificio, y la relación entre la superficie de cubierta y la superficie total climatizada del edificio.

## **8.6 Suelos**

### **8.6.1 Sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido**

El techo suspendido es un sistema de aislamiento térmico y acústico formado por una estructura de perfiles de acero galvanizado en forma de U, de 47 mm de ancho y separados entre ellos 400 mm, que se suspende del forjado por medio de horquillas especiales y varillas roscadas de diámetro 6 mm, y se fija en todo el perímetro y a la que se atornilla una placa de yeso laminado de 13 mm de espesor. En el espacio intermedio se coloca el aislamiento de lana mineral ( $\lambda= 0,036$  W/mK) de 30 mm/ 50 mm de espesor.



*Imagen 19. Sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido (Fuente: Pladur)*

Se considera este sistema en los suelos del edificio en contacto con el exterior o espacios no habitables (garajes y trasteros), como la planta baja y elementos volados de la planta primera.

#### **Ventajas:**

- La mejora del aislamiento térmico y del confort en la vivienda.
- La mejora del aislamiento acústico.
- Acabados de gran calidad gracias a la planeidad.
- La mejora de la resistencia al fuego.
- Se aísla el forjado sin molestias para los habitantes ni reducción del espacio habitable.
- La facilidad y rapidez de ejecución

#### **Inconvenientes:**

- No se soluciona, en este edificio, el puente térmico de encuentro fachada con suelo en contacto con el exterior
- Puede limitarse la altura libre interior de los espacios situados bajo el forjado (en este caso, garajes)
- La solución, según el caso, de encuentros con instalaciones colgadas bajo el forjado de planta baja, como saneamiento colgado, instalaciones eléctricas, canalizaciones de gas, etc.

En el **suelo en contacto con el exterior**, cuya superficie es de 160 m<sup>2</sup>, se colocan 50 mm de

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

lana mineral. El precio de la medida es de 24,82 €/m<sup>2</sup>; 3.971,2 € en total y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 0,43 €/ m<sup>2</sup>.

En el **forjado de la planta baja**, de 1.197,75 m<sup>2</sup>, en contacto con espacios no calefactados, se colocan 30 mm de lana mineral. El precio de la medida es de 22,43 €/m<sup>2</sup>; 26.865,53 € en total y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 2,88 €/ m<sup>2</sup>.

El **precio medio**, para la superficie total de 1.357,75 m<sup>2</sup>, es de 22,71 €/m<sup>2</sup>; 30.836,73 €; y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 3,31 €/ m<sup>2</sup>.

Las **transmitancias** de los forjados aislados con techo suspendido son:

U (W/m <sup>2</sup> K)	EDIFICIO EXISTENTE	3 TECHO SUSPENDIDO	
LANA MINERAL ( λ=0,036 W/mK)	0 mm	30mm	50mm
SUELO EN CONTACTO EXTERIOR	0,00		0,47
FORJADO DE VIVIENDA PLANTA BAJA	0,68	0,39	
FORJADO ESPACIOS COMUNES PLANTA BAJA	0,70	0,40	

Transmitancia límite de cubiertas en la zona climática D3: Uslim= 0,49 W/m<sup>2</sup>K

Tabla 20. Transmitancia con sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido

La **calificación energética** obtenida es:

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	3 SISTEMA DE AISLAMIENTO SUELOS CON TECHO SUSPENDIDO
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	29,6 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	74,0
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,4
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	20,4
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		0,1

Tabla 21. Calificación energética con sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

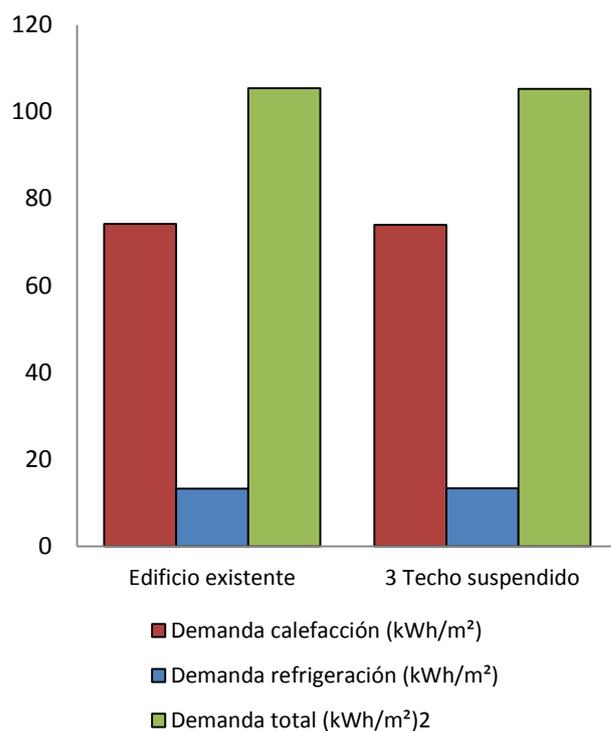


Gráfico 5: Variación de la demanda energética en las medidas de mejora de suelos

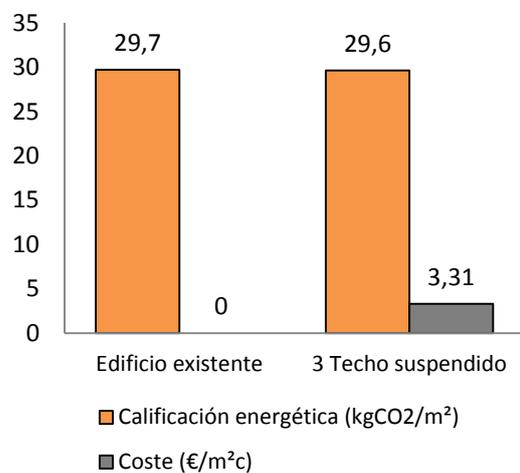


Gráfico 6: Relación entre la calificación energética y el coste de la medida de mejora de suelos

Como en el caso de la cubierta, para la correcta interpretación de estos valores ha de tenerse en cuenta el coeficiente de forma del edificio, y la relación entre la superficie de planta baja y forjado en contacto con el exterior, y la superficie total climatizada del edificio. Debe valorarse también el aumento de confort para las viviendas en esta situación.

## 8.7 Huecos

Los huecos son los elementos de la envolvente en los que se producen las mayores pérdidas energéticas en invierno y las mayores ganancias en verano. En un edificio existente las orientaciones están definidas y las medidas son limitadas, pero se pueden modificar las características térmicas de los huecos y añadir elementos de sombra para reducir la demanda energética.

Las ventanas en la fachada este tienen unas dimensiones regulares, de 1,20m de alto por 1,80m de ancho, y tienen persianas enrollables. En la fachada oeste, la cocina tiene una ventana de 1,25 m y el dormitorio principal 2,10 m de anchura. Destacan los miradores en dos cuartos de estar y una cocina por cada bloque y planta, que poseen un acristalamiento de 2,20, 2,18 y 2,50 m de anchura y de altura la libre total de planta, más acristalamientos laterales de 0,75m de ancho. Estos elementos no poseen ningún sistema de protección solar, por lo que necesariamente su sobrecalentamiento en determinadas épocas ha de ser importante.

El edificio de Alameda de Osuna tiene un porcentaje medio de huecos en fachada entre el 31-40%, por lo que los límites de transmitancia establecidos por el DB-HE1 para Madrid, zona climática D3, son:

- N:  $U_{hlim} = 2,2 \text{ W/ m}^2\text{K}$
- E-O:  $U_{hlim} = 2,6 \text{ W/ m}^2\text{K}$
- S:  $U_{hlim} = 3,4 \text{ W/ m}^2\text{K}$

Los marcos son de aluminio lacado, de color claro, sin rotura de puente térmico, transmitancia  $U = 5,7 \text{ W/ m}^2\text{K}$ , y estanqueidad al aire de  $27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ .

Los vidrios son dobles 6-8-4 de transmitancia  $U = 3,0 \text{ W/ m}^2\text{K}$  y factor solar  $g = 0,75$ ; y monolíticos 5+5, de seguridad, en las partes fijas de las ventanas, con una transmitancia  $U = 5,5 \text{ W/ m}^2\text{K}$  y factor solar  $g = 0,85$ .

Los huecos no cumplen los límites de la normativa.

### 8.7.1 Sustitución de vidrios

La primera medida que se considera es la sustitución de los vidrios manteniendo las carpinterías existentes. Esta opción tiene como ventajas: la facilidad de ejecución de la medida, se consigue aumentar el aislamiento térmico y acústico con las menores molestias a los habitantes, y supone un ahorro económico frente a la sustitución o el añadido de carpinterías. Como inconveniente, la carpintería existente debe adaptarse a nuevos grosores de vidrio, lo que no siempre es posible.

Se estudia la rehabilitación energética de los huecos de fachada mediante la sustitución del vidrio existente por otro bajo emisivo 4/16/4 ( $U = 1,4 \text{ W/ m}^2\text{K}$  y  $g = 0,59$ ).

La superficie de actuación es de  $1.974,52 \text{ m}^2$ .

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

El precio de la medida es de 43,58 €/m<sup>2</sup>, 86.049,6 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 9,24 €/m<sup>2</sup>.

En las fachadas con ganancias solares directas, el doble acristalamiento bajo emisivo debe completarse con adecuada protección solar para el verano.

Aunque se mejora la calificación energética, se producen condensaciones porque la carpintería es de aluminio sin rotura de puente térmico (factor de temperatura superficial  $f=0,4$ , cuando el mínimo admitido es  $f=0,61$ ).

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	4.a SUSTITUCIÓN DE VIDRIOS
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	<b>29,7 (E)</b>	<b>27,5 (E)</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	67,8
<b>DEMANDA REFRIGERACIÓN</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	11,4
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> CALEFACCIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	19,0
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> REFRIGERACIÓN</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	4,4
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> ACS</b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES CO<sub>2</sub></b> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		<b>2,2</b>

Tabla 22. Calificación energética con sustitución de vidrios

### 8.7.2 Sustitución de los huecos existentes

Se estudia la rehabilitación energética de los huecos de fachada mediante la sustitución de la carpintería acristalada existente, en tres casos:

1. La carpintería nueva es de PVC ( $U= 2,2$  W/m<sup>2</sup>K) y el acristalamiento doble bajo emisivo 4/8/4 ( $U= 2,1$  W/m<sup>2</sup>K y  $g=0,58$ ). El precio de la medida es de 474.260,1 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 50,90 €/ m<sup>2</sup>.
2. La carpintería nueva es de PVC ( $U= 2,2$  W/m<sup>2</sup>K) y el acristalamiento doble bajo emisivo 4/16/4 ( $U= 1,4$  W/m<sup>2</sup>K y  $g=0,59$ ). El precio de la medida es de 496.879,24 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 53,33 €/ m<sup>2</sup>.
3. La carpintería nueva es de aluminio con rotura de puente térmico ( $U= 3,2$  W/m<sup>2</sup>K) y el acristalamiento doble bajo emisivo 4/16/4 ( $U= 1,4$  W/m<sup>2</sup>K y  $g=0,59$ ). El precio de la medida es de 590.119,53 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 63,33 €/ m<sup>2</sup>.

En el coste no se han considerado unidades de obra que pueden ser necesarias, según los casos particulares, como el desmontaje de carpintería existente y tratamiento o reciclaje de sobrantes, el recibido de cajas de persianas, de remates de capialzados, vierteaguas,

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

encuentro de muros, etc.

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	4.b CASO 01	4.c CASO 02	4.d CASO 03
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	26,5 (E)	26 (E)	26,3 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	61,3	57,0	59,3
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	13,0	14,7	14,1
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	17,4	16,3	16,8
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	5,0	5,6	5,4
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		3,2	3,7	3,4

Tabla 23. Calificación energética con sustitución de huecos existentes

### 8.7.3 Colocación de un nuevo hueco por el exterior

Se considera la rehabilitación energética de los huecos de fachada mediante la colocación exterior de una nueva carpintería y vidrio. De esta manera se mejoran las características térmicas y acústicas del hueco y se elimina la posibilidad de condensaciones, con un coste menor que el que supone la sustitución de huecos. Tiene como inconveniente que, si se colocan desde el interior, las obras molestan a los habitantes del edificio y la limpieza de los vidrios es complicada.

Se consideran dos casos:

1. La colocación exterior de una nueva carpintería de PVC ( $U= 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y doble acristalamiento 4/8/6 ( $U= 3 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $g=0,75$ ). El coste de la medida es de 402.961,9 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 43,25 €/ m<sup>2</sup>.
2. La colocación exterior de una nueva carpintería de PVC ( $U= 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y doble acristalamiento bajo emisivo 4/16/4 ( $U= 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $g=0,59$ ). El coste de la medida es de 413.742,76 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 35,7 €/ m<sup>2</sup>.

No es posible colocar un nuevo hueco exterior en todos los casos. En las puertas practicables del portal, o en los miradores, se sustituye la carpintería actual por una de PVC ( $U= 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y doble acristalamiento bajo emisivo 4/9/4 ( $U= 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $g=0,7$ ).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	4.e CASO 01	4.f CASO 02
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>29,7 (E)</b>	<b>26,4</b>	<b>25,2</b>
<b>DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	74,2	59,0	58,7
<b>DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	13,3	14,3	11,4
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	20,5	16,8	16,7
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	5,1	5,5	4,4
<b>EMISIONES CO<sub>2</sub> ACS (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	4,1	4,1	4,1
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>		<b>3,3</b>	<b>4,5</b>

Tabla 24. Calificación energética con colocación de un nuevo hueco por el exterior

### 8.7.4 Protección solar en los huecos de fachada

Los elementos de sombra en los huecos acristalados tienen como objetivo protegerlos de la radiación solar y limitar la demanda de refrigeración en verano sin perjudicar la captación solar pasiva en invierno.

El edificio cuenta con persianas como elementos de protección solar internos. Para los cálculos se mantiene el valor que Lider asigna por defecto, un factor de corrección solar de 0,7 (factor de sombra del 30%), para todas las ventanas en verano.

El edificio no cuenta con elementos de sombra externos, más efectivos, ya que interceptan los rayos solares antes de que atraviesen el vidrio. Es especialmente grave el caso de los miradores, acristalados en toda su altura y sin elementos de protección.

Se consideran los siguientes sistemas de protección externa:

#### Sistemas fijos: parasoles

En la orientación sur se estudia la colocación de parasoles horizontales y en las orientaciones este y oeste, donde la altura solar es menor, parasoles verticales.

Para la fachada sur se calcula un parasol de 60 cm que asegure la protección solar de mayo a agosto en las horas centrales del día. Sin embargo, al ser la superficie de los huecos en la fachada sur de solo el 2,1%, las ventanas de los baños, no se aprecia la reducción de la demanda de refrigeración.

Los parasoles verticales en las fachadas principales este y oeste no se calculan porque solo resultan efectivos si sobresalen mucho de la fachada, y hasta que el sol incide perpendicularmente. Tienen el inconveniente de que obstruyen la visión e impiden la entrada de luz natural.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### Sistemas orientables: lamas

Se evalúa la colocación de lamas orientables, porque las fijas, para resultar efectivas, excluyen gran parte de luz natural y obstruyen la visión. Los sistemas móviles de lamas horizontales, al sur, o verticales, en las fachadas este y oeste, permiten la captación flexible de la radiación solar en función de las necesidades. Las lamas son practicables o correderas donde sea posible, para permitir la visión directa del exterior.

Los cálculos se realizan teniendo en cuenta los valores de factor de sombra para obstáculos de fachada del DB-HE 1:

- Lamas horizontales: en la orientación sur, para un ángulo de inclinación de 60°, el factor solar en verano es 0,26.
- Lamas verticales: en la orientación este, para un ángulo de inclinación de 60°, el factor solar en verano es 0,32. En la orientación oeste, para un ángulo de inclinación de 60°, el factor solar en verano es 0,29. En los casos e los que el hueco no permita que las lamas sean correderas el factor solar en invierno, para un ángulo de 0°, es 0,63.



Imagen 20. Ejemplo genérico de lamas correderas en la fachada de un edificio (Fuente: Trespa)

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	5.c LAMAS ORIENTABLES FIJAS	5.d LAMAS ORIENTABLES CORREDERAS O PRACTICABLES
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	28,9 (E)	28,7 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	79,6	78,7
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	7,6	7,6
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	21,9	21,7
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	2,9	2,9
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		0,8	1,0

Tabla 24. Calificación energética con colocación de protecciones solares: lamas

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

La colocación de las lamas aumenta la demanda de calefacción, lo que no debería ocurrir porque solo se modifica el factor solar en verano. Sin embargo, en los archivos de resultados de Lider, en los meses de abril, mayo y octubre sí se considera la existencia de lamas (no así de noviembre a marzo) por lo que se impiden ganancias solares pasivas y aumenta la demanda de calefacción.

El precio de las medidas es:

- Estructura fija y lamas orientables: 39,59 €/m<sup>2</sup>, 77.893,3 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 8,36 €/ m<sup>2</sup>.
- Estructura practicable y lamas orientables: 289,29 €/m<sup>2</sup>, 569.178,1 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 61,09 €/ m<sup>2</sup>.
- Estructura corredera y lamas orientables: 314,92 €/m<sup>2</sup>, 619.762,56 € en total, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 66,52 €/ m<sup>2</sup>.

En el coste no se ha considerado el coste de otras unidades de obra que probablemente serían necesarias para el recibido de guías y elementos de fijación en fachada.

### Pantallas flexibles: toldos

Los toldos tienen la ventaja de permitir adaptar su posición en función de la época y las necesidades.

Se calcula su colocación en los huecos de las fachadas sur, este y oeste, en dos casos:

- Toldos opacos colocados a 45º: se calcula con un factor de sombra en verano de 0,05 en la orientación sur y 0,08 en las orientaciones este y oeste, según el DB-HE 1.
- Toldos translúcidos colocados a 45º: se calcula con un factor de sombra en verano de 0,25 en la orientación sur y 0,28 en las orientaciones este y oeste, según el DB-HE 1

BLOQUE E	EDIFICIO EXISTENTE	5.a TOLDOS OPACOS	5.b TOLDOS TRANSLÚCIDOS
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	29,7 (E)	28,4 (E)	28,6 (E)
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	74,2	81,0	78,6
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,3	5,3	7,4
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,5	22,3	21,7
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,1	2,0	2,8
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		1,3	1,1

Tabla 25. Calificación energética con colocación de protecciones solares: toldos

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

La colocación de los toldos, como en el caso de las lamas y por el mismo motivo, aumenta la demanda de calefacción del edificio cuando se realizan cálculos con Calener VyP.

Esta situación no es lógica, pues es de suponer que el usuario, al ser el toldo enrollable, lo recoge en cuando son necesarias las ganancias solares, y el edificio se comportaría como si no existiera este elemento.

La colocación de toldos no requiere obra de albañilería. El coste de esta medida se acerca de forma muy certera al real de su colocación total en el edificios, pues tiene pocos elementos imprevisibles o remates que influyan o necesiten otras unidades de obra.

El precio de la medida es 231.887,71 €, y su repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de 24,89 €/m<sup>2</sup>.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 8.7.5 Comparación de las medidas de mejora de las características de los huecos

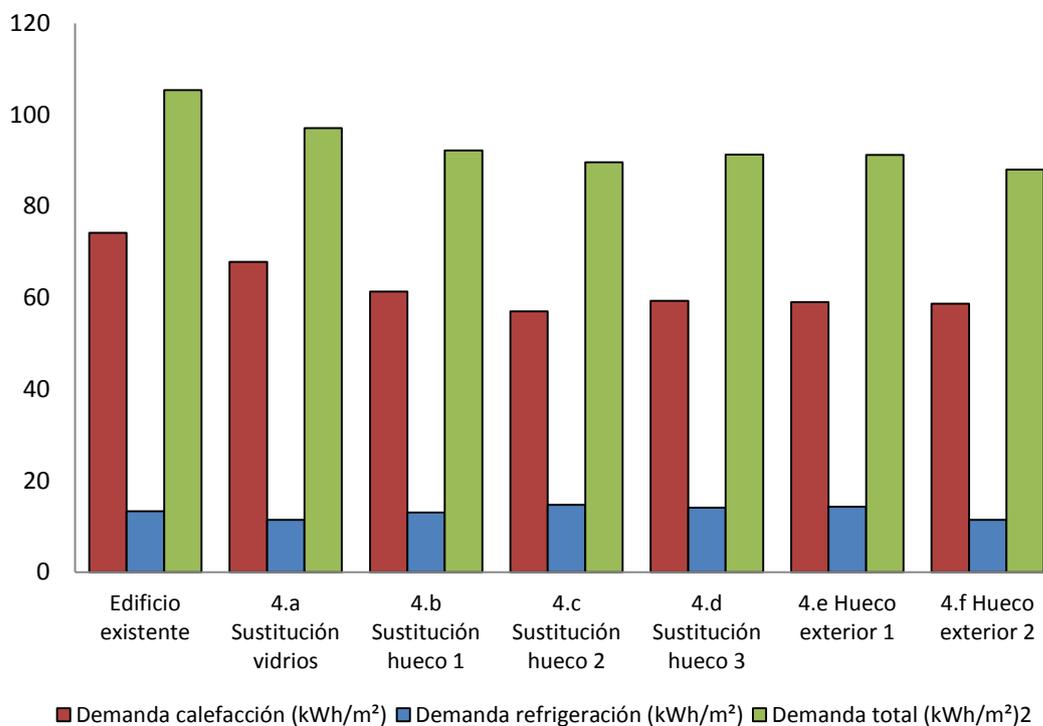


Gráfico 7: Variación de la demanda energética en las medidas de mejora de los huecos

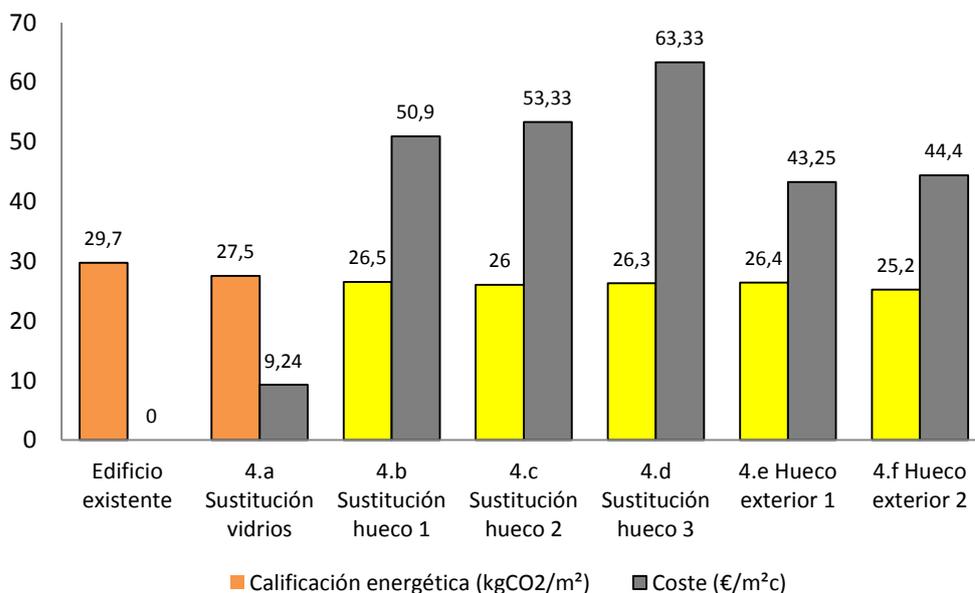


Gráfico 8: Relación entre la calificación energética y el coste (precio de ejecución material) de las medidas de mejora de los huecos

8.7.6 Comparación de las medidas de protección solar de los huecos

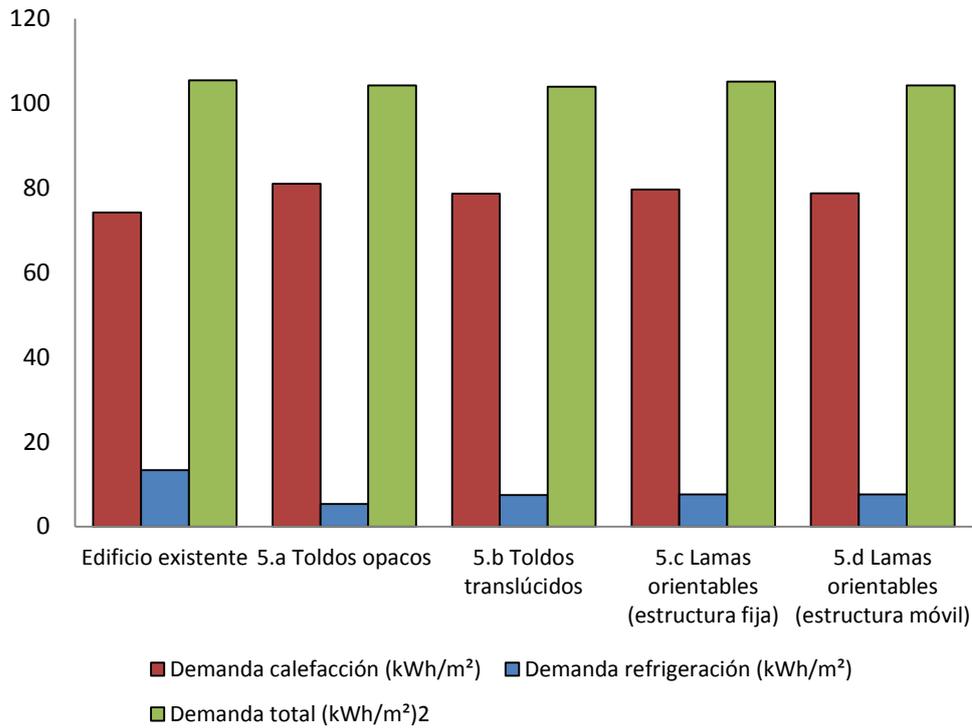


Gráfico 9: Variación de la demanda energética en las medidas de protección solar de los huecos

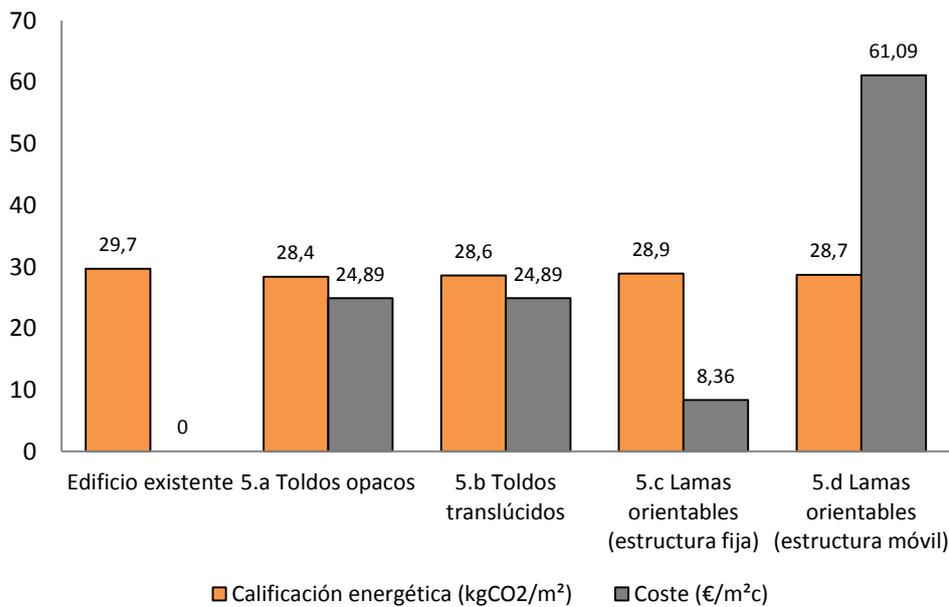


Gráfico 10: Relación entre la calificación energética y el coste (precio de ejecución material) de las medidas de protección solar de los huecos

**PRECOST&E REHABILITACIÓN**

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

**8.8 Resumen de resultados**

	Medidas	Emisiones CO2		Demanda				Consumo				Coste				Observaciones	
		Emisiones CO2 (kgCO2/m²)	Reducción emisiones CO2 (kgCO2/m²)	Dcalef (kWh/m²)	Drefrig (kWh/m²)	Demanda total (kWh/m²)	Dcalef	Drefrig	Consumo energía final (kWh/m²)	Ahorro energía final calefacción (kWh/m²) (1)	Ahorro energía final refrigeración (kWh/m²) (1)	Ahorro energía final (kWh/m²)	€/m² actuación (2)	Total €	€/m² sobre rasante (3)		Repercusión del coste de intervención (€/kWh energía ahorrada) (kWh/m²)
0	Edificio existente (Bloque E)	29,7 E	0,0	74,2	13,3	105,4	0,0%	0,0%	119,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
1.1	Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con acabado de enfoscado (+XPS 60 mm)	22,1 D	7,6	49,4	12,4	79,7	-33,4%	-6,8%	88,5	30,3	0,5	30,8	85,4	378.190,9	40,59	12.278,93	
1.2	Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con acabado de enfoscado (+XPS 80 mm)	21,8 D	7,9	48,2	12,4	78,5	-35,0%	-6,8%	87,3	31,5	0,5	32,0	89,6	397.020,7	42,61	12.406,90	
1.3	Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada (+LV 80 mm)	21,8 D	7,9	48,5	12,1	78,5	-34,6%	-9,0%	87,3	31,3	0,7	32,0	155,3	688.062,9	73,85	21.501,96	
1.4	Sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante (+LM 45 mm) acabado con pintura	26,7 E	3,0	62,9	13,1	93,9	-15,2%	-1,5%	105,9	13,3	0,1	13,4	31,1	84.212,2	9,04	6.284,49	*Trasdosado (28,61 €/m²) + Pintura interiores (2,53 €/m²)
2.1	Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 40 mm)	29,5 E	0,2	73,3	13,3	104,5	-1,2%	0,0%	118,2	1,1	0,0	1,1	35,3	45.315,7	4,86	41.196,06	*VALOR MEDIO Cubierta grava (28,12 €/m²): Sist. de aislamiento por el exterior en cubierta plana no transitable (22,51 €/m²) + Retirada capa protección grava y capa separadora (4,67+0,94 €/m²) / Cubierta gres (54,53 €/m²): Sist. de aislamiento por el exterior en cubierta plana transitable (42,86 €/m²) + Demolición pavimento cubierta (11,67 €/m²)
2.2	Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 80 mm)	29,3 E	0,4	72,8	13,2	103,9	-1,9%	-0,8%	117,6	1,7	0,0	1,7	44,8	57.511,1	6,17	33.830,06	*VALOR MEDIO Cubierta grava (37,59 €/m²): Sist. de aislamiento por el exterior en cubierta plana no transitable (31,98 €/m²) + Retirada capa protección grava y capa separadora (4,67+0,94 €/m²) / Cubierta gres (64 €/m²): Sist. de aislamiento por el exterior en cubierta plana transitable (52,33 €/m²) + Demolición pavimento cubierta (11,67 €/m²)
2.3	Sistema de aislamiento por el exterior con cubierta vegetal (XPS 80 mm)	29,4 E	0,3	73,3	13,3	104,5	-1,2%	0,0%	118,2	1,1	0,0	1,1	100,6	129.143,2	13,86	117.402,94	*VALOR MEDIO Cubierta vegetal (117,81 €/m²): Cubierta vegetal (99,51 €/m²) + Demolición cubierta no transitable de grava (18,30 €/m²) / Cubierta gres (54,53 €/m²): Sist. de aislamiento por el exterior en cubierta plana transitable (42,86 €/m²) + Demolición pavimento cubierta (11,67 €/m²)
2.4	Sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto (+LM 20 mm) acabado con pintura	29,3 E	0,4	72,8	13,4	104,1	-1,9%	0,8%	117,4	2,0	0,0	2,0	27,5	38.574,8	4,14	19.287,38	*Techo continuo (25 €/m²) + Pintura interiores (2,53 €/m²)
2.5	Sistema de aislamiento por el exterior con doble cubierta inclinada y espacio bajo cubierta no habitable para trasteros	29,3 E	0,4	73,3	13,1	104,3	-1,2%	-1,5%	117,9	1,3	0,1	1,4	87,6	102.690,4	11,02	73.350,26	
3	Sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido (+LM 30/50 mm) acabado con pintura	29,6 E	0,1	74,0	13,4	105,3	-0,3%	0,8%	119,1	0,3	0,0	0,3	22,7	30.834,5	3,31	102.781,67	*VALOR MEDIO Techo suspendido 50 mm lana mineral (24,82 €/m³) / Techo suspendido 30 mm lana mineral (22,43 €/m³)
4.1	Sustitución de vidrios (4-16-4, U=1,4 W/m²K, g=0,59)	27,5 E	2,2	67,8	11,4	97,1	-8,6%	-14,3%	111,0	7,2	1,1	8,3	43,6	86.049,6	9,24	10.367,42	
4.2	Sustitución de los huecos existentes 1 (4-8-4, U=2,1 W/m²K, g=0,58 / marco U=2,2 W/m²K)	26,5 D	3,2	61,3	13,0	92,2	-17,4%	-2,3%	104,4	14,8	0,1	14,9		474.260,1	50,90	31.829,54	
4.3	Sustitución de los huecos existentes 2 (4-16-4, U=1,4 W/m²K, g=0,59 / marco U=2,2 W/m²K)	26,0 D	3,7	57,0	14,7	89,6	-23,2%	10,5%	100,3	19,9	0,0	19,9		496.879,2	53,33	24.968,81	
4.4	Sustitución de los huecos existentes 3 (4-16-4, U=1,4 W/m²K, g=0,59 / marco U=3,2 W/m²K)	26,3 D	3,4	59,3	14,1	91,3	-20,0%	6,0%	102,4	17,4	0,0	17,4		590.119,5	63,33	33.914,92	
4.5	Colocación de un nuevo hueco por el exterior 1 (4-8-6, U=3 W/m²K, g=0,75 / marco U=2,2 W/m²K)	26,4 D	3,3	59,0	14,3	91,2	-20,5%	7,5%	102,3	17,6	0,0	17,6		402.961,9	43,25	22.895,56	
4.6	Colocación de un nuevo hueco por el exterior 2 (4-16-4, U=1,4 W/m²K, g=0,59 / marco U=1,8 W/m²K)	25,2 D	4,5	58,7	11,4	88,0	-20,9%	-14,3%	100,4	17,8	1,1	18,9		413.742,8	44,40	21.891,15	
5.1	Protección solar en los huecos de fachada: todos opacos	28,4 E	1,3	81,0	5,3	104,2	9,2%	-60,2%	123,3	0,0	4,7	4,7		231.887,7	24,89	49.337,81	
5.2	Protección solar en los huecos de fachada: todos translúcidos	28,6 E	1,1	78,6	7,4	103,9	5,9%	-44,4%	121,6	0,0	3,5	3,5		231.887,7	24,89	66.253,63	
5.3	Protección solar en los huecos de fachada: lamas orientables (estructura fija)	28,9 E	0,8	79,6	7,6	105,1	7,3%	-42,9%	122,6	-4,3	3,3	-1,0	39,6	77.893,3	8,36	-	
5.4	Protección solar en los huecos de fachada: lamas orientables (estructura practicable o corredera)	28,7 E	1,0	78,7	7,6	104,2	6,1%	-42,9%	123,7	0,0	3,3	3,3	289,3	569.178,1	61,09	172.478,20	

Tabla 26. Resumen de resultados de las medidas de mejora de la envolvente

(1) No se consideran consumos de energía negativos

(2) Precios de las partidas:

Fuentes: Generador de precios de rehabilitación de CYPE, PLADUR, COBERT Actualizados 2012

Incluyen: obra, demolición y acabados. No incluyen: gestión de residuos, remates o detalles constructivos especiales, impuestos

Mediciones obtenidas del proyecto de ejecución del edificio

(3) Superficie construida sobre rasante= 9317,56 m²

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

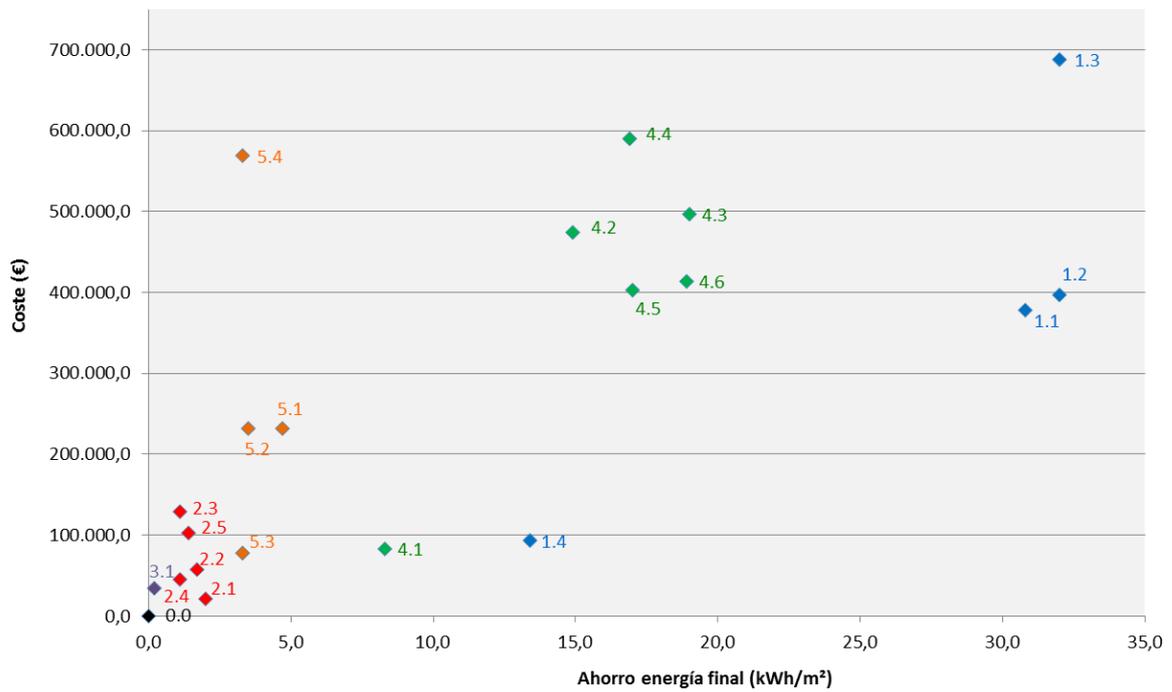


Gráfico 11. Relación entre el coste de la intervención y el ahorro de energía final en las medidas de la envolvente de la Tabla 26

## **9. CASOS DE ENVOLVENTE**

Se consideran dos casos de rehabilitación de la envolvente, sobre los que posteriormente se evaluarán los sistemas energéticos. El primer caso propone las medidas necesarias para que el edificio cumpla el DB-HE 1, y se llamará E1. El segundo caso comprende las actuaciones necesarias para obtener una envolvente más eficiente, que se llamará E2, envolvente mejorada. Los criterios para la selección de medidas son:

- La relación entre la energía ahorrada (kWh) y el coste de la intervención.
- La adecuación de las medidas a las características del edificio de Alameda de Osuna (características constructivas y arquitectónicas, propiedad única, edificio de viviendas en alquiler, etc.)

### **9.1 Envolvente que cumple el DB-HE1 (E1)**

Las medidas necesarias para que la envolvente del edificio existente cumpla el DB-HE 1 y que han sido seleccionadas son:

1. Mejorar la transmitancia de las cubiertas y las terrazas de la planta ático aumentando por el exterior el aislamiento con paneles de poliestireno extruido hasta llegar a 80 mm de espesor.

2. Mejorar la transmitancia de las fachadas que no cumplen con las exigencias del CTE, que son:

- La fachada de planta baja en contacto con espacios comunes: se propone aislar por el interior con un trasdosado autoportante con 45 mm de lana mineral.
- Los cerramientos en contacto con los tendedores de la fachada oeste: se considera aislar mediante un sistema de aislamiento por el exterior, con 30mm de poliestireno extruido, con acabado de enfoscado.
- Los pilares en esquina: se sugiere aislar por el interior con un trasdosado autoportante con 45 mm de lana mineral.

3. Mejorar la transmitancia de las particiones interiores que limitan las viviendas con las zonas comunes no calefactadas, con un trasdosado autoportante con 45 mm de lana mineral.

4. Mejorar la transmitancia del forjado de la planta primera en contacto con el exterior mediante un techo suspendido con 50 mm lana mineral en su interior.

5. Mejorar la transmitancia del forjado de planta baja en contacto con los garajes y trasteros mediante un techo suspendido con aislamiento interior de lana mineral de 30 mm de espesor.

6. Añadir una ventana exterior a las existentes, con un marco de PVC de dos cámaras (2,2 W/m<sup>2</sup>K) y un vidrio bajo emisivo 4-8-4 (3 W/m<sup>2</sup>K, g=0,75) (4.e). En los casos que no sea posible colocar una nueva carpintería exterior (miradores, puerta de acceso al portal) se sustituye la carpintería existente por una con marco de PVC de dos cámaras (2,2 W/m<sup>2</sup>K) y un vidrio bajo emisivo 4-8-4 (2,3 W/m<sup>2</sup>K, g=0,70).

## **PRECOST&E REHABILITACIÓN**

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

Con estas medidas se consigue que el edificio obtenga una calificación energética D (23,2 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

ENVOLVENTE 1: Cumplimiento DB-HE1 CALIFICACIÓN ENERGÉTICA D (23,2 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Objetivo	U (W/m <sup>2</sup> K)		Medidas (1)	Presupuesto				Detalles del presupuesto
		Existente	Propuesta		Superficie (m <sup>2</sup> )	€/m <sup>2</sup>	€	€/m <sup>2</sup> c (2)	
<b>CUBIERTAS</b>							<b>45.329,57</b>	<b>4,86</b>	
Cubierta invertida con acabado de grava (Cubierta ático)	Cumple CTE (0,49 W/m <sup>2</sup> K / 0,38 W/m <sup>2</sup> K)	0,56	<b>0,34</b>	2.1 Sist. de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 40 mm)	934,20	28,12	26.269,70		5,61 €/m <sup>2</sup> (demolición) + 22,51 €/m <sup>2</sup> (rehabilitación)
Cubierta invertida con acabado de gres (Terrazas ático)	Cumple CTE (0,49 W/m <sup>2</sup> K / 0,38 W/m <sup>2</sup> K)	0,56	<b>0,34</b>	2.1 Sist. de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 40 mm)	349,53	54,53	19.059,87		11,67 €/m <sup>2</sup> (demolición) + 42,86 €/m <sup>2</sup> (rehabilitación)
Puentes térmicos	Encuentro cubierta - fachada	* =0,82 WmK / f=0,60	* = <b>0,90 WmK / f=0,62</b>						
<b>FACHADAS</b>							<b>75.002,70</b>	<b>8,05</b>	
Fachada de ladrillo	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	0,55	<b>0,55</b>	No se modifica	0,00	0,00	0,00		
Fachada de viviendas de planta baja	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	0,55	<b>0,55</b>	No se modifica	0,00	0,00	0,00		
Fachada de viviendas de planta ático	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	0,54	<b>0,54</b>	No se modifica	0,00	0,00	0,00		
Fachada de espacios comunes de planta baja	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	2,45	<b>0,66</b>	1.4 Sist. de aislamiento por el interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	111,67	31,14	3.477,40		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 2,53 €/m <sup>2</sup> (pintura interiores)
Fachada tendadero (Muro de la escalera)	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	2,82	<b>0,81</b>	1. Sist. de aislamiento por el exterior de fachada con acabado de enfoscado (+XPS 30 mm)	235,15	91,77	21.579,72		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 78,99 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada tendadero (Muro del ascensor)	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,80</b>	1. Sist. de aislamiento por el exterior de fachada con acabado de enfoscado (+XPS 30 mm)	500,81	91,77	45.959,33		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 78,99 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada tendadero (Muro de cocinas)	Cumple CTE (0,86 W/m <sup>2</sup> K / 0,66 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,80</b>	1. Sist. de aislamiento por el exterior de fachada con acabado de enfoscado (+XPS 30 mm)	26,98	91,77	2.475,95		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 78,99 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Pilares en esquina	Cumple CTE condensaciones superficiales (fRs= 0.61)			1.4 Sist. de aislamiento por el interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	48,50	31,14	1.510,29		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 2,53 €/m <sup>2</sup> (pintura interiores)
Puentes térmicos	Encuentro forjado - fachada	* =1,13 WmK / f=0,69	* = <b>1,13 WmK / f=0,69</b>						
	Esquina saliente	* =0,07 WmK / f=0,85	* = <b>0,07 WmK / f=0,85</b>						
	Esquina entrante	* =-0,12 WmK / f=0,94	* = <b>-0,12 WmK / f=0,94</b>						
	Pilar	* =1,2 WmK / f=0,6	* = <b>1,2 WmK / f=0,67</b>						
<b>PARTICIONES INTERIORES</b>							<b>62.699,91</b>	<b>6,73</b>	
Partición interior (vivienda-espacios comunes)	Cumple CTE (1,2 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,68</b>	1.4 Sist. de aislamiento por el interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	1.138,08	31,14	35.439,81		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 2,53 €/m <sup>2</sup> (pintura interiores)
Partición interior (vivienda-espacios comunes)	Cumple CTE (1,2 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,68</b>	1.4 Sist. de aislamiento por el interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	510,68	53,38	27.260,10		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 24,77 €/m <sup>2</sup> (alicatado)
<b>SUELOS</b>							<b>33.614,33</b>	<b>3,61</b>	
Forjado de viviendas de pb con garaje	Cumple CTE (0,64 W/m <sup>2</sup> K / 0,49 W/m <sup>2</sup> K)	0,68	<b>0,39</b>	3. Sist. de aislamiento por el interior de suelo con techo suspendido (+LM 30 mm)	1.197,75	22,43	26.865,53		
Forjado de espacios comunes de pb con garaje	Cumple CTE (0,64 W/m <sup>2</sup> K / 0,49 W/m <sup>2</sup> K)	0,70	<b>0,40</b>	3. Sist. de aislamiento por el interior de suelo con techo suspendido (+LM 30 mm)					
Suelo de planta 1 en contacto con el exterior	Cumple CTE (0,64 W/m <sup>2</sup> K / 0,49 W/m <sup>2</sup> K)	0,68	<b>0,47</b>	3. Sist. de aislamiento por el interior de suelo con techo suspendido (LM 50 mm)	160,00	42,18	6.748,80		5,81 €/m <sup>2</sup> (demolición f.t.) + 24,82 €/m <sup>2</sup> (techo) + 11,55 €/m <sup>2</sup> (pintura exteriores)
Puentes térmicos	Encuentro suelo exterior - fachada	* =1,11 WmK / f=0,69	* = <b>1,25 WmK / f=0,71</b>						
<b>HUECOS (31%-40% huecos)</b>							<b>446.159,39</b>	<b>47,88</b>	
Marco		5,70		4.5 Colocación de ventana exterior a la existente (marco PVC 2,2 W/m <sup>2</sup> K, 4-8-6 3 W/m <sup>2</sup> K g=0,75)	1.974,52		408.350,47		
Vidrio (3,5 W/m <sup>2</sup> K)				4.2 Sustitución de puertas (marco PVC 2,2 W/m <sup>2</sup> K, 4-9-4 2,3 W/m <sup>2</sup> K g=0,70)					
	N (2,2 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75)	<b>1,5 (g= 0,64)</b>						
	S (3,4 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75)	<b>1,5 (g= 0,64)</b>						
	E-O (2,6 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75) 4,43 (g= 0,79) 4,05 (g= 0,77)	<b>1,5 (g= 0,64) 1,66 (g= 0,67) 1,58 (g= 0,65)</b>						
Puentes térmicos	Huevo ventana	* =0,15 WmK / f=0,4	* = <b>0,15 WmK / f=0,61</b>						
Persianas venecianas en galerías					690,70	54,74	37.808,92		
Toldos				No se modifica					
<b>VENTILACIÓN</b>							<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
		0,9 ren/h	<b>0,9 ren/h</b>	No se modifica			0,00		
<b>TOTAL (€)</b>							<b>662.805,90</b>		
<b>€/m<sup>2</sup>c (2)</b>							<b>71,14</b>		

(1) Ver Tabla Resumen de resultados de las medidas de mejora de la envolvente

(2) Superficie construida sobre rasante= 9317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 27. Tabla resumen envolvente E1: medidas seleccionadas para que la envolvente cumpla el DB-HE 1

## **9.2 Envolverte mejorada (E2)**

Las medidas consideradas para la envolvente mejorada E2 son:

1. Mejorar la transmitancia de las cubiertas y las terrazas de la planta ático mediante el aumento por el exterior del aislamiento con paneles de poliestireno extruido de 80 mm, hasta llegar a 120 mm de espesor.

2. Mejorar la transmitancia de las fachadas:

- Fachadas de ladrillo visto, con acabado de mortero o de arenisca (vivienda de planta baja): sistema de aislamiento por el exterior, con 80mm de poliestireno extruido, con acabado de enfoscado.
- Fachada de planta baja en contacto con espacios comunes: sistema de aislamiento por el exterior, con 80mm de poliestireno extruido, con acabado de enfoscado.
- Cerramientos en contacto con los tendederos de la fachada oeste: aislar mediante un sistema de aislamiento por el exterior, con 60mm de poliestireno extruido, con acabado de enfoscado.

3. Mejorar la transmitancia de las particiones interiores que limitan las viviendas con las zonas comunes no calefactadas, con un trasdosado autoportante con 45 mm de lana mineral.

4. Mejorar la transmitancia del suelo de la planta primera en contacto con el exterior mediante un techo suspendido con 80 mm lana mineral en su interior.

5. Mejorar la transmitancia del forjado de planta baja en contacto con el espacio no habitable del sótano mediante un techo suspendido con aislamiento interior de lana mineral de 80 mm de espesor.

6. Añadir una ventana exterior a las existentes, con un marco de PVC de tres cámaras (1,8 W/m<sup>2</sup>K) y un vidrio bajo emisivo 4-16-4 (1,4 W/m<sup>2</sup>K, g=0,59). En los casos que no sea posible colocar una nueva carpintería exterior (miradores, puerta de acceso al portal) sustituir la carpintería existente por una con marco de PVC de tres cámaras (1,8 W/m<sup>2</sup>K) y un vidrio bajo emisivo 4-16-4 (1,4 W/m<sup>2</sup>K, g=0,59).

Con estas medidas se consigue que el edificio tenga una calificación energética C (14,5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

ENVOLVENTE 2: Envolverte mejorada CALIFICACIÓN ENERGÉTICA C (14,5 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Objetivo	U (W/m <sup>2</sup> K)		Medidas (1)	Presupuesto				Detalles del presupuesto
		Existente	Propuesta		Superficie (m <sup>2</sup> )	€/m <sup>2</sup>	€	€/m <sup>2</sup> (2)	
<b>CUBIERTAS</b>									
Cubierta invertida con acabado de grava (Cubierta ático)	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,56	<b>0,24</b>	2.2 Sist. aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 80 mm)	934,20	37,59	35.116,58		5,61 €/m <sup>2</sup> (demolición) + 31,98 €/m <sup>2</sup> (rehabilitación)
Cubierta invertida con acabado de gres (Terrazas ático)	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,56	<b>0,24</b>	2.2 Sist. aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida (+XPS 80 mm)	349,53	64,00	22.369,92		11,67 €/m <sup>2</sup> (demolición) + 52,33 €/m <sup>2</sup> (rehabilitación)
Puentes térmicos	Encuentro cubierta - fachada	* =0,82 WmK / f=0,60	* =0,48 WmK / f=0,70						
<b>FACHADAS</b>									
Fachada de ladrillo	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,55	<b>0,24</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	3.372,59	89,61	302.217,79		89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada de viviendas de planta baja	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,55	<b>0,24</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	104,20	103,57	10.791,99		13,96 €/m <sup>2</sup> (demolición chapado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada de viviendas de planta ático	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,54	<b>0,24</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	201,65	103,57	20.884,89		13,96 €/m <sup>2</sup> (demolición chapado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada de espacios comunes de planta baja	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	2,45	<b>0,36</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	146,20	103,57	15.141,93		13,96 €/m <sup>2</sup> (demolición chapado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada tendadero (Muro de la escalera)	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	2,82	<b>0,37</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	235,15	102,39	24.077,01		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada tendadero (Muro del ascensor)	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,37</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	500,81	102,39	51.277,94		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Fachada tendadero (Muro de cocinas)	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,37</b>	1.2 Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 80 mm)	26,98	102,39	2.762,48		12,78 €/m <sup>2</sup> (demolición enfoscado) + 89,61 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Puentes térmicos	Encuentro forjado - fachada	* =1,13 WmK / f=0,69	* =0,19 WmK / f=0,93						
	Esquina saliente	* =0,07 WmK / f=0,85	* =0,08 WmK / f=0,91						
	Esquina entrante	* =-0,12 WmK / f=0,94	* =-0,10 WmK / f=0,98						
	Pilar	* =1,2 WmK / f=0,6	* =0,11 WmK / f=0,87						
<b>PARTICIONES INTERIORES</b>									
Partición interior (vivienda-espacios comunes)	Mejora CTE (1,2 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,53</b>	1.4 Sist. aislamiento interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	1.138,08	31,14	35.439,81		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 2,53 €/m <sup>2</sup> (pintura interiores)
Partición interior (vivienda-espacios comunes)	Mejora CTE (1,2 W/m <sup>2</sup> K)	2,70	<b>0,53</b>	1.4 Sist. aislamiento interior fachada con trasdosado autoportante (+LM 45 mm)	510,68	53,38	27.260,10		28,61 €/m <sup>2</sup> (trasdosado) + 24,77 €/m <sup>2</sup> (alicatado)
<b>SUELOS</b>									
Forjado de viviendas de pb con garaje	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,68	<b>0,25</b>	3. Sist. aislamiento interior suelo con techo suspendido (+LM 80 mm)					
Forjado de espacios comunes de pb con garaje	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,70	<b>0,26</b>	3. Sist. aislamiento interior suelo con techo suspendido (+LM 80 mm)	1.197,75	27,86	33.369,32		
Suelo de planta 1 en contacto con exterior	(0,25 W/m <sup>2</sup> K)	0,68	<b>0,34</b>	3. Sist. aislamiento interior suelo con techo suspendido (LM 80 mm)	160,00	45,22	7.235,20		5,81 €/m <sup>2</sup> (demolición f.t.) + 27,86 €/m <sup>2</sup> (techo) + 11,55 €/m <sup>2</sup> (pintura exteriores)
	Forrado de viga			1. Sist. aislamiento por el exterior de fachada acabado enfoscado (+XPS 30 mm)	51,00	78,99	4.028,49		78,99 €/m <sup>2</sup> (ETICS)
Puentes térmicos	Encuentro suelo ext - fachada	* =1,11 WmK / f=0,69	* =0,53 WmK / f=0,84						
<b>HUECOS (31%-40% huecos)</b>									
Marco		5,70		4.6 Añadir ventana exterior (marco PVC 1,8 W/m <sup>2</sup> K, 4-16-4 1,4 W/m <sup>2</sup> K g=0,59)	1.974,52		419.283,31		
Vidrio (3,5 W/m <sup>2</sup> K)				4.3 Sustituir puerta (marco PVC 1,8 W/m <sup>2</sup> K, 4-16-4 1,4 W/m <sup>2</sup> K g=0,59)					
	N (2,2 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75)	<b>0,95 (g= 0,50)</b>						
	S (3,4 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75)	<b>0,95 (g= 0,50)</b>						
	E-O (2,6 W/m <sup>2</sup> K)	3,67 (g= 0,75) 4,43 (g= 0,79) 4,05 (g= 0,77)	<b>0,95 (g= 0,50) 1,03 (g= 0,52) 0,99 (g= 0,51)</b>						
Puentes térmicos	Hueco ventana	* =0,15 WmK / f=0,4	* =0,18 WmK / f=0,61						
Toldos			fs E/O: 0,08 S: 0,05	5.1 Colocación de toldos opacos	1.698,56		231.887,71		
<b>VENTILACIÓN</b>									
		0,9 ren/h	<b>0,9 ren/h</b>	No se modifica					
					<b>TOTAL (€)</b>		<b>1.239.115,98</b>		
					<b>€/m<sup>2</sup> (2)</b>		<b>132,99</b>		

(1) Ver Tabla Resumen de resultados de las medidas de mejora de la envolvente

(2) Superficie construida sobre rasante= 9317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 28. Tabla resumen de medidas que definen la envolvente E2: Envolverte mejorada

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 9.3 Comparación de resultados de las envolventes

	EDIFICIO EXISTENTE	ENVOLVENTE DB-HE1 (E1)	ENVOLVENTE MEJORADA (E2)
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>29,4 E</b>	<b>23,2 D</b>	<b>14,5 C</b>
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	73,3	49,2	31,1
<b>VARIACIÓN DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,0%</b>	<b>-32,9%</b>	<b>-57,6%</b>
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )	13,1	14,4	3,8
<b>VARIACIÓN DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,0</b>	<b>9,9%</b>	<b>-71,0%</b>
DEMANDA ACS (kWh/m <sup>2</sup> )	17,9	17,9	17,9
<b>DEMANDA TOTAL (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>104,3</b>	<b>81,5</b>	<b>52,8</b>
EMISIONES CO <sub>2</sub> CALEFACCIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	20,3	13,6	8,9
EMISIONES CO <sub>2</sub> REFRIGERACIÓN (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5,0	5,5	1,5
EMISIONES CO <sub>2</sub> ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	4,1	4,1	4,1
<b>COSTE (€/m<sup>2</sup>c sobre rasante)(1)</b>	<b>0,00</b>	<b>71,14</b>	<b>132,99</b>

(1) Superficie construida sobre rasante= 9317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 29. Tabla comparativa de resultados de las envolventes

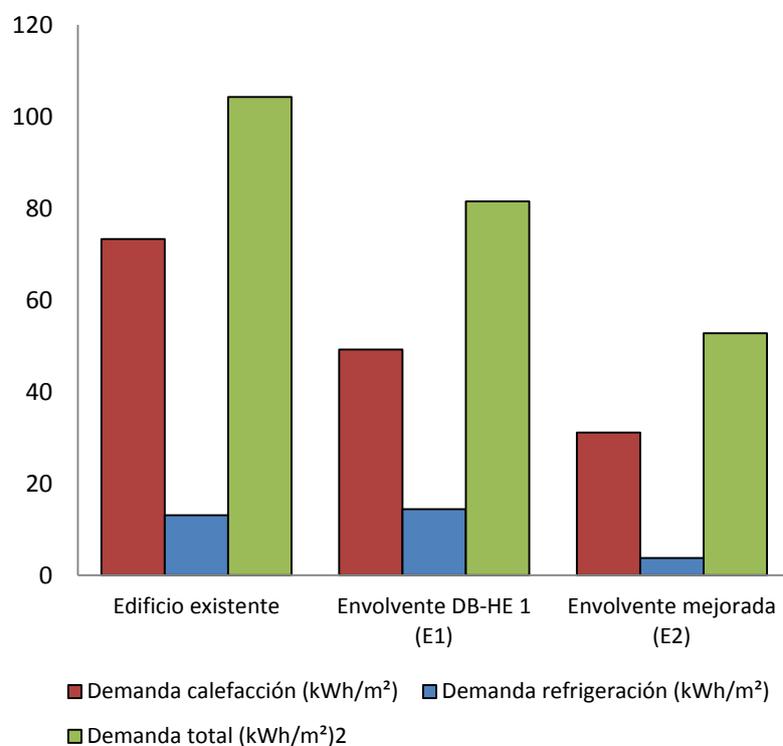


Gráfico 12. Variación de la demanda en las envolventes

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

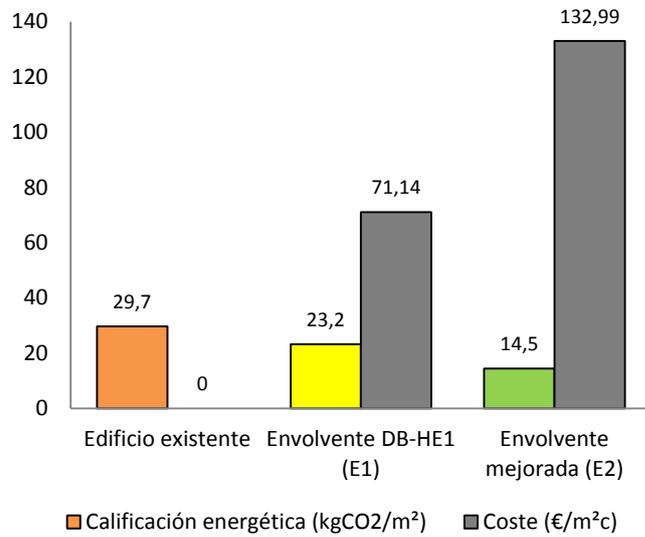


Gráfico 13. Relación entre la calificación energética y el coste de las envolventes

---

## 10. CATALOGACIÓN DE MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

En este apartado se aplicarán al edificio, con las hipótesis de envolventes ya definidas (E1, envolvente que cumple CTE, y E2, envolvente que supera los mínimos CTE), diversos sistemas energéticos y se utilizarán energías renovables. Los equipos energéticos existentes en el edificio serán sustituidos por otros más eficientes y se instalarán sistemas con energías renovables.

La mejora de la eficiencia de los sistemas energéticos se consigue mediante la sustitución de los equipos existentes por otros más eficientes y con la utilización de energías renovables.

Para evaluar esta mejora se siguen los siguientes pasos:

- La selección, para su evaluación, de sistemas energéticos convencionales, de uso habitual en edificios residenciales, y que se adaptan a las características del edificio de estudio y su zona climática.
- El dimensionamiento de las instalaciones y sus presupuestos correspondientes para el edificio de estudio, que han sido realizados por Gas Natural Fenosa y Uponor. Se han ignorado o desestimado algunas limitaciones del edificio para no condicionar los resultados, y que se puedan impedir extrapolar conclusiones a otros edificios similares. Estas limitaciones son: considerar que en la cubierta existe espacio suficiente para la instalación de los colectores solares necesarios para cumplir el CTE; la existencia de espacio suficiente para el paso de las conducciones a través de los patinillos; y la colocación de los contadores en las plantas.
- La evaluación, con Calener VyP, del edificio con los sistemas energéticos seleccionados y la opción de envolvente E1, que cumple el DB-HE1.
- La evaluación, con Calener VyP, del edificio con los sistemas energéticos seleccionados y la opción de envolvente E2, que mejora los cumplimientos mínimos del CTE.

En total se han estudiado 13 sistemas energéticos. En sistemas de calefacción y ACS (agua caliente sanitaria) han sido analizados tres sistemas individuales y cuatro centralizados. En sistemas energéticos que comprenden calefacción, refrigeración y ACS, se han estudiado dos sistemas individuales y cuatro centralizados. Se describen a continuación.

### 10.1 Características de los sistemas energéticos seleccionados

#### 10.1.1 Equipos

Los equipos que se instalan en los nuevos sistemas energéticos son:

##### Caldera individual de condensación

- Potencia nominal: 30 kW
- Rendimiento sobre el P.C.I. a 80°C/60°C: 98,3%
- Rendimiento con carga parcial (30%) sobre el P.C.I. a 40°C/30°C: 109,2%

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

- Combustible: gas natural

### Caldera colectiva de condensación

- Potencia nominal: 300 kW
- Rendimiento sobre el P.C.I. a 75°C/60°C: 95,7%
- Rendimiento con carga parcial (30%) sobre el P.C.I. a 40°C/30°C: 109,7%
- Combustible: gas natural

### Caldera colectiva de condensación

- Potencia nominal: 215 kW
- Rendimiento sobre el P.C.I. a 75°C/60°C: 95,6%
- Rendimiento con carga parcial (30%) sobre el P.C.I. a 40°C/30°C: 109,6%
- Combustible: gas natural

### Equipo de microgeneración

- Potencia eléctrica: 5,5 kW<sub>e</sub>
- Rendimiento eléctrico: 27%
- Potencia térmica: 12,5 kW<sub>t</sub>
- Rendimiento térmico: 61%
- Rendimiento global: 88%
- Combustible: gas natural

### Caldera colectiva de biomasa

- Potencia nominal: 135 kW / 450 kW
- Rendimiento: 90%
- Combustible: biomasa (pellets)

### Equipo de expansión directa con conductos (vivienda 2 dormitorios/ 3 dormitorios)

- Potencia total de refrigeración nominal: 7,1 kW / 10 kW
- Potencia sensible de refrigeración nominal: 5,9 kW / 8,3 kW
- Rendimiento frío (EER): 3
- Caudal interior: 1.500 m<sup>3</sup>/h / 2040 m<sup>3</sup>/h
- Combustible: electricidad

### Enfriadora eléctrica individual

- Potencia refrigeración: 7,9 kW
- Rendimiento refrigeración (Ti=15°C, Tr=20°C): 3,9
- Combustible: electricidad

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

### Enfriadora eléctrica centralizada

- Potencia refrigeración: 255 kW
- Rendimiento refrigeración (Ti=15°C, Tr=20°C): 3,78
- Combustible: electricidad

### Bomba de calor eléctrica centralizada

- Potencia calefacción: 407 kW
- Potencia refrigeración: 392 kW
- Rendimiento calefacción (Ti=40°C, Tr=30°C): 3,86
- Rendimiento refrigeración (Ti=15°C, Tr=20°C): 3,72
- Combustible: electricidad

### Bomba de calor de gas natural centralizada

- Potencia calefacción: 100 kW (106 kW baja temperatura)
- Potencia refrigeración: 90 kW
- Rendimiento calefacción: 1,35
- Rendimiento refrigeración: 1,37 (1,85 incluyendo ACS)
- Combustible: gas natural

### Depósito acumulador de ACS

- Volumen: 1500 l

## 10.1.2 Emisores

Los radiadores de aluminio, que son los emisores existentes, se mantienen en los casos en los que no se instala suelo radiante. La temperatura de impulsión del agua es de 80°C.

El suelo radiante se coloca en instalaciones individuales y colectivas, y tanto para calefacción como para calefacción y refrigeración. El sistema es especial para reformas, con una autofijación de bajo perfil. El agua circula, en torno a 40°C en invierno y 15°C en verano, por un circuito cerrado de tuberías de polietileno. Sobre él se extiende una capa de mortero autonivelante de 2,5 cm cemento, acabado con pavimento cerámico.

Los sistemas de suelo radiante proporcionan un mayor confort térmico, debido a:

- La ausencia de corrientes de aire.
- La homogeneidad de temperaturas.
- La ausencia de ruidos.
- Son saludables e higiénicos.
- No se produce estratificación de las temperaturas.

Permite además disponer de una mayor superficie útil, ya que no requiere de ningún elemento emisor.

La instalación de suelo radiante tienen como inconvenientes: las molestias a los inquilinos cuando la vivienda está habitada, la solución de encuentros (rodapiés, puertas, etc.), y la reducción de la altura libre de la vivienda.

### 10.2 Energías renovables

Se valora la incorporación de energías renovables en la rehabilitación energética del edificio.

- Solar térmica: se calcula la colocación de paneles solares térmicos en cubierta para cubrir el 70% de la demanda de ACS, el porcentaje para el cumplimiento del DB-HE4.
- Solar fotovoltaica: no se considera.
- Biomasa: se estudia la instalación de una caldera de biomasa en el edificio en un sistema colectivo de calefacción y ACS.
- Pequeña eólica: no se contempla su utilización porque no es una opción madura, falta legislación específica, y es difícil de evaluar.
- Geotermia: la ocupación del edificio en planta es del 75% de la parcela. El resto del espacio son terrazas y acceso a las viviendas, por lo que no sería posible excavar pozos.

#### 10.2.1 Instalación solar térmica

La instalación solar ha sido calculada por Gas Natural Fenosa. Es una instalación centralizada, en la que el fluido térmico se distribuye hasta las viviendas, en paralelo a la actual red de AFCH, donde por medio de un kit solar se transfiere la energía térmica captada en los colectores al sistema de ACS.

La distribución se realiza en un circuito cerrado a través de los patinillos, mediante un montante vertical (ida y retorno) del que parten derivaciones horizontales hacia cada vivienda. Esta configuración evita pérdidas en el sistema (en comparación con los montantes independientes por el patinillo hacia cada casa) pero impide la centralización de contadores en planta baja (junto los actuales de AFCH).

El sistema consta de: un primario solar presurizado con colectores planos, y depósito de inercia con bypass por válvula de tres vías y disipador térmico con válvula de tres vías. El sistema primario cede calor al sistema de acumulación de 18.000 litros por medio de un intercambiador de placas. En la sala técnica se instalan el intercambiador y los 3 depósitos de 6.000 litros.

El cálculo del número de colectores y del volumen de acumulación se realiza mediante una simulación con el programa ACSOL. Se necesitan, para el cumplimiento del DB-HE4, 100 colectores planos (con inclinación con respecto a la horizontal de 45° y 0° con respecto al sur) con una superficie total de captación de 250 m<sup>2</sup>, que se sitúan en la cubierta junto con el

aerodisipador.

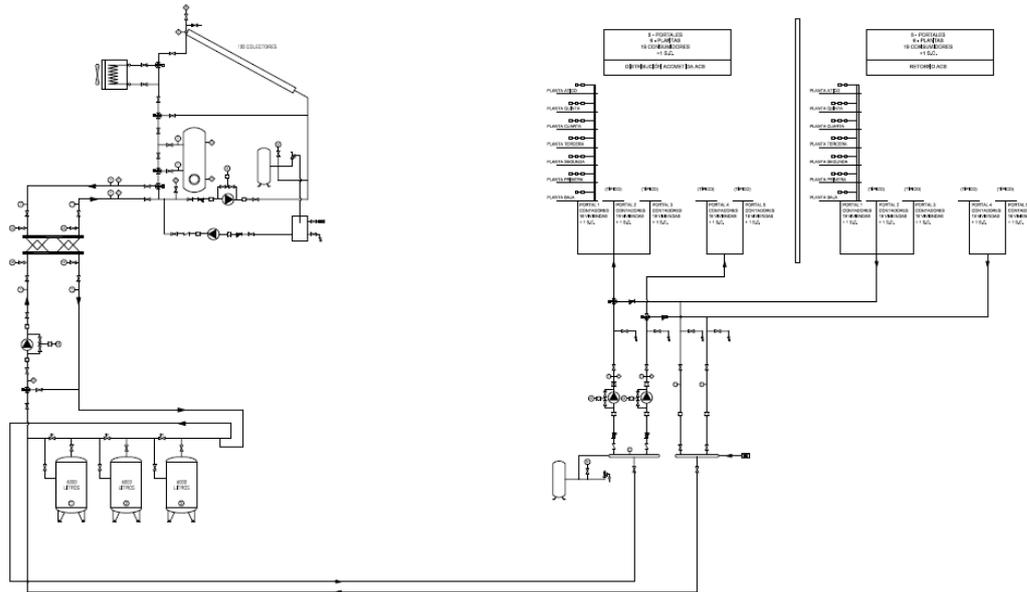


Imagen 21. Esquema del sistema 2, con instalación solar

La instalación propuesta cubre el 70,18% del calor requerido para el sistema de ACS, y cumple con los requerimientos del CTE.

### 10.3 Presupuestos de los sistemas energéticos

Los presupuestos de los sistemas han sido facilitados por Gas Natural Fenosa y Uponor.

Los precios de los sistemas, con fecha de referencia 2012, se calculan sobre el edificio de estudio e incluyen: la instalación solar, cuando existe; la instalación de equipos; la distribución de calefacción, ACS y refrigeración, tanto en el edificio como en la vivienda; la instalación de suelo radiante y pavimento, cuando exista; el control de la instalación, la puesta en marcha y el manual de instrucciones y normas de seguridad, según la ITE 06 del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas). No incluyen gestión de residuos, recibidos, obras y ayudas de albañilería, remates o detalles constructivos específicos, adecuación de espacios no previstos en el edificio actual, andamiaje, depósitos especiales, etc., ni impuestos.

Anexo 2. Presupuestos de los sistemas energéticos

## **10.4 Sistemas energéticos seleccionados**

Se estudian dos tipos de instalaciones: para producción de calefacción y ACS; y para calefacción, refrigeración y ACS.

### **10.4.1 Calefacción y ACS**

Individuales

**Sistema 1: Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera estándar de gas natural, con acumulador integrado y radiadores de aluminio. Es el existente en el edificio.**

- Equipos: Caldera estándar de gas natural
  - Potencia nominal: 27,6 kW
  - Rendimiento nominal: 0,91
  - Acumulador integrado: 43 l
- Temperatura de impulsión de calefacción: 80°C
- Fracción de producción de ACS cubierta por energía solar: 0%

**Sistema 2: Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y los radiadores de aluminio existentes. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 470.521,88 €; 50,50 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: Caldera individual de condensación (30 kW)
- Temperatura de impulsión de calefacción: 80°C

**Sistema 3: Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 863.322,91 €; 92,66 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: Caldera individual de condensación (30 kW)
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C

Centralizados

**Sistema 4: Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera condensación de gas natural y los radiadores de aluminio existentes. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 567.400,35 €; 60,90 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 80°C

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

**Sistema 5: Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera condensación de gas natural y suelo radiante. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 977.191,30 €, 104,88 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C

**Sistema 6: Sistema de calefacción centralizado con caldera condensación de gas natural y suelo radiante y sistema de producción de ACS con equipo de microgeneración.**

- Presupuesto: 841.348,57 €, 90,30 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente, 2 equipos de microgeneración.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C
- Fracción de producción de ACS cubierta por energía solar: 0%

El funcionamiento anual de la instalación de microgeneración se ha simulado mediante el programa ASTER. En la tabla 30 se recogen los resultados del balance energético: las producciones y aprovechamientos térmicos de la cogeneración.

RESULTADOS OPERACIÓN PLANTA COGENERACIÓN		
Horas de funcionamiento anual (HEPC)	8.322	horas
BALANCE DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA		
Energía eléctrica generada	91,54	MWhe
Energía eléctrica entregada/exportada a la red	88,90	MWhe

BALANCE DE PRODUCCIÓN TÉRMICA		
Calor aprovechable	194,32	MWht
Calor entregado al Edificio	163,43	MWht
Consumo de combustible (GN PCI)	359,55	MWht GN PCI
Consumo de combustible (GN PCS)	397,73	MWht GN PCS

Tabla 30. Resultados previstos para la planta de cogeneración proyectada

La calificación energética final se obtiene mediante la herramienta CertCHP, ya que Calener VyP no calcula equipos de microgeneración.

**Sistema 7: Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de biomasa y suelo radiante.**

- Presupuesto: 1.048.967,40 €; 112,58 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de biomasa colectivas (135 kW + 450 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C

#### **10.4.2 Calefacción, refrigeración y ACS**

Individuales

**Sistema 8: Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y los radiadores de aluminio existentes, y refrigeración con equipos de expansión directa y conductos. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 822.034,88 €; 88,22 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: Caldera individual de condensación (30 kW), equipos de expansión directa para viviendas de 2 y 3 dormitorios.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 80°C

**Sistema 9: Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante, y refrigeración mediante enfriadora y suelo radiante para refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 1.097.496,71 €; 117,79 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: Caldera individual de condensación (30 kW), enfriadora eléctrica individual (equipo de rendimiento constante).
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C

Centralizados

**Sistema 10: Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de condensación de gas natural y los radiadores de aluminio existentes, y refrigeración individual con equipos de expansión directa y conductos. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 918.913,35 €; 98,62 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente, equipos de expansión directa para viviendas de 2 y 3 dormitorios.
- Temperatura de impulsión de calefacción: 80°C

**Sistema 11: Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante, y refrigeración mediante enfriadora y suelo radiante para refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 1.090.720,18 €; 117,06 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente, enfriadora eléctrica colectiva (equipo de rendimiento constante).
- Temperatura de impulsión de calefacción: 40°C

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

**Sistema 12: Sistema centralizado de producción de ACS y apoyo de calefacción con caldera de condensación de gas natural, calefacción y refrigeración con bomba de calor eléctrica y suelo radiante para calefacción y refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS.**

- Presupuesto: 1.114.171,42 €; 119,58 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: 2 calderas de condensación colectivas (300 kW + 300 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente, bomba de calor eléctrica centralizada para calefacción y refrigeración (equipo de rendimiento constante).

Calener VyP no permite considerar el sistema de apoyo de calefacción. Se ha obtenido la calificación energética sin este sistema, y posteriormente se han realizado los cálculos a partir de los archivos de resultados de Calener, considerando que la caldera de condensación cubre el 10% de la demanda de calefacción.

**Sistema 13: Sistema centralizado de producción de calefacción, refrigeración y ACS con bomba de calor de gas natural y suelo radiante para calefacción y refrigeración. Sistema de apoyo de ACS.**

- Presupuesto: 1.008.962,88 €; 108,29 €/m<sup>2</sup>construido sobre rasante.
- Equipos: caldera de condensación colectiva (215 kW), 2 depósitos de 1500 l para acumulación de agua caliente, bomba de calor de gas natural centralizada para calefacción y refrigeración (equipo de rendimiento constante).

La bomba de calor a gas dispone de un calor residual aprovechable de refrigeración del motor endotérmico. Se considera que el calor recuperado de las camisas de la bomba cubre el 92% de las necesidades de ACS, que equivale a que la caldera de apoyo funcione durante un mes al año. Las siguientes gráficas representan el calor aprovechable con camisas, considerado como residual y que sustituiría el calor a cubrir por la instalación solar térmica.

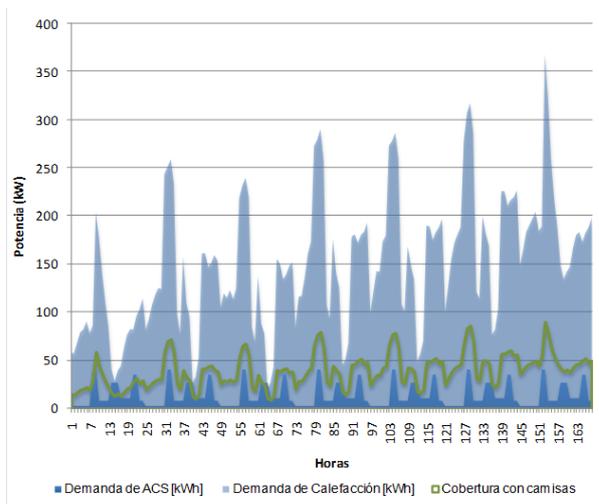


Imagen 22. Cobertura con refrigeración camisas (semana tipo invierno) (Fuente: Gas Natural Fenosa)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

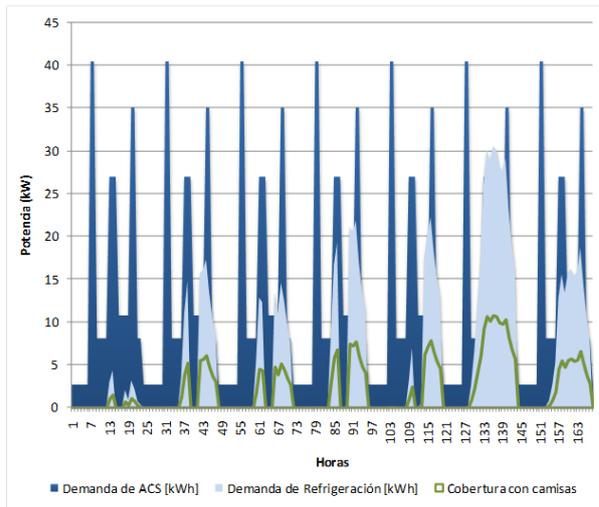


Imagen 23. Cobertura con refrigeración camisas (semana tipo verano) (Fuente: Gas Natural Fenosa)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 10.5 Resumen de resultados

Sistemas energéticos		Emisiones CO2				Consumo					Costes					
		Edificio existente	Edificio envolvente CTE		Edificio envolvente mejorada		Edificio existente	Edificio envolvente CTE		Edificio envolvente mejorada	Presupuesto (2)		Edificio envolvente CTE	Edificio envolvente mejorada		
Descripción		Calificación energética (kgCO2/m²)	Calificación energética (kgCO2/m²)	Reducción emisiones (kgCO2/m²) (1)	Calificación energética (kgCO2/m²)	Reducción emisiones (kgCO2/m²) (1)	Consumo energía final (kWh/m²)	Consumo energía final (kWh/m²)	Ahorro energía final (kWh/m²) (1)	Consumo energía final (kWh/m²)	Ahorro energía final (kWh/m²) (1)	€	€/m² (3)	Repercusión del coste de intervención (€/kWh energía ahorrada (kWh/m²))	Repercusión del coste de intervención (€/kWh energía ahorrada (kWh/m²))	
Sistemas de producción de calefacción y ACS	Sistema01 (Existente)	Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera estándar de gas natural con acumulador integrado y radiadores de aluminio	29,4 E	23,2 D	0,0	14,5 C	0,0	118,2	90,1	0,0	62,7	0,0	0,00	0,00	-	-
	Sistema02	Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y radiadores de aluminio (existentes). Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		18,4 D	4,8	10,2 B	4,3		66,8	23,4	42,0	20,7	470.521,88	50,50	20.110,11	22.756,42
	Sistema03	Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		17,4 D	5,8	9,5 B	5,0		62,1	28,0	38,8	23,9	863.322,91	92,66	30.793,44	36.093,87
	Sistema04	Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera condensación de gas natural y radiadores de aluminio (existentes). Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		18,6 D	4,6	10,6 B	3,9		68,0	22,2	43,9	18,8	567.400,35	60,90	25.596,26	30.216,45
	Sistema05	Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera condensación de gas natural y suelo radiante. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		17,5 D	5,7	9,8 B	4,7		62,1	28,0	39,7	23,0	977.191,30	104,88	34.882,74	42.497,84
	Sistema06	Sistema de calefacción centralizado con caldera condensación de gas natural y suelo radiante, y equipo de microgeneración para ACS		19,1 D	4,1	10,8 B	3,7		70,1	20,0	44,9	17,8	841.348,57	90,30	41.967,00	47.349,66
	Sistema07	Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de biomasa y suelo radiante		9,0 B	14,2	3,7 A	10,8		100,3	-10,1	70,7	-8,0	1.048.967,40	112,58	-103.815,94	-130.974,74
Sistemas de producción de calefacción, refrigeración y ACS	Sistema08	Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y radiadores de aluminio (existentes), y refrigeración con equipos de expansión directa y conductos. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		17,5 D	5,7	10,7 B	3,8		65,4	24,7	42,8	19,9	822.034,88	88,22	33.279,82	41.301,07
	Sistema09	Sistema mixto de calefacción y ACS individual con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante, y refrigeración mediante enfriadora y suelo radiante para refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		14,5 C	8,7	8,7 B	5,8		57,7	32,5	37,5	25,1	1.097.496,71	117,79	33.780,23	43.656,00
	Sistema10	Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de condensación de gas natural y radiadores de aluminio (existentes), y refrigeración individual con equipos de expansión directa y conductos. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		17,9 D	5,3	11,0 B	3,5		66,8	23,3	44,7	18,0	918.913,35	98,62	39.438,34	51.105,89
	Sistema11	Sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de condensación de gas natural y suelo radiante, y refrigeración mediante enfriadora y suelo radiante para refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		14,7 C	8,5	9,0 B	5,5		57,8	32,4	38,5	24,2	1.090.720,18	117,06	33.689,03	45.113,61
	Sistema12	Sistema centralizado de producción de ACS y apoyo de calefacción con caldera de condensación de gas natural, calefacción y refrigeración con bomba de calor eléctrica y suelo radiante para calefacción y refrigeración. Sistema de energía solar térmica que cubre el 70,2% de la demanda de ACS		14,3 C	8,9	8,4 B	6,1		35,5	54,6	22,8	39,9	1.114.171,42	119,58	20.394,30	27.925,47
	Sistema13	Sistema centralizado de producción de calefacción, refrigeración y ACS con bomba de calor de gas natural y suelo radiante para calefacción y refrigeración		11,8 C	11,4	6,8 B	7,7		52,0	38,2	30,3	32,4	1.008.962,88	108,29	26.418,21	31.134,07

(1) Las reducciones de emisiones y los ahorros energéticos se calculan respecto el sistema 01 para cada envolvente

(2) Precios de las partidas:

Fuentes: Gas Natural, Uponor, Generador de precios de rehabilitación de CYPE

Actualizados 2012

Incluyen: instalaciones, distribución, demolición y acabados. No incluyen: gestión de residuos, remates o detalles constructivos especiales, impuestos

(3) Superficie construida sobre rasante= 9317,56 m²

Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos con los diferentes sistemas energéticos

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

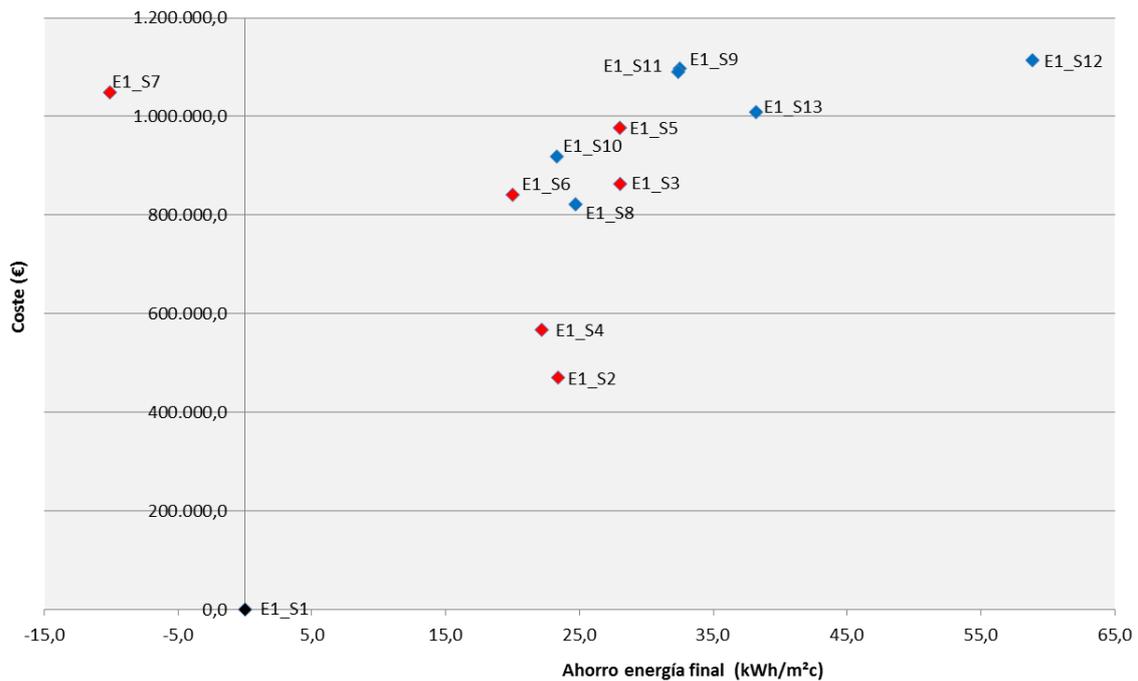


Gráfico 14. Relación entre el coste y el ahorro de energía final en los sistemas energéticos estudiados sobre el edificio con la envolvente E1

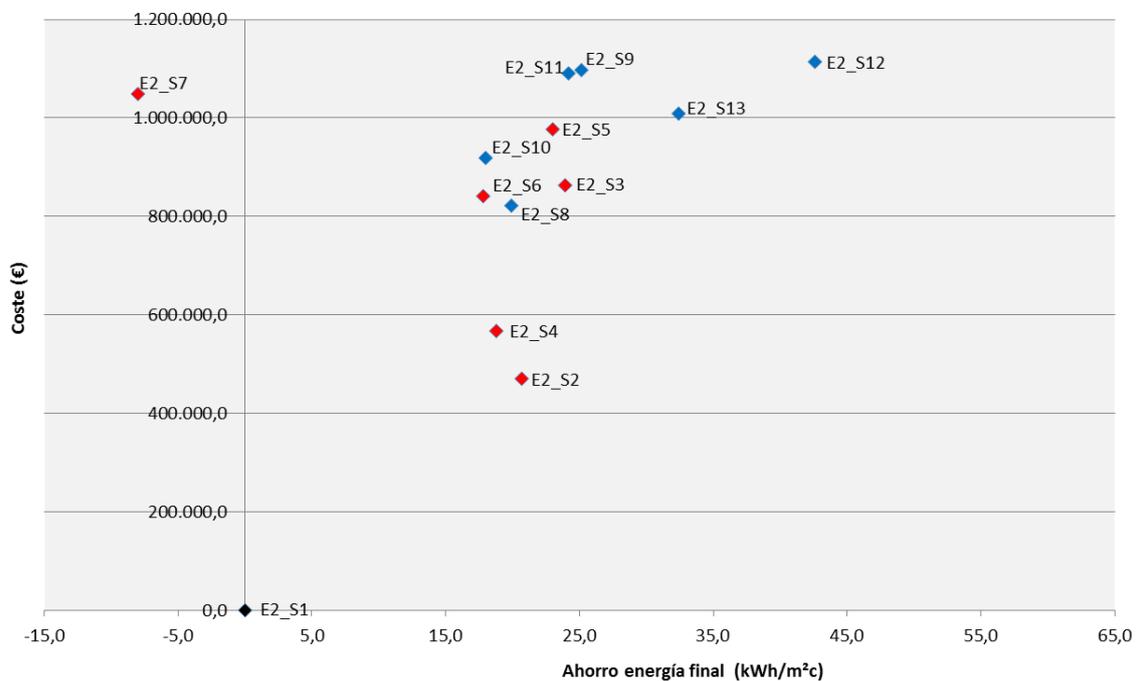


Gráfico 15. Relación entre el coste y el ahorro de energía final en los sistemas energéticos estudiados sobre el edificio con la envolvente E2

## **11. HIPÓTESIS DE CÁLCULO. RESULTADOS DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA**

### **11.1 Definición de las hipótesis de cálculo**

Las hipótesis de cálculo son 26, como resultado de la combinación de las dos envolventes, la E1, que cumple el DB HE-1, y la E2 (mejorada que supera los mínimos del CTE), y los trece sistemas energéticos, que incluyen el existente en el edificio. Las hipótesis se nombran con el tipo de envolvente, E1 o E2, y el número del sistema energético.

### **11.2 Calificaciones energéticas, demandas y coste de las medidas**

En la tabla 32 se indican los resultados de las calificaciones energéticas, las demandas de calefacción y refrigeración, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el coste de las actuaciones.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Edificio existente E0	E0_S01	E0_S02	E0_S03	E0_S04	E0_S05	E0_S06	E0_S07	E0_S08	E0_S09	E0_S10	E0_S11	E0_S12	E0_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>29,4</b>												
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	73,3												
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	13,1												
EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	17,9												
EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	20,3												
EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	5,0												
	<b>E</b>												

Edificio envolvente DB-HE1 (E1)	E1_S01	E1_S02	E1_S03	E1_S04	E1_S05	E1_S06	E1_S07	E1_S08	E1_S09	E1_S10	E1_S11	E1_S12	E1_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>23,2</b>	<b>18,4</b>	<b>17,4</b>	<b>18,6</b>	<b>17,5</b>	<b>19,1</b>	<b>9,0</b>	<b>17,5</b>	<b>14,5</b>	<b>17,9</b>	<b>14,7</b>	<b>14,3</b>	<b>11,8</b>
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2	49,2
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	13,6	11,9	11,0	12,0	11,0	11,0	3,5	11,9	11,0	12,1	11,0	10,4	9,6
EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	4,7	2,6	4,7	2,7	2,7	1,9
EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	4,1	1,0	0,9	1,1	1,0	2,6	0,0	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1	0,3
	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
COSTE DE LAS MEDIDAS (€/m <sup>2</sup> )	71,14	121,64	163,80	132,04	176,02	161,44	183,72	159,36	188,93	169,76	188,20	190,72	179,43
INCREMENTO COSTE RESPECTO E1_S01 (€/m <sup>2</sup> )	0,0	50,5	92,7	60,9	104,9	90,3	112,6	88,2	117,8	98,6	117,1	119,6	108,3
INCREMENTO COSTE RESPECTO E1_S01 (%)	0,0%	71,0%	130,2%	85,6%	147,4%	126,9%	158,3%	124,0%	165,6%	138,6%	164,5%	168,1%	152,2%

Edificio envolvente mejorada (E2)	E2_S01	E2_S02	E2_S03	E2_S04	E2_S05	E2_S06	E2_S07	E2_S08	E2_S09	E2_S10	E2_S11	E2_S12	E2_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>14,5</b>	<b>10,2</b>	<b>9,5</b>	<b>10,6</b>	<b>9,8</b>	<b>10,8</b>	<b>3,7</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>8,4</b>	<b>6,8</b>
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
EMISIONES CO2 CALEFACCIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	8,9	7,7	7,1	8,0	7,3	6,8	2,2	7,7	7,1	8,0	7,3	6,6	6,1
EMISIONES CO2 REFRIGERACIÓN (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	0,7	2,0	0,7	0,7	0,5
EMISIONES CO2 ACS (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	4,1	1,0	0,9	1,1	1,0	2,5	0,0	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1	0,3
	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
COSTE DE LAS MEDIDAS (€/m <sup>2</sup> )	132,99	183,49	225,65	193,89	237,87	223,29	245,57	221,21	250,78	231,61	250,05	252,57	241,28
INCREMENTO COSTE RESPECTO E1_S01 (€/m <sup>2</sup> ) (1)	0,0	50,5	92,7	60,9	104,9	90,3	112,6	88,2	117,8	98,6	117,1	119,6	108,3
INCREMENTO COSTE RESPECTO E1_S01 (%)	0,0%	38,0%	69,7%	45,8%	78,9%	67,9%	84,7%	66,3%	88,6%	74,2%	88,0%	89,9%	81,4%

(1) Superficie construida sobre rasante = 9.317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 32. Resultados: Calificación energética, demandas energéticas, emisiones de CO2 y coste de las 26 hipótesis

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

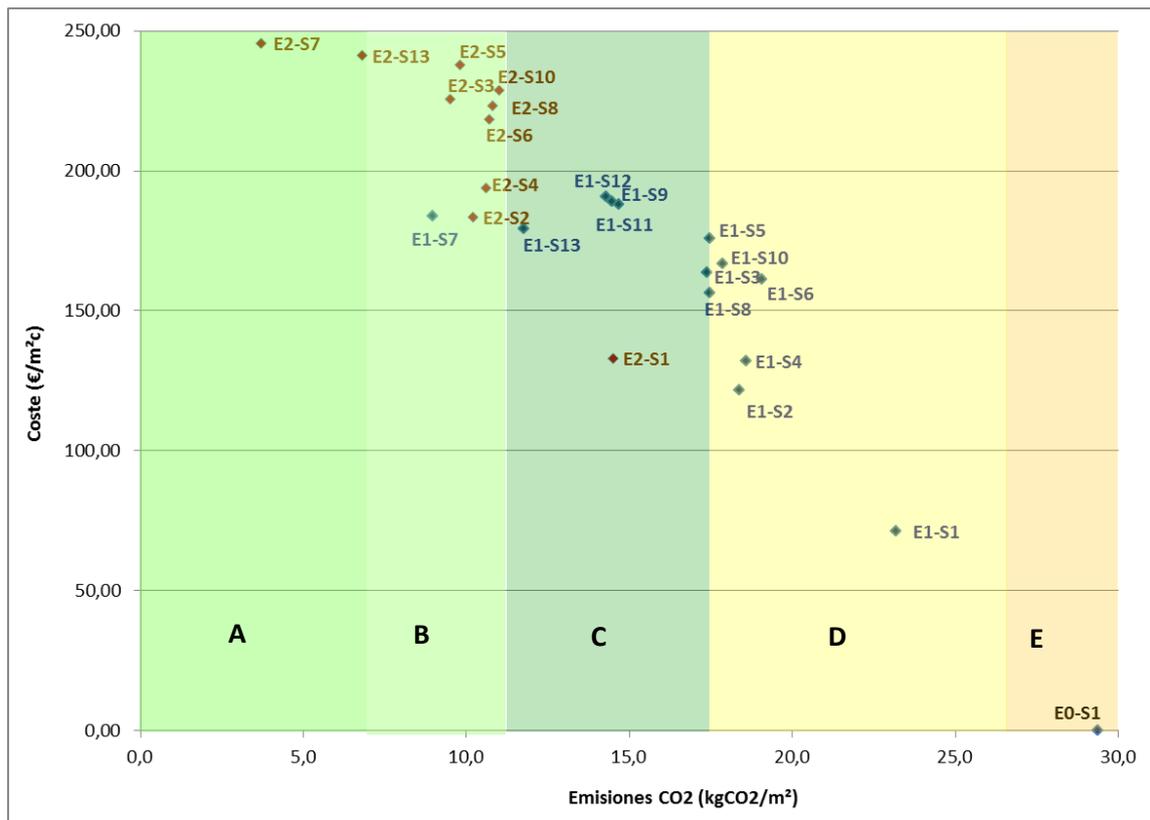


Gráfico 16. Relación entre el coste y las emisiones de CO2 (calificación energética) de las 26 hipótesis

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

### 11.3 Consumos y ahorros energéticos

La tabla 33 muestra el consumo de energía primaria, los consumos de energía final, su coste, y el ahorro que se produce en cada hipótesis respecto el edificio existente.

#### Precios energéticos considerados

El coste del consumo considera solo el gasto de energía, no tiene en cuenta el término fijo, alquileres e impuestos.

Para los cálculos se han utilizado los siguientes precios:

- Gas natural (Fuente: Gas Natural Fenosa, abril 2012):
  - Tarifa instalaciones individuales: 0,04880021 €/kWh
  - Tarifa instalaciones colectivas: 0,048844€/kWh
- Electricidad (Fuente: Gas Natural Fenosa, abril 2012): 0,142349 €/kWh
- Gasóleo C: 0,0657 €/kWh (Fuente: IDAE, mayo 2012)
- Biomasa: 0,0286 €/kWh (Fuente: IDAE, mayo 2012)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Edificio existente E0	E0_S01	E0_S02	E0_S03	E0_S04	E0_S05	E0_S06	E0_S07	E0_S08	E0_S09	E0_S10	E0_S11	E0_S12	E0_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>29,4</b>												
<b>CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA TOTAL</b> (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>133,3</b>												
CONSUMO ENERGÍA FINAL CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	90,4												
CONSUMO ENERGÍA FINAL REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	7,7												
CONSUMO ENERGÍA FINAL ACS (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,1												
<b>CONSUMO ENERGÍA FINAL TOTAL</b> (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>118,2</b>												
AHORRO COSTE CONSUMO ENERGÍA FINAL (%)	0,0												
<b>COSTE CONSUMO FINAL TOTAL</b> (€/m <sup>2</sup> año)	<b>8,7</b>												
AHORRO COSTE CONSUMO (%)	0,0												

Edificio envolvente CTE E1	E1_S01	E1_S02	E1_S03	E1_S04	E1_S05	E1_S06	E1_S07	E1_S08	E1_S09	E1_S10	E1_S11	E1_S12	E1_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>23,2</b>	<b>18,4</b>	<b>17,4</b>	<b>18,6</b>	<b>17,5</b>	<b>19,1</b>	<b>9,0</b>	<b>17,5</b>	<b>14,5</b>	<b>17,9</b>	<b>14,7</b>	<b>14,3</b>	<b>11,8</b>
<b>CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA TOTAL</b> (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>105,5</b>	<b>81,9</b>	<b>77,2</b>	<b>83,1</b>	<b>77,2</b>	<b>85,3</b>	<b>114,9</b>	<b>78,5</b>	<b>65,6</b>	<b>80,0</b>	<b>65,9</b>	<b>58,3</b>	<b>53,9</b>
CONSUMO ENERGÍA FINAL CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	61,5	53,3	49,1	54,0	48,9	48,8	72,8	53,2	49,1	54,2	48,9	25,8	42,4
CONSUMO ENERGÍA FINAL REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	7,2	4,0	7,2	4,1	4,2	8,0
CONSUMO ENERGÍA FINAL ACS (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,1	5,0	4,5	5,5	4,8	12,8	19,0	5,0	4,5	5,5	4,8	5,5	1,5
CONSUMO ENERGÍA FINAL TOTAL (kWh/m <sup>2</sup> año)	90,1	66,8	62,1	68,0	62,1	70,1	100,3	65,4	57,7	66,8	57,8	35,5	52,0
<b>AHORRO CONSUMO ENERGÍA FINAL (%)</b>	<b>23,7%</b>	<b>43,5%</b>	<b>47,4%</b>	<b>42,5%</b>	<b>47,4%</b>	<b>40,6%</b>	<b>15,2%</b>	<b>44,6%</b>	<b>51,2%</b>	<b>43,4%</b>	<b>51,1%</b>	<b>70,0%</b>	<b>56,0%</b>
COSTE CONSUMO FINAL TOTAL (€/m <sup>2</sup> año)	5,4	4,3	4,0	4,3	4,0	4,4	4,3	4,1	3,4	4,1	3,4	3,2	2,7
<b>AHORRO COSTE CONSUMO (%)</b>	<b>38,2%</b>	<b>51,3%</b>	<b>53,9%</b>	<b>50,6%</b>	<b>53,8%</b>	<b>49,4%</b>	<b>51,0%</b>	<b>53,4%</b>	<b>61,1%</b>	<b>52,6%</b>	<b>60,9%</b>	<b>63,4%</b>	<b>68,9%</b>

Edificio envolvente mejorada E2	E2_S01	E2_S02	E2_S03	E2_S04	E2_S05	E2_S06	E2_S07	E2_S08	E2_S09	E2_S10	E2_S11	E2_S12	E2_S13
<b>CALIFICACIÓN ENERGÉTICA</b> (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	<b>14,5</b>	<b>10,2</b>	<b>9,5</b>	<b>10,6</b>	<b>9,8</b>	<b>10,8</b>	<b>3,7</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>	<b>11,0</b>	<b>9,0</b>	<b>8,4</b>	<b>6,8</b>
<b>CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA TOTAL</b> (kWh/m <sup>2</sup> año)	<b>67,5</b>	<b>46,6</b>	<b>43,3</b>	<b>48,5</b>	<b>44,2</b>	<b>49,6</b>	<b>74,9</b>	<b>48,6</b>	<b>40,1</b>	<b>50,5</b>	<b>41,1</b>	<b>34,7</b>	<b>31,2</b>
CONSUMO ENERGÍA FINAL CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	40,3	34,8	32,0	36,2	32,6	30,5	49,4	34,7	32,0	36,2	32,7	16,2	26,6
CONSUMO ENERGÍA FINAL REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,0	1,0	3,0	1,1	1,1	2,1
CONSUMO ENERGÍA FINAL ACS (kWh/m <sup>2</sup> año)	20,1	5,0	4,5	5,5	4,8	12,1	19,0	5,0	4,5	5,5	4,8	5,5	1,6
CONSUMO ENERGÍA FINAL TOTAL (kWh/m <sup>2</sup> año)	62,7	42,0	38,8	43,9	39,7	44,9	70,7	42,8	37,5	44,7	38,5	22,8	30,3
<b>AHORRO CONSUMO ENERGÍA FINAL (%)</b>	<b>47,0%</b>	<b>64,5%</b>	<b>67,2%</b>	<b>62,9%</b>	<b>66,4%</b>	<b>62,0%</b>	<b>40,2%</b>	<b>63,8%</b>	<b>68,2%</b>	<b>62,2%</b>	<b>67,4%</b>	<b>80,7%</b>	<b>74,4%</b>
COSTE CONSUMO FINAL TOTAL (€/m <sup>2</sup> año)	3,4	2,4	2,2	2,5	2,3	2,5	2,6	2,5	2,1	2,6	2,1	1,9	1,6
<b>AHORRO COSTE CONSUMO (%)</b>	<b>61,2%</b>	<b>72,7%</b>	<b>74,5%</b>	<b>71,6%</b>	<b>74,0%</b>	<b>71,0%</b>	<b>70,7%</b>	<b>71,4%</b>	<b>76,5%</b>	<b>70,3%</b>	<b>75,9%</b>	<b>78,3%</b>	<b>81,6%</b>

Superficie construida sobre rasante = 9.317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 33. Resultados: Emisiones de CO2, consumo de energía primaria y final, coste y ahorros energéticos de las 26 hipótesis

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

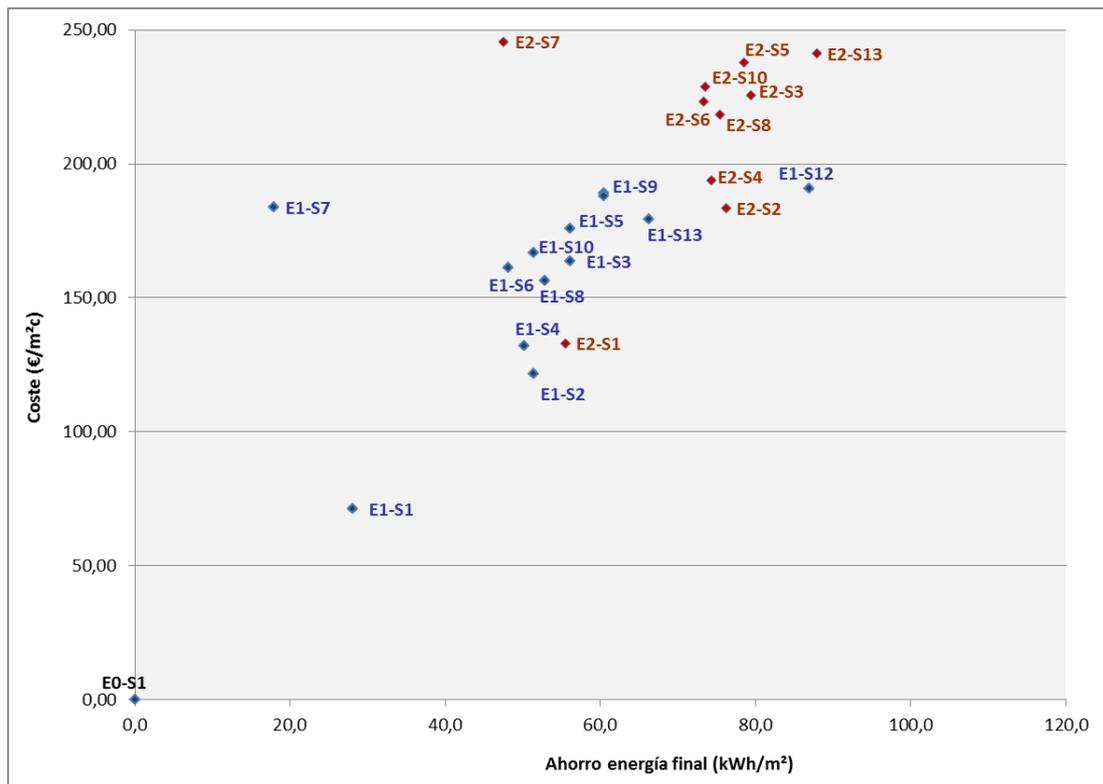


Gráfico 17. Relación entre coste y el ahorro de energía final de las 26 hipótesis

#### **11.4 Costes y amortización**

En la tabla 34 se calculan el coste de las hipótesis, el ahorro en el coste de consumo respecto el edificio existente y los años de amortización.

Se consideran dos tipos de amortización: sin considerar el aumento del coste de los combustibles, y ajustada a la inflación, que se supone un aumento constante del 2%.

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Edificio existente E0	E0_S01	E0_S02	E0_S03	E0_S04	E0_S05	E0_S06	E0_S07	E0_S08	E0_S09	E0_S10	E0_S11	E0_S12	E0_S13
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	29,4												
COSTE DE LAS MEDIDAS (€)	0,0												
COSTE DE LAS MEDIDAS (€/m <sup>2</sup> )	0,0												
COSTE CONSUMO FINAL (€/m <sup>2</sup> año)	8,7												
AHORRO COSTE CONSUMO RESPECTO EDIFICIO EXISTENTE (€/m <sup>2</sup> año)	0,0												
AMORTIZACIÓN (años)	0,0												

Edificio envolvente CTE E1	E1_S01	E1_S02	E1_S03	E1_S04	E1_S05	E1_S06	E1_S07	E1_S08	E1_S09	E1_S10	E1_S11	E1_S12	E1_S13
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	23,2	18,4	17,4	18,6	17,5	19,1	9,0	17,5	14,5	17,9	14,7	14,3	11,8
COSTE DE LAS MEDIDAS (€)	662.805,9	1.133.327,8	1.526.128,8	1.230.206,3	1.639.997,2	1.504.154,5	1.711.773,3	1.484.840,8	1.760.302,6	1.581.719,3	1.753.526,1	1.776.977,3	1.671.768,8
COSTE DE LAS MEDIDAS (€/m <sup>2</sup> )	71,1	121,6	163,8	132,0	176,0	161,4	183,7	159,4	188,9	169,8	188,2	190,7	179,4
COSTE CONSUMO FINAL (€/m <sup>2</sup> año)	5,4	4,3	4,0	4,3	4,0	4,4	4,3	4,1	3,4	4,1	3,4	3,2	2,7
AHORRO COSTE CONSUMO RESPECTO EDIFICIO EXISTENTE (€/m <sup>2</sup> año)	3,3	4,4	4,7	4,4	4,7	4,3	4,4	4,6	5,3	4,6	5,3	5,5	6,0
AMORTIZACIÓN (años)	21,6	27,4	35,1	30,2	37,7	37,8	41,7	34,5	35,6	37,3	35,6	34,7	30,0
AMORTIZACIÓN (incremento anual consumo 2%)(años)	18,1	22,2	27,0	23,9	28,6	28,9	30,8	26,6	27,3	28,4	27,3	26,7	23,8

Edificio envolvente mejorada E2	E2_S01	E2_S02	E2_S03	E2_S04	E2_S05	E2_S06	E2_S07	E2_S08	E2_S09	E2_S10	E2_S11	E2_S12	E2_S13
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	14,5	10,2	9,5	10,6	9,8	10,8	3,7	10,7	8,7	11,0	9,0	8,4	6,8
COSTE DE LAS MEDIDAS (€)	1.239.116,0	1.709.637,9	2.102.438,9	1.806.516,3	2.216.307,3	2.080.464,6	2.288.083,4	2.061.150,9	2.336.612,7	2.158.029,3	2.329.836,2	2.353.287,4	2.248.078,9
COSTE DE LAS MEDIDAS (€/m <sup>2</sup> )	133,0	183,5	225,6	193,9	237,9	223,3	245,6	221,2	250,8	231,6	250,0	252,6	241,3
COSTE CONSUMO FINAL (€/m <sup>2</sup> año)	3,4	2,4	2,2	2,5	2,3	2,5	2,6	2,5	2,1	2,6	2,1	1,9	1,6
AHORRO COSTE CONSUMO RESPECTO EDIFICIO EXISTENTE (€/m <sup>2</sup> año)	5,3	6,3	6,5	6,2	6,4	6,2	6,1	6,2	6,6	6,1	6,6	6,8	7,1
AMORTIZACIÓN (años)	25,1	29,1	34,9	31,2	37,0	36,2	40,0	35,7	37,7	37,9	37,9	37,1	34,0
AMORTIZACIÓN (incremento anual 2%)(años)	18,5	23,2	26,8	24,6	28,0	27,6	29,8	27,3	28,5	28,6	28,6	28,1	26,3

Superficie construida sobre rasante = 9.317,56 m<sup>2</sup>

Tabla 34. Resultados: Emisiones de CO<sub>2</sub>, precio de las hipótesis, consumos finales, ahorro en el coste del consumo y años de amortización de las 26 hipótesis

## **12. CONCLUSIONES**

### **12.1 Conclusiones sobre las herramientas**

El estudio está condicionado por los programas de cálculo utilizados. Por eso, para su correcta interpretación, hay que tener en cuenta algunas características de Lider y Calener, que influyen de forma importante en los resultados:

- Lider no permite introducir ciertos sistemas o elementos constructivos, que influyen de forma pasiva en el comportamiento térmico del edificio: persianas térmicas, invernaderos, muros Trombe, fachadas ventiladas, cubiertas vegetales, etc.
- La base de datos de puentes térmicos de Lider es limitada: considera que son uniformes en todo el edificio; no se especifican las características de los utilizados por el programa; no es posible evaluarlos todos (cajas de persiana, de cubierta cuando el aislamiento se coloca por el interior, etc.)
- En Lider no se pueden definir en un solo archivo edificios con más de 100 espacios o 500 elementos.
- La demanda de refrigeración, según los resultados de Calener VyP, puede aumentar cuando se mejora el aislamiento. El programa considera que durante las horas del día el edificio se sobrecalienta, y el aumento del aislamiento dificulta que se disipe el calor (no se evalúa la ventilación natural).
- La demanda de calefacción, según los resultados de Calener VyP, aumenta cuando se instalan dispositivos de sombra en los huecos, aunque sean estacionales. El programa valora su colocación en abril, mayo y octubre, meses en los que se impiden ganancias solares pasivas, por lo que aumenta la demanda de calefacción. Esto no es lógico, pues se obvia que el usuario empleará de forma racional los toldos o elementos de sombra, que permiten sombra a discreción en tiempos de calor, y los recogerá en invierno.
- Calener VyP considera que todos los espacios están acondicionados para refrigeración, asignándoles un sistema eléctrico por defecto que penaliza la calificación energética.
- Calener VyP considera que todos los espacios están acondicionados para calefacción, incluso los espacios comunes no calefactados, asignándoles una caldera de gasoil por defecto que penaliza la calificación energética.
- Calener VyP no calcula todos los sistemas energéticos o tipos de energía disponibles para edificios de vivienda: no se pueden introducir sistemas de microgeneración o de apoyo de calefacción, no evalúa la recuperación de calor en bombas de calor de gas natural, etc.

- El proceso de cálculo para obtener la calificación energética del edificio no es transparente, lo que dificulta su utilización para evaluar las diferentes actuaciones propuestas o como herramienta de diseño.

### 12.2 Conclusiones económicas

El edificio original tiene una calificación energética E (29,4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

**Mejorar la calificación energética modificando solo la envolvente** supone:

- Envolvente **E1**, que cumple el CTE: la repercusión del coste sobre la superficie del edificio construida sobre rasante es de **71,14 €/m<sup>2</sup>** para obtener una calificación **D** (23,2 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).
- Envolvente **E2**, mejorada: la repercusión del coste sobre la superficie del edificio construida sobre rasante es de **132,99 €/m<sup>2</sup>** para obtener una calificación **C** (14,5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>).

**Mejorar la calificación energética modificando la envolvente y los sistemas energéticos:**

- Se obtiene una calificación **D**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante entre **121,64–176,02 €/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente (**E1**) y se instalan sistemas con calderas de condensación (individuales o colectivas) y radiadores o suelo radiante, incluso con refrigeración mediante equipos de expansión directa y conductos. En todos los casos con cobertura solar del 70,2% de la demanda de ACS. También se obtiene una calificación **D**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de **161,44€/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente (**E1**) y se instala un sistema de calefacción centralizado con caldera condensación de gas natural y suelo radiante, y se sustituye el sistema solar para producción de ACS por equipos de microgeneración.
- Se obtiene una calificación **C**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante entre **179,43–190,72 €/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente (**E1**) y se instalan equipos para calefacción y refrigeración: con caldera de condensación y enfriadora, tanto individuales como centralizados, y suelo radiante para calefacción y refrigeración; y centralizados con bomba de calor eléctrica o de gas natural y suelo radiante para calefacción y refrigeración.
- Se obtiene una calificación **B**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de **183,72 €/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente (**E1**) se instala un sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de biomasa y suelo radiante.
- Se obtiene una calificación **B**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante entre **183,49–252,57 €/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

(E2) y se instalan cualquiera de los sistemas energéticos evaluados excepto el de caldera de biomasa.

- Se obtiene una calificación **A**, con un coste de repercusión sobre la superficie del edificio construida sobre rasante de **245,57€/m<sup>2</sup>**, si se mejora la envolvente (E2) se instala un sistema mixto de calefacción y ACS centralizado con caldera de biomasa y suelo radiante.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	ENVOLVENTE		SISTEMAS ENERGÉTICOS		COSTE FINAL (€/m <sup>2</sup> )(1)	AHORRO CONSUMO ENERGÍA	AHORRO COSTE CONSUMO
	TIPO	COSTE (€/m <sup>2</sup> )(1)	TIPO	COSTE (€/m <sup>2</sup> )(1)			
D	E1	71,14	S01	0	71,14	23,7%	38,2%
	E1	71,14	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S10	50,5 – 104,9	121,6 - 176	42,5% - 47,4%	50,6% - 53,9%
C	E1	71,14	S09, S11, S12, S13	108,3 – 119,6	179,4 -190,7	51,1% - 70,0%	60,9% - 68,9%
	E2	132,99	S01	0	133	47,0%	61,2%
B	E1	71,14	S07	112,6	183,7	15,2%	51,0%
	E2	132,99	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S09, S10, S11, S12, S13	50,5 – 119,6	183,5 -252,6	55,9% - 80,7%	61,1% - 81,6%
A	E2	132,99	S07	112,6	245,6	40,2%	70,7%

(1) Los precios se indican en m<sup>2</sup> construido sobre rasante.

Tabla 35. Resumen de las conclusiones económicas

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

Los **costes por vivienda** para la obtención de las diferentes calificaciones energéticas se indican en las siguientes tablas.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	ENVOLVENTE	SISTEMAS ENERGÉTICOS	PRECIO (€/m <sup>2</sup> )(1)	VIVIENDA 2 DORMITORIOS (€) (2)	VIVIENDA 3 DORMITORIOS (€) (2)
D	E1	S01	71,14	6.601,8	7.789,1
	E1	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S10	121,64–176,02	11.288,2–16.334,7	13.318,4–19.272,4
C	E1	S09, S11, S12, S13	179,4–190,72	16.648,3–17.698,8	19.642,51–20.881,9
	E2	S01	132,99	12.341,5	14.561,1
B	E1	S07	183,72	17.049,2	20.115,5
	E2	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S09, S10, S11, S12, S13	183,49–252,57	17.027,9–23.438,5	20.090,3–27.653,9
A	E2	S07	245,57	22.788,9	26.887,5

Tabla 36. Calificaciones energéticas y precio de las actuaciones por vivienda calculado sobre los m<sup>2</sup> construidos sobre rasante

(1) Los precios se indican en m<sup>2</sup> construido sobre rasante.

(2) La superficie de cálculo para las viviendas es la suma de la superficie construida media por vivienda de 2 o 3 dormitorios y la superficie de espacios comunes proporcional. Vivienda 2 dormitorios: 92,8 m<sup>2</sup>, vivienda 3 dormitorios: 109,49 m<sup>2</sup>.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	ENVOLVENTE	SISTEMAS ENERGÉTICOS	PRECIO (€)	VIVIENDA 2 DORMITORIOS (€) (1)	VIVIENDA 3 DORMITORIOS (€) (1)
D	E1	S01	662.851,22	6.602,37	7.789,90
	E1	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S10	1.133.373,10–1.640.042,52	11.289,04–16.335,75	13.319,52–19.273,96
C	E1	S09, S11, S12, S13	1.671.814,1–1.777.022,64	16.650,16–17.700,15	19.643,03–20.883,76
	E2	S01	1.239.142,30	12.342,56	14.562,53
B	E1	S07	1.711.818,62	17.050,68	20.117,48
	E2	S02, S03, S04, S05, S06, S08, S09, S10, S11, S12, S13	1.709.664,18–2.353.313,73	17.029,22–23.440,34	20.092,16–27.656,40
A	E2	S07	2.288.109,71	22.790,87	26.890,11

Tabla 37. Calificaciones energéticas y precio de las actuaciones por vivienda calculado sobre los m<sup>2</sup> construidos de vivienda

(1) La superficie de cálculo para las viviendas es la superficie construida media por vivienda de 2 o 3 dormitorios. Vivienda 2 dormitorios: 77,67 m<sup>2</sup>, vivienda 3 dormitorios: 91,64 m<sup>2</sup>.

---

**12.3 Conclusiones generales**

Las conclusiones para este caso de estudio son:

1. Es necesaria la mejora conjunta de las características térmicas de la envolvente (sistemas pasivos) y de la eficiencia de los sistemas energéticos para alcanzar las calificaciones A o B.
2. La mejora de las características térmicas de la envolvente es el primer paso para reducir la demanda energética de un edificio. Un edificio con una envolvente eficiente consigue la misma calificación energética que el mismo edificio con una envolvente que simplemente cumple el CTE y un sistema energético más eficiente, con un 30% menos de inversión y sin modificar el sistema energético inicial.
3. La mejora del aislamiento de las fachadas es la intervención de rehabilitación energética que tiene la mejor relación entre rentabilidad económica, ahorro de energía y reducción de emisiones. La mejora de las características térmicas de los huecos y su protección solar también suponen un ahorro de energía significativo, aunque tienen períodos más largos de amortización.
4. La protección solar de los huecos de fachada es fundamental para reducir la demanda de refrigeración, consiguiendo hasta en un 60%. Este es uno de los elementos pasivos de mayor importancia.
5. La instalación de calderas de condensación junto con la instalación de un sistema solar térmico para la producción de ACS, son las intervenciones en el sistema energético más rentables.
6. Con los sistemas energéticos individuales se consigue, con una menor inversión, la misma calificación energética y los mismos ahorros de energía final que con los sistemas centrales.
7. En un sistema energético para calefacción con una caldera de condensación y suelo radiante como emisor se consigue un ahorro en energía final de hasta un 9,6% respecto al mismo sistema con emisores convencionales.
8. En el edificio cuya envolvente cumple el CTE, las opciones que integran sistemas por suelo radiante para calefacción y refrigeración (con caldera de condensación y enfriadora, bomba de calor eléctrica, bomba de calor de gas natural) mejoran la calificación energética del edificio de D a C, con respecto a las opciones con calderas de condensación, radiadores y equipos de expansión directa.
9. El sistema energético con caldera de biomasa es el que mejor calificación energética consigue y el único que alcanza una A. Esto se debe a que Calener VyP considera que cualquier sistema de biomasa no genera emisiones de CO<sub>2</sub>, y no tiene en cuenta las que se generan durante la transformación y el transporte del combustible. Es el sistema menos eficiente en consumo de energía final, y su viabilidad está condicionada por la necesidad de espacios comunes que se puedan destinar al almacenamiento de combustible.

10. El sistema energético que consigue una mejor calificación energética (exceptuando el de biomasa) es el de bomba de calor de gas natural para producción de calefacción, refrigeración y ACS y suelo radiante para calefacción y refrigeración. El consumo de energía primaria y el coste de consumo final son los más bajos.

11. Los sistemas energéticos para calefacción y refrigeración con bomba de calor a gas y con bomba de calor eléctrica alimentando sistemas por suelo radiante, son los que presentan una mejor relación entre rentabilidad, ahorro de energía y reducción de emisiones.

12. La relación entre el coeficiente de forma y la orientación del edificio, con grandes fachadas Este-Oeste y muy reducidas Norte-Sur, hace que la demanda de refrigeración en proporción a la climatización total del edificio sea mucho más alta que la media. Calener VyP asigna sistemas energéticos por defecto en refrigeración con una baja eficiencia, lo que penaliza las calificaciones energéticas. Así los sistemas energéticos con biomasa no siempre consiguen una A, o el sistema de bomba de calor de gas natural para producción de calefacción, refrigeración y ACS y suelo radiante para calefacción y refrigeración solo alcanza el límite de la calificación A.

13. En el edificio seleccionado como caso de estudio, la sustitución de un sistema solar por equipos de microgeneración resulta más rentable manteniendo la misma calificación energética. La conclusión no es generalizable, ya que al aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub>, la calificación podría variar.

Los periodos de amortización son altos. En edificios más antiguos, con peores calificaciones iniciales, este periodo puede reducirse. En la rehabilitación energética es imprescindible tener en cuenta:

14. La rehabilitación energética debe vincularse a obras de mantenimiento, reparación y puesta al día de las instalaciones. El mejor momento para efectuar una rehabilitación energética es cuando se interviene sobre los elementos constructivos, porque entonces la diferencia entre rehabilitar constructivamente y rehabilitar energéticamente es mínima y más fácil de amortizar.

15. La rehabilitación implica el incremento de valor de la propiedad debido a la mejora del estado del edificio, de su calificación energética, del aumento de la calidad inmobiliaria y de la reducción de los costes de mantenimiento. Además, el Real Decreto para la certificación de la eficiencia energética de los edificios obligará a que *cuando se construyan, vendan o alquilen edificios o unidades de estos, el certificado de eficiencia energética o una copia de este se debe mostrar al comprador o nuevo arrendatario potencial y se entregará al comprador o nuevo arrendatario*, por lo que la calificación energética influirá directamente en el valor del edificio o vivienda.

16. La consideración de la subida del precio de la energía y del valor del ahorro de las

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

---

emisiones de CO2 en el cálculo económico influyen en el periodo de amortización.

17. La rehabilitación energética supone la mejora de aspectos del edificio que no son cuantificables, como el aumento del confort, la mejora del aislamiento acústico, la habitabilidad, la salud, o la eliminación de situaciones de pobreza energética.

**En la rehabilitación energética, la mejora de las prestaciones energéticas del edificio depende tanto de la inversión económica como de la sensatez aplicada en la intervención, considerando conjunta y equilibradamente protección solar, aislamiento térmico y sistemas energéticos eficientes.**

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. *Informe Anual de Consumos energéticos*, año 2008 (IDAE, diciembre 2009). Disponible en web:  
<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/idpag.481/relcategoria.1368/relmenu.162>, junio 2012.
2. *Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020*. Madrid: WWF/Adena, 2010. Disponible en web:  
[http://www.etresconsultores.com/wp-content/notas\\_prensa/informe\\_potencial\\_final.pdf?phpMyAdmin=spF0X%2Cx1Y%2C0MnnxftQ32FkGtgv](http://www.etresconsultores.com/wp-content/notas_prensa/informe_potencial_final.pdf?phpMyAdmin=spF0X%2Cx1Y%2C0MnnxftQ32FkGtgv), junio 2012.
3. *Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de vivienda*. Grupo de Trabajo sobre rehabilitación GTR coordinado por GBCe y Fundación CONAMA. Noviembre 2011
4. *Estudio sobre Pobreza Energética en España. Potencial generación de empleo derivado de la rehabilitación energética de viviendas*. Asociación de Ciencias Ambientales dentro del marco del proyecto REPEX.
5. AICIA (Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla) *Escala de calificación energética para edificios existentes*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. Disponible en web:  
[http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/propuestaNuevosReconocidos/Documents/Escala\\_Calificacion\\_Edificios\\_%20Existentes.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/propuestaNuevosReconocidos/Documents/Escala_Calificacion_Edificios_%20Existentes.pdf), junio 2012.
6. *Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2011. Disponible en web:  
[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf) junio 2012.
7. *Nota de prensa. Encuesta sobre el suministro y saneamiento del agua. Año 2009*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística, 2011. Disponible en web:  
<http://www.ine.es/prensa/np659.pdf>, junio 2012.
8. *Proyecto RECONSOST: Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios*. Disponible en web: <http://www.sostenibilidad-es.org/plataformas-de-comunicacion/sostenibilidad-urbana-y-territorial/iniciativas/proyecto-reconsost>, junio 2012.
9. Proyecto Real Decreto por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes. Disponible en web:  
<http://www.minetur.gob.es/energia/es->

[es/participacion/paginas/cerradas/eficienciaenergetica.aspx](http://participacion/paginas/cerradas/eficienciaenergetica.aspx), junio 2012.

10. Machado, María; Brito, Celina; Neila, Javier. *La cubierta ecológica como material de construcción*. Informes de la Construcción, Vol. 52 n°467, mayo/junio 2000. Disponible en web: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewArticle/705>, junio 2012.

11. Da Casa Martín, Fernando. *Adecuación bioclimática en la subregión de Madrid, para el diseño de los edificios y sus elementos constructivos*. Directores: Margarita de Luxán García de Diego, Cesar Bedoya Frutos. Departamento de Tecnología y Construcciones Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2000. Disponible en web: <http://oa.upm.es/563/1/03200002.pdf>, junio 2012.

12. *Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas*. Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2008. Disponible en web: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-rehabilitacion-energetica-de-edificios-de-viviendas-fenercom.pdf>, junio 2012)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 14. ANEXOS

#### 14.1 Listado de precios de las medidas de la envolvente

Medidas	Concepto	Descripción	Precio (€/m <sup>2</sup> )		Base de datos
			Parcial	Total	
1.1 1.2	Sistema ETICS de aislamiento por el exterior de fachadas con acabado de enfoscado	Rehabilitación energética de fachada, mediante aislamiento térmico por su cara exterior, con sistema formado por panel rígido de poliestireno extruido sin piel, de 600x1250 mm y 60mm/ 80mm de espesor, resistencia a compresión >= 200 kPa, fijado a la fachada existente mediante mortero adhesivo tixotrópico, hidrófugo y permeable al vapor de agua, y fijaciones mecánicas, regularización de placas de aislamiento térmico con mortero tixotrópico, hidrófugo y permeable al vapor de agua, armado con malla de fibra de vidrio, antiálcalis, imprimación sellante, para recibir el revoco de mortero altamente hidrófugo, alguicida, fungicida y permeable al vapor de agua, de color claro con acabado fratasado y andamiaje homologado.		85,36 (XPS 60mm)	CYPE(1) (Enero 2012)
				89,61 (XPS 80mm)	
1.3	Sistema de aislamiento por el exterior de fachadas con fachada ventilada	Aislamiento por el exterior en fachada ventilada formado por panel de lana mineral, según UNE-EN 13162, recubierto con un tejido negro, de 80 mm de espesor, fijado mecánicamente; con andamiaje homologado.	18,53	155,30	CYPE(1) (Enero 2012)
		Sistema de placa de gres porcelánico para fachada ventilada. Hoja exterior de sistema de fachada ventilada, con baldosas de gres porcelánico de gran formato reforzado con fibra de vidrio, de 1000x1000 mm y 3 mm de espesor, acabado antideslizante, colocadas con grapa vista.	136,77		
1.4	Sistema de aislamiento por el interior de fachadas con trasdosado autoportante con acabado de pintura	Trasdosado formado por una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizada de 46 mm de ancho, a base de montantes (elementos verticales) separados 600 mm entre ellos y canales (elementos horizontales), a cuyo lado interno, dependiendo de la altura a cubrir, será necesario arriostrar los montantes mediante piezas angulares que fijen el alma de los montantes y el muro soporte, dejando entre la estructura y el muro un espacio de mínimo 10 mm. En el lado externo de esta estructura se atornillan dos placas de yeso laminado de 15 mm de espesor, dando un ancho total mínimo de trasdosado terminado de 86 mm (76+10). Parte proporcional de tornillería, juntas estancas /acústicas de su perímetro, cintas y pasta de juntas, piezas de arriostramiento, anclajes mecánicos, etc. totalmente terminado con calidad de terminación Nivel 1 (Q1) para terminaciones de alicatado, laminados, con rastreles, etc ó calidad de terminación Nivel 2 (Q2) para terminaciones estándar de pintura ó papel pintado normal. Alma con lana mineral de 45 mm de espesor. Montaje según Norma UNE 102.041 IN y requisitos del CTE-DB HR.	28,61	31,14	Pladur (Sistema 16,74 €/m <sup>2</sup> + 45 mm LM 3,35 €/m <sup>2</sup> / CYPE(1) Mano obra 8,52 €/m <sup>2</sup> (Cype) (Enero 2012)
		Pintura al temple color blanco, acabado liso, aplicada mediante brocha o rodillo liso sobre paramentos horizontales y verticales interiores de mortero, yeso o ladrillo.	2,53		CYPE(1) (Enero 2012)
2.1 2.2	Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida no transitable: Cubierta de grava	Rehabilitación energética de cubierta plana no transitable, con la membrana impermeabilizante en buen estado de conservación, mediante la incorporación de aislamiento térmico por el exterior de la cubierta, formado por panel rígido de poliestireno extruido, de superficie lisa y mecanizado lateral a media madera, de 600x1250 mm y 40 mm/ 80mm de espesor, resistencia a compresión >= 300 kPa; capa separadora de geotextil de fibras de poliéster (200 g/m <sup>2</sup> ); y protección con capa de 6 cm de canto rodado de 16 a 32 mm de diámetro.	22,51 (XPS 40mm)	28,12 (XPS 40mm)	CYPE(1) (Enero 2012)
		Retirada con recuperación del material de capa de protección formada por 10 cm de espesor de grava en cubierta plana, con medios manuales.	31,98 (XPS 60mm)		
		Retirada de capa separadora en cubierta plana, con medios manuales, y carga manual de escombros a camión o contenedor.	4,67	37,59 (XPS 60mm)	
			0,94		

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

2.1 2.2 2.3	Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana invertida transitable: Cubierta de gres	Rehabilitación energética de cubierta plana transitable, con la membrana impermeabilizante en buen estado de conservación, mediante la incorporación de aislamiento térmico por el exterior de la cubierta, formado por panel rígido de poliestireno extruido, de superficie lisa y mecanizado lateral a media madera, de 600x1250 mm y 40 mm/ 80mm de espesor, resistencia a compresión $\geq 300$ kPa; y protección con baldosas de gres porcelánico pulido 4/3/-/E, 20x20 cm, colocadas en capa fina con adhesivo cementoso mejorado, C2, gris, sobre capa de regularización de mortero M-5.	42,86 (XPS 40mm)	54,53 (XPS 40mm)	CYPE(1) (Enero 2012)
			52,33 (XPS 60mm)	64,00 (XPS 60mm)	
		Demolición de pavimento de baldosa cerámica o gres en cubierta plana, y picado del material de agarre, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.	11,67		
2.3	Sistema de aislamiento por el exterior de cubierta plana: Cubierta vegetal	Cubierta plana no transitable, no ventilada, ajardinada extensiva (ecológica), tipo invertida, pendiente del 1% al 5%, compuesta de: formación de pendientes: hormigón celular de cemento espumado, a base de cemento CEM II/A-P 32,5 R y aditivo aireante, resistencia a compresión mayor o igual a 0,2 MPa, con espesor medio de 10 cm; impermeabilización monocapa mejorada adherida: lámina de betún modificado con elastómero, mejorada con lámina bituminosa de oxiasfalto, , colocadas con imprimación asfáltica, tipo EA; capa separadora bajo aislamiento: geotextil de fibras de poliéster (150 g/m <sup>2</sup> ); aislamiento térmico: panel rígido de poliestireno extruido de 80 mm de espesor, resistencia a compresión $\geq 300$ kPa; capa separadora bajo protección: geotextil de fibras de poliéster (150 g/m <sup>2</sup> ); capa drenante y retenedora de agua: lámina drenante y retenedora de agua; capa filtrante: geotextil de polipropileno-polietileno (160 g/m <sup>2</sup> ); capa de protección: base de sustrato orgánico, acabada con roca volcánica.	99,51	117,81	CYPE(1) (Enero 2012)
		Demolición completa de cubierta plana no transitable, con grava, compuesta por capa de formación de pendientes de 10 cm de espesor medio, capas de mortero de cemento de regularización y protección, aislamiento térmico, impermeabilización y capas separadoras, y capa de protección de grava de 6 cm de espesor medio; con martillo neumático compresor, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.	18,30		
2.4	Sistema de aislamiento por el interior de cubiertas con techo semidirecto y acabado de pintura	Techo continuo formado por una estructura de chapa de acero galvanizada formado por maestras de 82 mm de ancho y 16 mm de alto, separadas entre ellas 400 mm y ancladas directamente al forjado, a las cuales se atornilla una placa de yeso laminado de 13 mm de espesor. Parte proporcional de materiales: tornillería, pastas, cintas de juntas, juntas estancas /acústicas de su perímetro, etc. así como anclajes para fijar a forjado soporte, etc. totalmente terminado con calidad de terminación Nivel 2 (Q2) para terminaciones estándar de pintura o calidad de terminación Nivel 3 (Q3) para terminaciones de calidad alta de acabados lisos y de poco espesor. Incluso panel de lana mineral de 20 mm de espesor sobre el dorso de placas y perfiles. Montaje según Normativa Intersectorial de ATEDY (2011): "Sistemas constructivos de placa de yeso laminado" y requisitos del CTE-DB HR.	25,00	27,53	Pladur (Sistema 9,77 €/m <sup>2</sup> + 20 mm LM 6,02 €/m <sup>2</sup> / CYPE(1) Mano obra 9,21 €/m <sup>2</sup> (Cype) (Enero 2012)
		Pintura al temple color blanco, acabado liso, aplicada mediante brocha o rodillo liso sobre paramentos horizontales y verticales interiores de mortero, yeso o ladrillo.	2,53		CYPE(1) (Enero 2012)
2.5	Cubierta Tectum y estructura metálica ligera para espacio no habitable sobre cubierta plana	Teja + Placa de fibrocemento + estructura ligera + cámara ventilada + forjado de bovedilla cerámica 20+5 + enlucido de yeso		87,60	Cobert

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

3.0	Sistema de aislamiento por el interior de suelos con techo suspendido y acabado con pintura	Techo formado por una estructura de perfiles de chapa de acero galvanizada a base de perfiles continuos en forma de U, de 47 mm de ancho y separados entre ellos 400 mm, debidamente suspendidos del forjado por medio de piezas de nivelación polivalentes debidamente fijadas al forjado y uniendo sus alas con tornillos en ambas alas del perfil, y encajados en el perfil clip fijado mecánicamente en todo el perímetro. A esta estructura de perfiles, se atornilla una placa de yeso laminado de 13 mm de espesor, parte proporcional de anclajes, suspensiones, cuelgues, tornillería, juntas estancas /acústicas de su perímetro, cintas y pasta de juntas, etc. totalmente terminado con calidad de terminación Nivel 2 (Q2) para terminaciones estándar de pintura ó calidad de terminación Nivel 3 (Q3) para terminaciones de calidad alta de acabados lisos y de poco espesor (a definir en proyecto). Incluso panel de lana mineral de 30/ 50 mm de espesor sobre el dorso de placas y perfiles. Montaje según Normativa Intersectorial de ATEDY (2011): "Sistemas constructivos de placa de yeso laminado" y requisitos del CTE-DB HR. I	22,43 (LM 30mm)	Pladur (Sistema 10,18 €/m <sup>2</sup> + 30 mm LM 3,04 €/m <sup>2</sup> / CYPE(1) Mano obra 9,21 €/m <sup>2</sup> (Cype) (Enero 2012)
			24,82 (LM 50mm)	Pladur (Sistema 10,18 €/m <sup>2</sup> +50 mm LM 5,43 €/m <sup>2</sup> / CYPE(1) Mano obra 9,21 €/m <sup>2</sup> (Cype) (Enero 2012)
4.1	Sustitución de vidrios	Rehabilitación energética de cerramientos de huecos de fachada, mediante el desmontaje del acristalamiento existente en la carpintería exterior, fijado sobre carpintería, con medios manuales y carga manual del material desmontado sobre camión o contenedor y sustitución por doble acristalamiento formado por vidrio exterior Float incoloro de 4 mm, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 16 mm, y vidrio interior de baja emisividad térmica de 4 mm de espesor, con calzos y sellado continuo.	43,58	CYPE(1) (Enero 2012)
4.2	Sustitución de los huecos existentes: 4-8-4 bajo emisivo, U=2,1 W/m <sup>2</sup> K, g=0,58 / marco PVC U=2,2 W/m <sup>2</sup> K	Sustitución de carpintería exterior acristalada, por carpintería de PVC de dos cámaras y acristalamiento 4-8-4 bajo emisivo.	279,21 (2)	CYPE(1) (Enero 2012)
4.3	Sustitución de los huecos existentes: 4-16-6 bajo emisivo, U=1,4 W/m <sup>2</sup> K, g=0,59 / marco PVC U=2,2 W/m <sup>2</sup> K	Sustitución de carpintería exterior acristalada, por carpintería de PVC de dos cámaras y acristalamiento 4-16-6 bajo emisivo.	292,53 (2)	CYPE(1) (Enero 2012)
4.4	Sustitución de los huecos existentes: 4-16-6 bajo emisivo, U=1,4 W/m <sup>2</sup> K, g=0,59 / marco aluminio rpt U=3,2 W/m <sup>2</sup> K	Sustitución de carpintería exterior acristalada, por carpintería de aluminio con rotura de puente térmico y acristalamiento 4-16-6 bajo emisivo.	298,87 (2)	CYPE(1) (Enero 2012)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

4.5	Colocación de nuevo hueco por el exterior: 4-8-6, U=3 W/m <sup>2</sup> K, g=0,75 / marco PVC U=2,2 W/m <sup>2</sup> K	Colocación de nueva carpintería acristalada por el exterior, compuesta por carpintería de PVC de dos cámaras y doble acristalamiento 4-8-6.		<b>237,24</b> (2)	CYPE(1) (Enero 2012)
4.6	Colocación de nuevo hueco por el exterior:4-16-6 bajo emisivo, U=1,4 W/m <sup>2</sup> K, g=0,59 / marco PVC U=1,8 W/m <sup>2</sup> K	Colocación de nueva carpintería acristalada por el exterior, compuesta por carpintería de PVC de tres cámaras y acristalamiento 4-16-6 bajo emisivo.		<b>243,58</b> (2)	CYPE(1) (Enero 2012)
5.1 5.2	Protección solar en los huecos de fachada: toldos	Toldo con brazo extensible-invisible, de lona acrílica, con accionamiento manual con manivela.		<b>136,52</b> (2)	CYPE(1) (Enero 2012)
5.3	Protección solar en los huecos de fachada: lamas orientables y estructura fija	Celosía fija con sujeciones de acero galvanizado y lamas orientables de aluminio, acabado, montada mediante atornillada en obra de fábrica.		<b>39,59</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
5.4	Protección solar en los huecos de fachada: lamas orientables y estructura practicable	Celosía practicable con sujeciones de aluminio y lamas orientables realizadas con panel de resinas termoendurecibles, de 13 mm de espesor, montada mediante atornillado en obra de fábrica.		<b>289,29</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
5.4	Protección solar en los huecos de fachada: lamas orientables y estructura corredera	Celosía corredera con sujeciones de aluminio y lamas orientables realizadas con panel de resinas termoendurecibles, de 13 mm de espesor, montada mediante atornillado en obra de fábrica.		<b>314,92</b>	CYPE(1) (Enero 2012)

### Otros precios:

1.4	Demolición de alicatado	Demolición de alicatado de azulejo y picado de la capa base de mortero, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>12,22</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
1.4	Alicatado sobre superficie soporte interior de placas de yeso laminado	Alicatado con azulejo liso, 20x20 cm, 8 €/m <sup>2</sup> , colocado sobre una superficie soporte de placas de yeso laminado en paramentos interiores, mediante adhesivo cementoso normal, C1, gris, sin junta (separación entre 1,5 y 3 mm); cantoneras de PVC.		<b>24,77</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
3	Demolición de falso techo continuo de placas	Demolición de falso techo continuo de placas de escayola, yeso laminado o cartón yeso, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>5,81</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
1.4	Falso techo continuo de placas de escayola	Falso techo continuo para revestir, de placas nervadas de escayola, de 100x60x20 cm, con canto recto y acabado liso, suspendidas del forjado mediante estopadas colgantes.		<b>13,79</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
3	Pintura plástica sobre paramentos exteriores	Revestimiento decorativo de fachadas con pintura plástica lisa, para la realización de la capa de acabado en revestimientos continuos bicapa; limpieza y lijado previo del soporte de mortero tradicional, en buen estado de conservación, mano de fondo y dos manos de acabado (rendimiento: 0,1 l/m <sup>2</sup> cada mano)		<b>11,55</b>	CYPE(1) (Enero 2012)

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

<b>3</b>	<b>Pintura plástica sobre paramentos interiores de placas de yeso laminado</b>	Pintura plástica con textura lisa, color blanco, acabado mate, sobre paramentos horizontales y verticales interiores de yeso proyectado o placas de yeso laminado, mano de fondo y dos manos de acabado (rendimiento: 0,125 l/m <sup>2</sup> cada mano).		<b>9,32</b>	CYPE(1) (Mayo 2012)
<b>1.1 1.2</b>	<b>Demolición de chapado colocado con mortero</b>	Demolición de chapado de placas de piedra natural y picado de la capa base de mortero, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>13,96</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
<b>1.1 1.2</b>	<b>Picado de enfoscado</b>	Picado de enfoscado de cemento, aplicado sobre paramento vertical exterior de hasta 3 m de altura, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>12,78</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
<b>1.1 1.2</b>	<b>Picado de mortero monocapa</b>	Picado de mortero monocapa aplicado sobre paramento vertical exterior de hasta 3 m de altura, con medios manuales, y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>14,72</b>	CYPE(1) (Enero 2012)
<b>4.2</b>	<b>Acrilamiento con cámara</b>	Doble acristalamiento 4/8/4 (U=2,1 W/m <sup>2</sup> K), con calzos y sellado continuo.		<b>37,05</b> (precio vidrio: 19,06 €/m <sup>2</sup> )	CYPE(1) (Enero 2012)
<b>4.1 4.3 4.4 4.6</b>	<b>Acrilamiento con cámara</b>	Doble acristalamiento 4/16/4 (U=1,4 W/m <sup>2</sup> K), con calzos y sellado continuo.		<b>37,73</b> (precio vidrio: 19,7 €/m <sup>2</sup> )	CYPE(1) (Enero 2012)
<b>4.5</b>	<b>Acrilamiento con cámara</b>	Doble acristalamiento 4/8/4 (U=3 W/m <sup>2</sup> K), con calzos y sellado continuo.		<b>32,27</b> (precio vidrio: 14,63 €/m <sup>2</sup> )	CYPE(1) (Enero 2012)
	<b>Desmontaje de radiador o panel mural</b>	Desmontaje de radiador, y soportes de fijación, con medios manuales y carga manual de escombros sobre camión o contenedor.		<b>33,14</b> (ud)	CYPE(1) (Enero 2012)
	<b>Pavimento de baldosas cerámicas</b>	Solado de baldosas cerámicas de gres esmaltado, de 25x25 cm, 8 €/m <sup>2</sup> , recibidas con adhesivo cementoso de uso exclusivo para interiores, Ci sin ninguna característica adicional, color gris y rejuntadas con lechada de cemento blanco, L, BL-V 22,5, para junta mínima (entre 1,5 y 3 mm), coloreada con la misma tonalidad de las piezas.		<b>24,41</b>	CYPE(1) (Mayo 2012)

(1) Generador de precios de rehabilitación de CYPE para el edificio de estudio, situado en Madrid

(2) Valor medio: Coste total de los huecos/ m<sup>2</sup> huecos

## PRECOST&E REHABILITACIÓN

Evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la rehabilitación energética de un edificio de viviendas en la zona climática D3 (Madrid)

### 14.2 Presupuestos de los sistemas energéticos

	Sistema 01	Sistema 02	Sistema 03	Sistema 04	Sistema 05	Sistema 06	Sistema 07	Sistema 08	Sistema 09	Sistema 10	Sistema 11	Sistema 12	Sistema 13
Instalación solar (Gas Natural)	0,00	210.379,74	210.379,74					210.379,74	210.379,74				
Instalación primario solar (Gas Natural)				188.538,89	188.538,89					188.538,89	188.538,89	188.538,89	
Microgeneración (Gas Natural)						57.436,80							
Distribución (Gas Natural)		105.482,14	105.482,14	178.258,30	178.258,30	178.258,30	178.258,30	105.482,14	105.482,14	178.258,30	178.258,30	178.258,30	178.258,30
Instalación calderas de condensación individuales (Gas Natural)		154.660,00	154.660,00					154.660,00	154.660,00				
Instalación calderas de condensación colectivas (Gas Natural)				99.520,17	99.520,17	99.520,17				99.520,17	99.520,17	84.491,41	
Instalación calderas biomasa colectivas (Gas Natural)							364.575,80						
Instalación suelo radiante (Uponor)			203.879,10		220.869,03	220.869,03	220.869,03		248.052,91		248.052,91	248.052,91	248.052,91
Instalación equipos de expansión directa + conductos (Uponor)								325.475,00		325.475,00			
Instalación enfriadoras individuales eléctricas (Uponor)									190.000,00				
Instalación enfriadoras colectivas eléctricas (Uponor)										73.520,00			
Instalación bombas de calor colectivas eléctrica (Uponor)												112.000,00	
Instalación bombas de calor gas natural (Gas Natural)													279.821,76
Control (Gas Natural)				45.001,65	45.001,65	38.977,51	38.977,51			45.001,65	45.001,65	45.001,65	45.001,65
Vivienda (Gas Natural)				52.725,00	52.725,00	52.725,00	52.725,00			52.725,00	65.550,00	65.550,00	65.550,00
Puesta en marcha (Gas Natural)				2.216,50	2.216,50	3.500,00	3.500,00			2.216,50	2.216,50	2.216,50	2.216,50
Manual instrucciones (Gas Natural)				1.139,84	1.139,84	1.139,84	1.139,84			1.139,84	1.139,84	1.139,84	1.139,84
Albañilería instalación equipos de expansión directa y conductos								26.038,00		26.038,00			
Demolición de radiadores (Cype)			23.032,30		23.032,30	23.032,30	23.032,30		23.032,30		23.032,30	23.032,30	23.032,30
Pavimento cerámico para suelo radiante (Cype)			165.889,63		165.889,63	165.889,63	165.889,63		165.889,63		165.889,63	165.889,63	165.889,63
Coste (€)	0,00	470.521,88	863.322,91	567.400,35	977.191,30	841.348,57	1.048.967,40	822.034,88	1.097.496,71	918.913,35	1.090.720,18	1.114.171,42	1.008.962,88
Coste (€/m <sup>2</sup> c) (1)	0,00	50,50	92,66	60,90	104,88	90,30	112,58	88,22	117,79	98,62	117,06	119,58	108,29

(1) Superficie construida sobre rasante = 9.317,56 m<sup>2</sup>  
Entre paréntesis la fuente del presupuesto