Liderando el desarrollo sostenible empresarial

Análisis de la viabilidad económica de la edificación energéticamente eficiente

Estudio técnico que soporta los resultados de la publicación "Por activa y por pasiva. Impulsar la edificación de alto rendimiento energético"

Fundación Entorno
Consejo Empresarial Español para el Desarrollo Sostenible

Acerca de este informe

Este informe, elaborado por Ecofys para el Grupo de Trabajo de Construcción Sostenible de Fundación Entorno-BCSD España, es un riguroso trabajo de simulación dinámica del comportamiento energético de varios edificios en diferentes escenarios que, junto con un exhaustivo análisis de la viabilidad económica de las diferentes soluciones comerciales, ha sido la base para proponer qué actuaciones serán necesarias para impulsar el mercado de la edificación de alto rendimiento energético en nuestro país.

En este documento se detalla de forma exhaustiva los cálculos, medidas, valores, condiciones de partida y escenarios que nos han llevado a obtener los resultados de rendimiento energético, calificaciones y periodos de retorno que se muestran en el capítulo 2 "*Nuestra propuesta tecnológica*" del documento "*POR ACTIVA Y POR PASIVA: impulsar la edificación de alto rendimiento energético*" accesible desde www.fundacionentorno.org.

Acerca del Grupo de Trabajo de Construcción Sostenible de Fundación Entorno-BCSD España

Fundación Entorno-BCSD España es una organización privada cuya misión es trabajar con los líderes empresariales para abordar los retos del desarrollo sostenible como oportunidades de negocio.

Un nutrido grupo de empresas conforman una plataforma multisectorial que comparte una visión integral de la construcción con el objetivo de establecer un marco de acción que defina las condiciones de sostenibilidad en el sector..

Más información en: www.fundacionentorno.org

Índice

1. Objetivo, alcance y enfoque
2. Viabilidad de las soluciones energéticas de alto rendimiento
    2.1. Vivienda plurifamiliar existente
    2.2. Vivienda plurifamiliar nueva
    2.3. Edificio de oficinas existente
    2.4. Edificio de oficinas nuevo
3. Resumen de resultados

Anexo 1: Documentación gráfica de los edificios de estudio

Anexo 2: Dimensiones, parámetros térmicos de la envolvente y sistemas y horarios de funcionamiento

Anexo 3: Composición de elementos de la envolvente de los edificios y valores de transmitancia térmica

Anexo 4: Ahorros energéticos

Anexo 5: Condiciones de partida para calcular las reducciones de CO_2 alcanzables y su correspondencia con la calificación energética

Anexo 6: Condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

Anexo 7: Acrónimos

1. Objetivo, alcance y enfoque

Para la realización de este estudio, se han analizado qué soluciones comercialmente disponibles podrían dar lugar a edificios de alta calificación energética teniendo en cuenta qué inversiones podrían ser asumibles según en qué situaciones.

La propuesta final se sustenta sobre un riguroso trabajo realizado por Ecofys, en el que se ha simulado el comportamiento energético[1] de diferentes edificios en varios escenarios climáticos y periodos constructivos (ver tabla 1 "Alcance del estudio").

Tabla 1: Alcance del estudio[2]

Tipologías de edificios[3]	Periodos edificatorios	Zonas climáticas
1. Uso residencial (vivienda plurifamiliar de tres plantas con garaje y locales comerciales en planta baja)[4] 2. Uso terciario (edificios de oficinas de 14 plantas con planta baja comercial)[5]	1. Rehabilitación (los edificios de referencia se rigen por la norma básica sobre condiciones térmicas de los edificios NBE-CT-79) 2. Nueva construcción (los edificios de referencia se rigen por el CTE-06)	1. Madrid (zona D3) 2. Barcelona (zona C2) 3. Santander (zona C1)
TOTAL ESCENARIOS: 2 x 2 x 3 = 12		

[1] Los cálculos de rendimiento energético para cada escenario se ha realizado mediante la simulación dinámica de los edificios con el programa Design Builder, herramienta basada en la metodología EnergyPlusTM desarrollada por el Departamento de Energía de Estados Unidos y reconocido por la Agencia Internacional de la Energía.

[2] La muestra utilizada constituye un ejemplo de hasta dónde podrían llegar las medidas de ahorro energético, pudiendo hacerse extensible al parque edificatorio español de similares características.

[3] Ver características de los edificios de referencia en los anexos 1, 2 y 3 (información gráfica, dimensiones, parámetros térmicos de la envolvente y sistemas y horarios de funcionamiento, composición de elementos de la envolvente de los edificios y valores de transmitancia térmica.

[4] La vivienda plurifamiliar, ubicada sobre medianeras, consta de una planta baja donde se encuentran garajes y locales comerciales y tres plantas de viviendas. Cada planta consta de dos viviendas con idéntica distribución entorno a un patio de luz al que se asoman dos de los tres dormitorios de cada vivienda y el descansillo de escalera correspondiente a la planta. Cada vivienda tiene una superficie de 65,33 m2 distribuidos en una cocina, un salón, un aseo y un baño, un trastero, tres dormitorios y un pasillo. Además cada planta consta de una zona correspondiente al descansillo de la escalera y existe también un ojo de patio. Las dos fachadas exteriores del edificio son las de orientación norte y sur, y cada una de ellas consta de balcones al exterior. A fin de simplificar la simulación del edificio, se han modelado como un mismo espacio el pasillo, el aseo y el baño al igual que los dormitorios 1, 2 y 3. Se consideran zonas acondicionadas el salón y los tres dormitorios, siendo el resto de las zonas de cada vivienda. El garaje no ha sido incluido en la simulación del edificio. La vivienda tiene un coeficiente de compacidad de 1,52 y una relación área vidrio/área muro exterior de 0,21.

[5] Es un edificio destinado a oficinas constituido por catorce plantas que obedecen a la siguiente distribución:

- PLANTAS 1 a 11: Destinadas a usos de oficinas con una superficie total de 11.880 m^2, (superficie media por planta de 1.080 m^2).
- PLANTA BAJA, dispuesta para locales comerciales, hall y vestíbulo de acceso, con una superficie de 1.080 m^2. Ha sido simulada con horarios y cargas internas iguales a las plantas de oficinas debido a la similitud en horarios y la dificultad de predecir las cargas internas que dependen del uso del local comercial
- PLANTA CUBIERTA, preparada para albergar: azotea, sala de máquinas auxiliar de aire acondicionado y sala de máquinas de ascensores.

Internamente y con la excepción de la planta cubierta, todas las plantas están constituidas por un núcleo central donde se encuentran los ascensores, aseos y canalizaciones para tuberías y conductos. Rodeando este núcleo se encuentra el pasillo de distribución a los distintos módulos. La altura entre forjados es de 3 m, excepto en la planta sótano donde la altura es de 4 m. Asimismo se dispone de falso techo de 43 cm. de altura en módulos y de 63 cm en pasillos de distribuidores. El edificio tiene un coeficiente de compacidad de 4,33 y una relación área vidrio/muro exterior de 1,11.

Las soluciones a implantar para cada escenario han sido seleccionadas en base a en tres criterios fundamentales:

- Grado de aplicabilidad
- Viabilidad práctica y económica
- Comportamiento energético real

Nuestra propuesta tecnológica se basa en el concepto de la Triada Energética de Ecofys:

- **Paso 1. Reducir:** Este primer paso se centra en reducir las pérdidas térmicas mediante el aislamiento del edificio, mejora de la ventilación, recuperación de calor/frío, o control de pérdidas/ganancias solares..
- **Paso 2. Renovables.** Preferentemente se debería utilizar sólo energía procedente de fuentes renovables, como la energía solar, biomasa o energía geotérmica.
- **Paso 3. Eficiencia**. Para aquellos casos, en el que el suministro energético no puede ser realizado mediante renovables, el uso de la energía se debe realizar de la forma más eficiente posible. Ello supone la implantación de sistemas de suministro como calderas, bombas de calor o sistema de iluminación de alta eficiencia.

Tríada Energética

2. Viabilidad de las soluciones energéticas de alto rendimiento

Las medidas finalmente seleccionadas han sido agrupadas en dos conceptos energéticos (CE):

- **Concepto energético 1 (CE1):** agrupa las soluciones pasivas para reducir la demanda energética (paso 1 de la triada energética)
- **Concepto energético 2 (CE2):** además del CE1, este concepto incluye soluciones basadas en la aplicación de energías renovables, seguidas de medidas que aumenten la eficiencia energética de los servicios de calefacción e iluminación (paso 1+2+3 de la triada energética)

En la tabla 2 se refleja de forma resumida las medidas finalmente seleccionadas para cada concepto energético y escenario, cuyos detalles se desarrollan en las diferentes secciones de este capítulo.

Destacar que, además de los ahorros económicos derivados del aumento de la eficiencia, con la implantación de estas medidas, los edificios alcanzan un grado mayor de confort térmico y acústico en los espacios interiores y adicionalmente, los costes de mantenimiento de los edificios existentes pueden verse reducidos.

Tabla 2: Paquetes de medidas propuestas[6]

Medidas		VPF existente	VPF nueva	EO existente	EO nuevo
Paso 1: REDUCIR					
Mejora del aislamiento térmico	Muros de fachada	X	X	X	X
	Cubierta	X	X	X	X
Mejora de huecos	Ventana aislante con control solar	X	X	X	X
Ventilación controlada Recuperación de calor Enfriamiento gratuito	Mayor eficiencia en recuperación de calor				X
	Refrigeración nocturna			X	X
Concepto energético 1 (paso 1)					
Paso 2: RENOVABLES					
Energía fotovoltaica	Paneles FV			X	X
Energía solar térmica	Colectores solares para producción de ACS	X			
Energía geotérmica	Sistemas de intercambio geotérmico				X
Biomasa	Caldera de biomasa		X	X	
Paso 3: EFICIENCIA					
Calefacción Refrigeración	Bomba de calor de alta eficiencia (frío-calor)	X	X	X	X
	Caldera de alto rendimiento				X
	Difusión de frío-calor eficiente		X		X
Iluminación	Lámparas de alta eficiencia				X
	Reducción de suministro de tensión			X	
	Regulador de iluminación				X
Concepto energético 2 (pasos 1, 2 y 3)					

VPF: Vivienda plurifamiliar; EO: edificio de oficinas; ACS: agua caliente sanitaria; FV: fotovoltáico

[6] Estas medidas podrían variar si la orientación o compacidad del edificio cambiaran

Las técnicas bioclimáticas estrechamente relacionadas con el diseño de cada edificio (orientación, inercia térmica de la envolvente, disminución de los puentes térmicos en edificios altamente aislados con valores de transmitancia térmica de 0,2 W/m2K o inferiores, porción de huecos según la orientación o cubiertas ajardinadas), no han sido consideradas en el presente estudio pero presentan grandes oportunidades para la reducción de la demanda energética de los edificios.

Se desestimó la implantación de medidas de control de las ganancias solares en vivienda plurifamiliar ya que no representaba un aporte interesante debido al tamaño de los huecos y a su orientación[7].

Sin embargo el motivo fue diferente para el edificio de oficinas existente. El control solar se propuso en forma de lamas motorizadas y aportó ahorros energéticos considerables (20-30% en calefacción y refrigeración) pero no resultó económicamente viable debido al elevado precio del sistema.

La magnitud de la inversión necesaria también hizo desestimar la recuperación de calor del aire de extracción en la vivienda plurifamiliar nueva, a pesar logarse ahorros del 22% en calefacción y refrigeración.

A pesar de ser viable y suponer una reducción significativa del consumo energético, la regulación de la iluminación no ha podido ser incluida para vivienda plurifamiliar nueva por el hecho de no repercutir en la calificación energética de viviendas.

Otras medidas activas como la microgeneración[8], la trigeneración[9], los techos fríos, sistemas de climatización VAV[10] y VRV[11] y sistemas de domótica podrían ser contemplados en futuros estudios.

2.1. Vivienda plurifamiliar existente

2.1.a. Descripción de las medidas propuestas y los valores alcanzables

Para la rehabilitación energética de la vivienda de referencia se proponen dos medidas para la reducción de la demanda (ambas configurarían el CE1) consistentes en la mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas y la mejora de ventanas.

Adicionalmente a dichas medidas, el CE2 incorpora al paquete soluciones consistentes en la inclusión de energía solar térmica, calentadores de gas para la producción de ACS y una bomba de calor de alta eficiencia para la producción de calefacción.

[7] Esta afirmación queda restringida para el edificio analizado y en las zonas climáticas analizadas. Con otros edificios y otras orientaciones, este aporte no tiene porqué ser despreciable

[8] Microgeneración para la producción de energía térmica y eléctrica dentro del mismo edificio

[9] Trigeneración mediante el uso del calor producido en una máquina de absorción para la producción de refrigeración

[10] VAV: volumen de aire variable

[11] VRV: volumen de refrigerante variable

CE1: reducción de la demanda

Tabla 3: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE1 para VPF existente

Ciudad	CE 1														
	Referencia					Mejora					Alcance de medidas				
	Valor U cubierta W/m² K	Valor U fachada [W/m².K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte y sur [W/m².K]	Valor g acristalamiento norte y sur	Infiltración [1/h]	Valor U cubierta W/m² K	Valor U fachada [W/m².K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte y sur [W/m².K]	Valor g acristalamiento norte y sur	Infiltración [1/h]	Valor U cubierta [%]	Valor U fachada [%]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte y sur [%]	Valor g acristalamiento norte y sur [%]	Infiltración [%]
	R1.1	R1.2	R2.1	R2.2	R2.3	M1.1	M1.2	M2.1	M2.2	M2.3	M1.1	M1.2	M2.1	M2.2	M2.3
Madrid	1,23	1,5	5,7	0,85	1	0,25	0,32	1,73	0,42	0,6	80	79	70	51	40
Barcelona	1,23	1,5	5,7	0,85	1	0,25	0,32	1,73	0,42	0,6	80	79	70	51	40
Santander	1,23	1,5	5,7	0,85	1	0,25	0,32	1,73	0,42	0,6	80	79	70	51	40

Mejora del aislamiento térmico (Medidas M1.1 y M1.2): La mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas para disminuir su transmitancia térmica supone la colocación de aislante térmico de determinado espesor[12] y la solución constructiva pertinente, dependiendo de si el aislante es colocado en la cara interior o exterior de la envolvente.

Referencia: Ausencia de aislamiento térmico

Mejora: Colocación de aislamiento térmico interior o exterior de aprox. 9-10 cm de aislante en las fachadas existentes y 12 cm de aislante en la cubierta + solución constructiva o acabado

Mejora de ventanas (Medidas M2.1, M2.2 y M2.3): La mejora de las ventanas supone la sustitución de la ventana existente por una de mejor comportamiento térmico[13].

Referencia: Ventana de acristalamiento simple (U=5,7 y g=0,85) y marco (U=5,7)

Mejora: Ventana de acristalamiento doble (U=1,6 y g=0,42) con cámara de aire y capa de baja emisividad y marco (U=2,2)

[12] El espesor de los aislantes dependerá de la resistencia térmica de cada material.

[13] A fin de simplificar el estudio, se ha elegido un factor solar (g) de 0,42 como propuesta de mejora. sin embargo, es recomendable la elección de dicho valor según la zona climática de estudio y la orientación de las fachadas del edificio. El factor solar de referencia ha sido determinado en función del tipo de acristalamiento necesario para cumplir con los valores de transmitancia térmica del CTE.

CE2: reducción de la demanda + renovables + eficiencia de las instalaciones

Tabla 4: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE2 para VPF existente

Ciudad	CE 2								
	Referencia			Mejora			Alcance de medidas		
	Contribución solar [%]	η (60 ºC)	η (80 ºC)	Contribución solar [%]	η (60 ºC)	COP	Contribución solar [%]	η (60 ºC) [%]	COP [%]
	R3.1	R3.2	R4.1	M3.1	M3.2	M4.1	M3.1	M3.2	M4.1
Madrid	0	1	1	60	1	3	60	13	327
Barcelona	0	1	1	60	1	3	60	13	327
Santander	0	1	1	60	1	3	60	13	327

Energía solar térmica (Medida M3.1 y M3.2): Aunque no es de obligatorio cumplimiento, se propone alcanzar un 60% de contribución solar mínima[14] para agua caliente sanitaria, tal y como marcan las ordenanzas solares para nueva edificación en las ciudades analizadas. El resto sería producido por calentadores individuales de gas.

Referencia: Producción de ACS con caldera de gas individual existente (ŋ 60 ºC=0,75)

Mejora: Instalación de sistema solar térmico (8,4 kW_{ter}) para la producción de ACS (60% de contribución solar) y calentador individual de gas (ŋ 60 ºC=0,85)

[14] Se ha estimado un valor medio de potencia a instalar (8,4 kW_{ter}) en función de la potencia necesaria para alcanzar la contribución solar mínima en cada una de las ciudades evaluadas.

Sistemas de climatización (Medida M4.1): Para la producción de calefacción se propone la sustitución de la caldera existente por una bomba de calor[15] de alta eficiencia.

Referencia: Caldera de gas individual existente (ŋ 80 ºC=0,75)

Mejora: Bomba de calor (COP=3,2) para calefacción y sistema de distribución y difusión existentes

2.1.b. Resultados energéticos alcanzables

Grafico 1. Ahorros energéticos alcanzables en VPF existente[16]

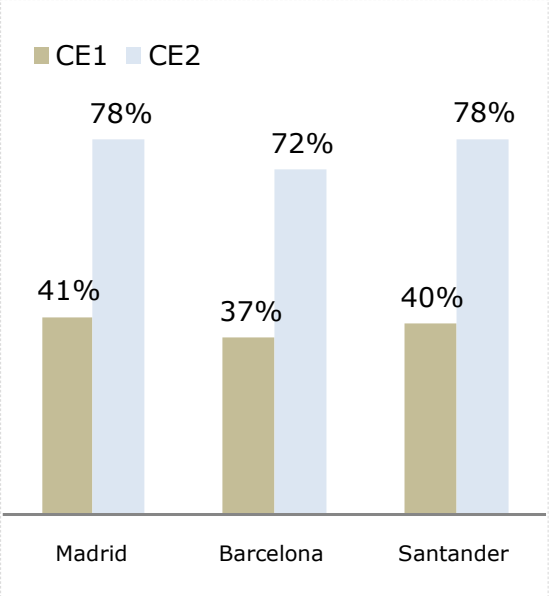
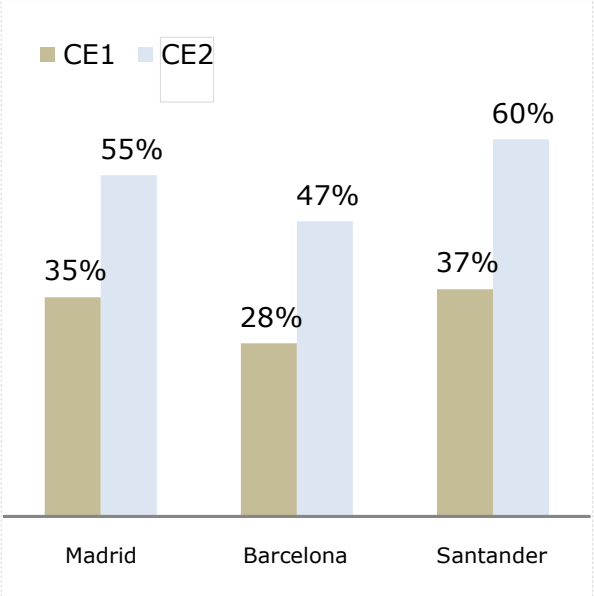


Grafico 2. Reducciones de CO_2 alcanzables en VPF existente[17]



Para el caso de la vivienda plurifamiliar existente, podemos alcanzar ahorros energéticos de entre el 72% y el 78% en función de la zona climática. Las medidas que más estarían contribuyendo serían el aislamiento térmico de fachada y cubierta y la sustitución de ventanas junto a la implantación de energía solar térmica.

La implantación de las medidas que forman parte del paquete de soluciones energéticas propuesto para vivienda plurifamiliar existente, conseguirían reducir las emisiones entre un 47-60%, en función de la zona climática. Obviamente las mayores reducciones se consiguen con la implantación de la energía solar térmica.

[15] Los COP y EER son una estimación del rendimiento total (específicamente) de los sistemas de producción y difusión de los sistemas calefacción y refrigeración sin incluir las pérdidas en distribución.

[16] En el anexo 4 se exponen los resultados con mayor grado de detalle para cada una de las ciudades

[17] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de las reducciones de CO2 alcanzables

Según nuestras estimaciones, una rehabilitación energética así concebida, permitiría al edificio optar a una **calificación B**[18].

2.1.c. Análisis de la viabilidad económica[19]

Los ahorros energéticos derivados de las medidas propuestas nos permitirían llegar a un edificio de calificación energética B y poder optar a subvenciones que cubrirían hasta un máximo del 27% de los costes elegibles para la mejora de la envolvente térmica y de la eficiencia de las instalaciones térmicas[20]. Este hecho, unido a una posible subida anual del precio de la energía en un 5%, nos llevaría a periodos de retorno de entre 7- 11 años.

Tabla 5. Análisis de la viabilidad económica para VPF existente

Aislamiento térmico de fachadas y cubiertas	Superficie fachada: 147,4 m² Superficie cubierta: 142 m²
Mejora de ventanas	Superficie cerramientos semitransparentes: 55,2 m²
Potencia de energía solar térmica a instalar	8,4 kWpico
Potencia calorífica para producción de calefacción	12 kW
Calentadores individuales de gas	-
Sobre-coste de las medidas	84-101 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	15-18	21-25	20-24
C/incremento de 5% del precio energético (a)	11-12	13-15	13-15
C/incremento de 10% del precio energético (a)	9-10	11-12	11-12
Simple C/ Subvención	10-12	13-16	13-15
C/subvención y c/incremento de 5% del precio energético (a)	7-8	9-11	9-11
C/subvención y c/incremento de 10% del precio energético (a)	6-7	8-9	8-9
Ahorro energético anual (€/m² de área útil.a)	5,23	4,11	4,21
Calificación energética	B	B	B

VPF: vivienda plurifamiliar existente; (a)=años

[18] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de la certificación energética

[19] En el anexo 6 se describen las condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

[20] No consideramos las ayudas públicas para la inserción de solar térmica para ACS por el hecho de no ser gasto elegible si la contribución de energía renovable que se propone es para cubrir el mínimo exigible por el Código Técnico de la Edificación o en ordenanzas municipales

2.2. Vivienda plurifamiliar nueva

2.2.a. Descripción de las medidas propuestas y los valores alcanzables

Al igual que para vivienda existente, el CE1 cuenta con la mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas y la mejora de ventanas.

El CE2 suma a las propuestas para disminuir la demanda una caldera de biomasa para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción, una bomba de calor de alta eficiencia para la producción de refrigeración y un sistema de difusión frío-calor eficiente.

CE1: reducción de la demanda

Tabla 6: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE1 para VPF nueva

Ciudad	CE 1																				
	Referencia							Mejora							Alcance de medidas						
	Valor U cubierta W/m²·K	Valor U fachada [W/m²·K]	Valor U ventana norte (acristalamiento+marco) [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [W/m²·K]	Valor g acristalamiento norte	Valor g acristalamiento sur	Infiltración [1/h]	Valor U cubierta W/m²·K	Valor U fachada [W/m²·K]	Valor U ventana norte (acristalamiento+marco) [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [W/m²·K]	Valor g acristalamiento norte	Valor g acristalamiento sur	Infiltración [1/h]	Valor U cubierta [%]	Valor U fachada [%]	Valor U ventana norte (acristalamiento+marco) [%]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [%]	Valor g acristalamiento norte [%]	Valor g acristalamiento sur [%]	Infiltración [%]
	R1.1	R1.2	R2.1	R2.1	R2.2	R2.2	R2.3	M1.1	M1.2	M2.1	M2.1	M2.2	M2.2	M2.3	M1.1	M1.2	M2.1	M2.1	M2.2	M2.2	M2.3
Madrid	0,38	0,65	2,5	3,5	0,52	0,75	0,6	0,25	0,32	1,5	1,5	0,42	0,42	0,4	34	51	40	57	19	44	33
Barcelona	0,38	0,65	2,9	4,3	0,52	0,75	0,6	0,25	0,32	1,5	1,5	0,42	0,42	0,4	34	51	48	65	19	44	33
Santander	0,38	0,65	2,9	4,3	0,52	0,75	0,6	0,25	0,32	1,5	1,5	0,42	0,42	0,4	34	51	48	65	19	44	33

Mejora del aislamiento térmico (Medidas M1.1 y M1.2): La mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas para alcanzar una transmitancia térmica inferior supone el aumento de espesor del aislante térmico[21], sin considerar la solución constructiva ya que se asume en el diseño del elemento.

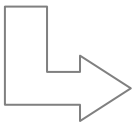
Referencia: Nivel de aislamiento térmico determinado por el CTE para cada zona climática

Mejora: Aumento del espesor del aislante térmico (aprox. 5-6 cm en las fachadas y 4 cm en la cubierta)

[21] El espesor de los aislantes dependerá de la resistencia térmica de cada material.

Mejora de ventanas (Medidas M2.1, M2.2 y M2.3): La mejora del comportamiento térmico de las ventanas supone la combinación de un acristalamiento y un marco que posean un valor de transmitancia térmica menor a la dictada por el CTE y un factor solar inferior[22].

Referencia: Valor de transmitancia térmica de huecos determinado por el CTE para cada zona climática



Mejora: Ventana de acristalamiento doble (U=1,4 y g=0,42) con cámara de aire y capa de baja emisividad y marco (U=2,2)

CE2: reducción de la demanda + renovables + eficiencia de las instalaciones

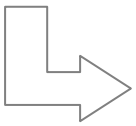
Tabla 7: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE2 para VPF nueva

Ciudad	CE 2					
	Referencia		Mejora		Alcance de medidas	
	η (60 ºC/80 ºC)	EER	η (60 ºC/80 ºC)	EER	η (60 ºC/80 ºC) [%]	EER [%]
	R3.1	R3.2	M3.1	M3.2	M3.1	M3.2
Madrid	0,85	3,0	0,93	4,0	9	33
Barcelona	0,85	3,0	0,93	4,0	9	33
Santander	0,85	3,0	0,93	4,0	9	33

[22] A fin de simplificar el estudio, se ha elegido un factor solar (g) de 0,42 como propuesta de mejora. Sin embargo, es recomendable la elección de dicho valor según la zona climática de estudio y la orientación de las fachadas del edificio. El factor solar de referencia ha sido determinado en función del tipo de acristalamiento necesario para cumplir con los valores de transmitancia térmica del CTE.

Sistema de Climatización (Medida M3.1 y M3.2): Para la producción de calefacción y refrigeración se propone la inclusión de una caldera de biomasa para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción, y una bomba de calor[23] para la producción de refrigeración, ambas centralizadas. La difusión del frío y el calor ha simulado a través de un suelo radiante[24].

Referencia: Caldera mixta de gas individual (ŋ 60 ºC/80 ºC=0,85), radiadores y aire acondicionado individual (EER=3)



Mejora: Caldera centralizada de biomasa (ŋ 60 ºC/80 ºC=0,93), bomba de calor centralizada (EER=4) y suelo radiante para difusión de calor y frío

[23] Los COP y EER son una estimación del rendimiento total (específicamente) de los sistemas de producción y difusión de los sistemas calefacción y refrigeración sin incluir las pérdidas en distribución.

[24] A una temperatura operativa de 25 °C el suelo radiante para la difusión del frio alcanza una potencia de aprox. 25W/m2, lo cual es suficiente para un edificio residencial si el mismo posee la protección solar adecuada y un diseño idóneo en lo que se refiere a orientación y tamaño de los huecos. Las superficies radiantes para la difusión del frio contribuyen a mejorar la eficiencia energética del edificio debido a que:

1. Las altas temperaturas de impulsión requeridas para la gran porción de superficie de radiación permiten aumentar el EER en aprox. 20%, comparadas con un aire acondicionado convencional.
2. Las altas temperaturas de impulsión requeridas permiten la utilización de sistemas de climatización sostenibles (p.ej. el aprovechamiento de las aguas subterráneas para climatización)
3. Su alta parte proporcional de energía radiante del refrescamiento permite reducir la temperatura ambiente en 1-2°C sin que varíe la sensación térmica. Esto conlleva a un ahorro energético adicional.
4. Y por último, presentan un efecto de autorregulación, mientras mayor es la temperatura interior, mayor será el potencial de refrescamiento.

2.2.b. Resultados energéticos alcanzables

Grafico 3. Ahorros energéticos alcanzables en VPF nueva[25]

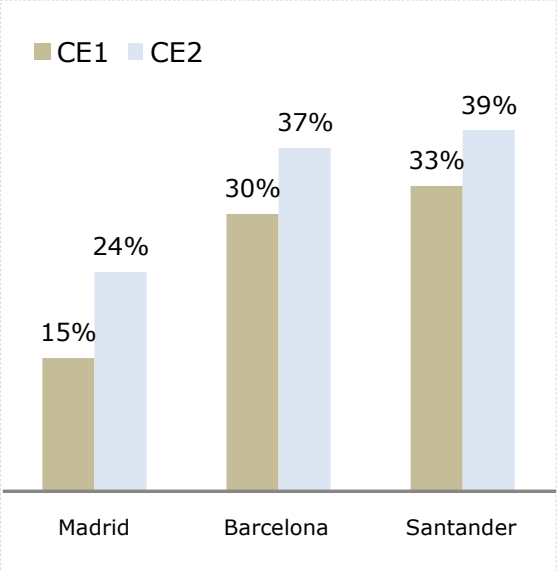
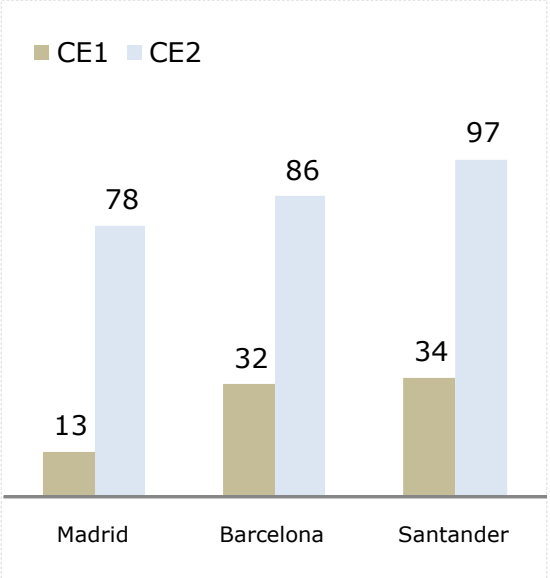


Grafico 4. Reducciones de CO2 alcanzables en VPF nueva[26]



Si nos vamos a construcción nueva, los ahorros rondarían el 24-39% del consumo de energía total de la vivienda, siendo de nuevo el aislamiento térmico de fachadas y cubierta junto a la mejora de ventanas las medidas que contribuirían en mayor medida.

Para el caso de construcción de vivienda nueva, el escenario alcanzable nos llevarían a un edificio de **máxima calificación energética**[27] en todas las zonas climáticas analizadas. Estamos hablando de reducciones de entre el 78-97%, alcanzables en gran medida por la inclusión de una caldera de biomasa para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción.

2.2.c. Análisis de la viabilidad económica[28]

La aplicación de las medidas propuestas evidencia plazos de amortización menores para Barcelona y Santander al conseguir menores transmitancias térmicas. El aumento del precio energético reduce los plazos de retorno de la inversión de forma considerable.

Al alcanzar la máxima calificación energética, se podría cubrir la totalidad de la inversión inicial con las ayudas públicas destinadas a nueva edificación con calificación A (35 €/m^2).

[25] En el anexo 4 se exponen los resultados con mayor grado de detalle para cada una de las ciudades

[26] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de las reducciones de CO2 alcanzables

[27] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de la certificación energética

[28] En el anexo 6 se describen las condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

Tabla 8. Análisis de la viabilidad económica del CE2 para VPF nueva

Aislamiento térmico de fachadas y cubiertas	Superficie fachada: 147,4 m² Superficie cubierta: 142 m²
Mejora de ventanas	Superficie cerramientos semitransparentes: 55,2 m²
Potencia calorífica para producción de ACS y calefacción con biomasa	10 kW
Potencia calorífica para producción de refrigeración	7 kW
Suelo radiante	-
Sobre-coste de las medidas	21-25 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	29-35	17-21	19-22
C/incremento de 5% del precio energético (a)	18-20	12-13	12-14
C/incremento de 10% del precio energético (a)	13-15	9-11	10-11
Simple C/ Subvención	-	-	-
Ahorro energético anual (€/m² de área útil.a)	0,66	1,17	1,07
Calificación energética	A	A	A

VPF: vivienda plurifamiliar existente; (a)=años; ACS: agua caliente sanitaria

2.3. Edificio de oficinas existente

2.3.a. Descripción de las medidas propuestas y los valores alcanzables

Las medidas para reducir la demanda que forman parte del CE1 son la mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas, la mejora del comportamiento térmico de las ventanas y el uso de refrigeración nocturna. El CE2 añade a estas medidas la inclusión de energía solar fotovoltaica, una caldera de biomasa para la producción de calefacción, una planta enfriadora de alta eficiencia para la climatización del edificio y un equipo de reducción de suministro de tensión.

CE1: reducción de la demanda

Tabla 9: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE1 para EO existente

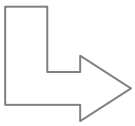
Ciudad	CE 1																	
	Referencia						Mejora						Alcance de medidas					
	Valor U cubierta [W/m².K]	Valor U fachada [W/m².K]	Valor U (acristalamiento+marco) norte, sur, este y oeste [W/m².K]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste	Infiltración [1/h]	Refrigeración nocturna[1/h]	Valor U cubierta [W/m².K]	Valor U fachada [W/m².K]	Valor U (acristalamiento+marco) norte, sur, este y oeste [W/m².K]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste	Infiltración [1/h]	Refrigeración nocturna[1/h]	Valor U cubierta [%]	Valor U fachada [%]	Valor U (acristalamiento+marco) norte, sur, este y oeste [%]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste [%]	Infiltración [%]	Refrigeración nocturna [%]
	R1.1	R1.2	R2.1	R2.2	R2.3	R3.1	M1.1	M1.2	M2.1	M2.2	M2.3	M3.1	M1.1	M1.2	M2.1	M2.2	M2.3	M3.1
Madrid	1,23	1,5	3	0,76	0,6	0	0,25	0,32	1,9	0,42	0,6	1,5	80	79	37	45	0	-
Barcelona	1,23	1,5	3	0,76	0,6	0	0,25	0,32	1,9	0,42	0,6	1,5	80	79	37	45	0	-
Santander	1,23	1,5	3	0,76	0,6	0	0,25	0,32	1,9	0,42	0,6	1,5	80	79	37	45	0	-

Mejora del aislamiento térmico (Medidas M1.1 y M1.2): La mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas para alcanzar una transmitancia térmica inferior supondría la colocación de aislante térmico de determinado espesor[29] y la solución

[29] El espesor de los aislantes dependerá de la resistencia térmica de cada material.

constructiva pertinente, dependiendo de si el aislante es colocado en la cara interior o exterior de la envolvente.

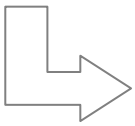
Referencia: Ausencia de aislamiento térmico



Mejora: Colocación de aislamiento térmico interior o exterior de aprox. 9-10 cm de aislante en las fachadas existentes y 12 cm de aislante en la cubierta + solución constructiva o acabado

Mejora de las ventanas (Medidas M2.1, M2.2 y M2.3): La mejora del comportamiento térmico de las ventanas supone la sustitución del acristalamiento existente por uno de transmitancia térmica y factor solar[30] inferiores.

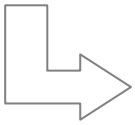
Referencia: Ventana de acristalamiento doble (U=2,7 y g=0,76) y marco (U=5,7)



Mejora: Ventana de acristalamiento doble (U=1,4 y g=0,42) con cámara de aire y capa de baja emisividad y marco (U=5,7)

Refrigeración nocturna (Medida M3.1): Durante los meses en los que se deba activar, la refrigeración nocturna se realizaría mediante la activación automática del sistema de ventilación[31] cuando la diferencia entre la temperatura interior y la exterior sea superior a los 5 ºC y la temperatura interior no sea inferior a 18ºC.

Referencia: Ausencia de ventilación en horas nocturnas



Mejora: Sistema de accionamiento automático de la ventilación

[30] A fin de simplificar el estudio, se ha elegido un factor solar (g) de 0,42 como propuesta de mejora. Sin embargo, es recomendable la elección de dicho valor según la zona climática de estudio y la orientación de las fachadas del edificio. El factor solar de referencia corresponde al tipo de acristalamiento propuesto para el edificio de referencia.

[31] Se logra reducir y optimizar el consumo energético mediante el uso de ventiladores con motor de velocidad variable. La reducción del consumo energético en refrigeración en el presente estudio es alrededor de un 5%.

CE2: reducción de la demanda + renovables + eficiencia de las instalaciones

Tabla 10: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE2 para EO existente

Ciudad	CE 2											
	Referencia				Mejora				Alcance de medidas			
	Energía fotovoltaica [kWpico]	η (80 ºC)	EER	Reducción de suministro de tensión [%]	Energía fotovoltaica [kWpico]	η (80 ºC)	EER	Reducción de suministro de tensión [%]	Energía fotovoltaica [%]	η (80 ºC) [%]	EER [%]	Reducción de suministro de tensión [%]
	R4.1	R5.1	R5.2	R6.1	M4.1	M5.1	M5.2	M6.1	M4.1	M5.1	M5.2	M6.1
Madrid	0	0,75	1,8	0	54	0,93	3,3	12	-	24	83	12
Barcelona	0	0,75	1,8	0	54	0,93	3,3	12	-	24	83	12
Santander	0	0,75	1,8	0	54	0,93	3,3	12	-	24	83	12

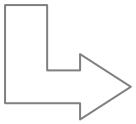
Energía solar fotovoltaica (Medida M4.1): Se propone la instalación de módulos fotovoltaicos en el espacio libre disponible en la cubierta plana del edificio, a pesar de no ser de obligado cumplimento

Referencia: Ausencia de energía solar fotovoltaica

Mejora: Instalación de 54 kWpico de potencia solar fotovoltaica en cubierta

Sistemas de climatización (Medidas M5.1 y M5.2): Para la climatización del edificio se propone la sustitución de la caldera existente y la planta enfriadora por una caldera de biomasa y una planta enfriadora de mayor eficiencia[32].

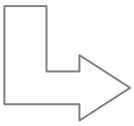
Referencia: Caldera de gas centralizada existente (ŋ (80 ºC)=0,75) y planta enfriadora aire-agua (EER=1,8)



Mejora: Caldera de biomasa centralizada ((80 ºC)=0,93) y planta enfriadora aire-agua (EER=3,3) con sistema de difusión existente

Medida 6 (M6.1) – Reducción de suministro de tensión: Se propone la instalación de un sistema de reducción de suministro de tensión que permita reducir el consumo sin realizar cambios en las instalaciones de iluminación existentes.

Referencia: Tensión 220A



Mejora: Sistema de reducción de suministro de tensión centralizado 3x220A 35V

[32] Los COP y EER son una estimación del rendimiento total (específicamente) de los sistemas de producción y difusión de los sistemas de calefacción y refrigeración sin incluir las pérdidas en distribución.

2.3.b. Resultados energéticos alcanzables

Grafico 5. Ahorros energéticos alcanzables en EO existente[33]

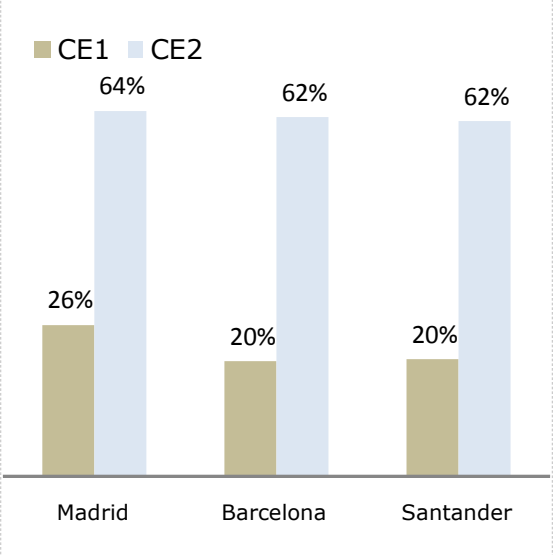
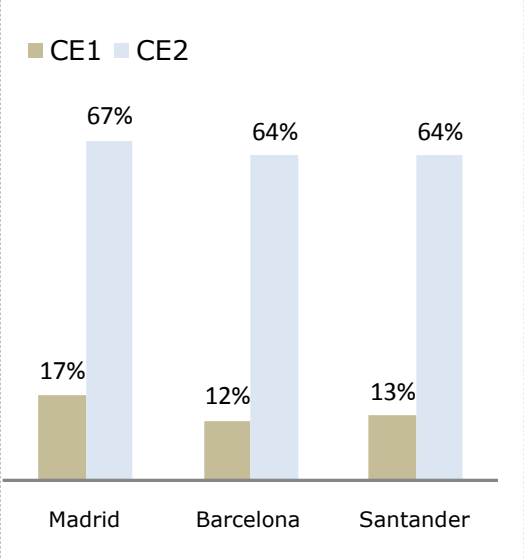


Grafico 6. Reducciones de CO2 alcanzables en EO existente[34]



Las medidas propuestas para la rehabilitación energética del edificio de oficinas existente podrían alcanzar reducciones de entre el 62% y el 64% del consumo de energía. Además del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas y la sustitución de ventanas, la reducción del suministro de tensión y la mejora del sistema de climatización han sido las claves para llegar a estas reducciones.

La reducción de las emisiones de CO2 se ha estimado en un 64-67% según la ciudad de la que hablemos, jugando la caldera de biomasa un papel decisivo. El edificio así rehabilitado podrían optar a una **calificación energética B**[35].

2.3.c. Análisis de la viabilidad económica[36]

Los ahorros energéticos conseguidos permitirían alcanzar una calificación energética B haciendo posible contar con ayudas públicas que cubrieran el 27% de los costes elegibles tanto de la mejora de la envolvente como de la bomba de calor. Adicionalmente, la caldera de biomasa podría optar a subvenciones que cubrieran del 30% de los costes de referencia (600 €/kW).

En caso de que ser beneficiarios de dichas subvenciones y, suponiendo una incremento anual del precio de la energía del 5%, los plazos de retorno no superarían los dos años.

[33] En el anexo 4 se exponen los resultados con mayor grado de detalle para cada una de las ciudades

[34] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de las reducciones de CO2 alcanzables

[35] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de la certificación energética

[36] En el anexo 6 se describen las condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

Tabla 11. Análisis de la viabilidad económica para EO existentes[37]

Aislamiento térmico de fachadas y cubiertas	Superficie fachada: 2.029 m² Superficie cubierta: 1.200 m²
Mejora de ventanas	Superficie cerramientos semitransparentes: 2.998 m²
Activación de ventilación nocturna	-
Potencia calorífica a instalar	264 kW
Potencia frigorífica a instalar	500 kW
Control de suministro de tensión	3x220 A
Sobre-coste de las medidas	58-69 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	5-6	5-6	6-7
C/incremento de 5% del precio energético (a)	4-4	4-5	4-5
C/incremento de 10% del precio energético (a)	3-4	3-4	4-4
Simple C/ Subvención	2-3	3-3	3-4
C/subvención y c/incremento de 5% del precio energético (a)	1-2	2-2	2-2
C/subvención y c/incremento de 10% del precio energético (a)	1-2	1-2	2-2
Ahorro energético anual (€/m² de área útil.a)	11,84	11,17	10,73
Calificación energética	B	B	B

EO: edificio de oficinas; (a)=años

La inversión y los ingresos derivados de la producción eléctrica de la instalación fotovoltaica han sido objeto de un análisis individual al gozar de primas especiales, generar una energía no destinada al auto-consumo y ser en ocasiones propiedad de una entidad diferente al propietario del edificio.

Suponiendo que un periodo de amortización que no supere el tiempo de vida útil de las instalaciones (25 años) haría viable la inversión en fotovoltaica, en Santander se hace difícil a no ser que apliquemos precios menores a 4 €/W_{pico}

[37] La inversión y la producción eléctrica de la instalación fotovoltaica no han sido incluidos en el análisis económico del CE 2.

Tabla 12. Análisis de la viabilidad económica de la implantación de energía fotovoltaica para EO existente

Potencia de energía solar fotovoltaica a instalar	54 kWpico
Precio medio estimado	3,6-4 €/Wpico
Primas en 2010	0,32 €/kWh
Sobre-coste de las medidas	22-24 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	9-11	11-16	21-26
Ingresos por venta de energía (€/m² de área útil.a)	72	67	57

EO: Edificio de oficinas

2.4. Edificio de oficinas nuevo

2.4.a. Descripción de las medidas propuestas y los valores alcanzables

El CE1 cuenta con cuatro medidas de reducción de la demanda energética: mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas, mejora de ventanas, un sistema de recuperación de calor de mayor eficiencia y refrigeración nocturna. El concepto energético 2 añade además la producción de climatización mediante bomba de calor geotérmica y calderas de gas con difusión por forjado radiante, el uso de lámparas eficientes y la inclusión de un sistema de regulación de iluminación, además de ampliar la potencia instalada en fotovoltaica.

CE1: reducción de la demanda

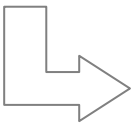
Tabla 13: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE1 para EO nuevo

Ciudad	CE 1																														
	Referencia									Mejora										Alcance de medidas											
	Valor U cubierta [W/m²·K]	Valor U fachada [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) este y oeste [W/m²·K]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste	Infiltración [1/h]	Recuperación de calor [%]	Refrigeración nocturna [1/h]	Valor U cubierta [W/m²·K]	Valor U fachada [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) este y oeste [W/m²·K]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste	Infiltración [1/h]	Recuperación de calor [%]	Refrigeración nocturna [1/h]	Valor U cubierta [%]	Valor U fachada [%]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) norte [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) sur [W/m²·K]	Valor U ventana (acristalamiento+marco) este y oeste [W/m²·K]	Valor g acristalamiento norte, sur, este y oeste [%]	Infiltración [%]	Recuperación de calor [%]	Refrigeración nocturna [%]
	R1.1	R1.2	R2.1	R2.1	R2.1	R2.2	R2.3	R3.1	R4.1	M1.1	M1.2	M2.1	M2.1	M2.1	M2.2	M2.3	M3.1	R4.1	M1.1	M1.2	M2.1	M2.1	M2.1	M2.2	M2.3	M3.1	R4.1
Madrid	0,38	0,65	1,9	3,0	2,3	0,52	0,6	44	0	0,25	0,32	1,5	1,5	1,5	0,42	0,4	85	1,5	34	51	21	50	35	19	33	93	-
Barcelona	0,38	0,65	2,2	3,5	2,7	0,52	0,6	44	0	0,25	0,32	1,5	1,5	1,5	0,42	0,4	85	1,5	34	51	32	57	44	19	33	93	-
Santander	0,38	0,65	2,2	3,5	2,7	0,52	0,6	44	0	0,25	0,32	1,5	1,5	1,5	0,42	0,4	85	1,5	34	51	32	57	44	19	33	93	-

<u>Mejora del aislamiento térmico (Medidas M1.1 y M1.2):</u> Al igual que para la vivienda plurifamiliar nueva, la mejora del aislamiento térmico de fachadas y cubiertas para alcanzar una transmitancia térmica inferior supone el aumento de espesor del aislante térmico[38] y no considera la solución constructiva ya que se asume en el diseño del elemento.

[38] El espesor de los aislantes dependerá de la resistencia térmica de cada material.

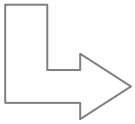
Referencia: Nivel de aislamiento térmico determinado por el CTE para cada zona climática



Mejora: Aumento del espesor del aislante térmico (aprox. 5-6 cm en las fachadas y 4 cm en la cubierta)

Mejora de las ventanas (MedidasM2.1, M2.2 y M2.3): La mejora del comportamiento térmico de las ventanas supone la combinación de un acristalamiento y un marco que posean un valor de transmitancia térmica menor a la dictada por el CTE y un factor solar inferior[39].

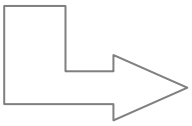
Referencia: Valor de transmitancia térmica de huecos determinado por el CTE para cada zona climática



Mejora: Ventana de acristalamiento doble (U=1,4 y g=0,42) con cámara de aire y capa de baja emisividad y marco (U=2,2)

Sistema de recuperación de calor (Medida M3.1): Se propone incrementar la eficiencia establecida por el R.I.T.E. del sistema de recuperación de calor del aire de extracción expulsado al exterior del edificio.

Referencia: 44% de eficiencia del sistema de recuperación de calor



Mejora: 85% de eficiencia del sistema de recuperación de calor

Refrigeración nocturna (Medida M4.1): Durante los meses que sea necesario, la refrigeración nocturna se realizaría mediante la activación automática del sistema de ventilación[40] cuando la diferencia entre la temperatura interior y la exterior sea superior a los 5 ºC y la temperatura interior no sea inferior a 18ºC.

[39] A fin de simplificar el estudio, se ha elegido un factor solar (g) de 0,42 como propuesta de mejora. Sin embargo, es recomendable la elección de dicho valor según la zona climática de estudio y la orientación de las fachadas del edificio. El factor solar del acristalamiento del edificio de referencia ha sido estimado para cumplir con los valores de factor solar modificado establecidos en el CTE para cada zona climática y diferentes orientaciones de fachada.

[40] Se logra reducir y optimizar el consumo energético mediante el uso de ventiladores con motor de velocidad variable. La reducción del consumo energético en refrigeración en el presente estudio es alrededor de un 5%.

Referencia: Ausencia de ventilación en horas

Mejora: Programación automática del sistema de ventilación nocturna

CE2: reducción de la demanda + renovables + eficiencia de las instalaciones

Tabla 14: Valores de los parámetros afectados por la implantación de las medidas incluidas en el CE2 para EO nuevo

Ciudad	CE 2																	
	Referencia						Mejora						Alcance de medidas					
	Energía fotovoltaica [kWpico]	η (80 ºC)	COP	EER	Regulación de iluminación [lux	Lámparas eficientes[W/m²]	Energía fotovoltaica [kWpico]	η (80 ºC)	COP	EER	Regulación de iluminación [lux	Lámparas eficientes[W/m²]	Energía fotovoltaica [%]	η (80 ºC) [%]	COP [%]	EER [%]	Regulación de iluminación [%:	Lámparas eficientes[%]
	R5.1	R6.1	R6.2	R6.3	R7.1	R8.1	M5.1	M6.1	M6.2	M6.3	M7.1	M8.1	M5.1	M6.1	M6.2	M6.3	M7.1	M8.1
Madrid	14	0,9	0	300	0	10,5	54	0,9	440	520	500	6,8	286	60	264	73	-	35
Barcelona	14	0,9	0	300	0	10,5	54	0,9	440	520	500	6,8	286	60	264	73	-	35
Santander	14	0,9	0	300	0	10,5	54	0,9	440	520	500	6,8	286	60	2664	73	-	35

Energía solar fotovoltaica (Medida M5.1): Se propone la instalación de una potencia mayor a la obligatoria en la cubierta plana del edificio en el espacio libre disponible de la misma[41].

Referencia: 14 kWpico de potencia solar fotovoltaica

Mejora: Instalación de 40 kWpico adicionales de potencia solar fotovoltaica

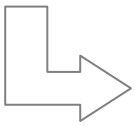
Sistema de climatización (Medidas M6.1, M6.2 y M6.3): Se propone la instalación de un sistema de climatización más eficiente[42] y que garantice un mayor confort térmico mediante bomba de calor geotérmica y calderas de gas con difusión por forjado radiante

[41] Se ha estimado un valor medio de potencia a instalar (14 kW_{pico}) en el edificio de referencia, en función de la potencia necesaria para cumplir con lo estipulado en el CTE para cada una de las ciudades evaluadas.

[42] Los COP y EER son una estimación del rendimiento total (específicamente) sistemas de producción y difusión de los sistemas de calefacción y refrigeración sin incluir las perdidas en distribución. Las superficies radiantes para la difusión del frio contribuyen a mejorar la eficiencia energética del edificio debido a que:

1. Las altas temperaturas de impulsión requeridas para la gran porción de superficie de radiación permiten aumentar el EER en aprox. 20%, comparadas con un aire acondicionado convencional.
2. Las altas temperaturas de impulsión requeridas permiten la utilización de sistemas de climatización sostenibles (p.ej. el aprovechamiento de las aguas subterráneas para climatización)
3. Su alta parte proporcional de energía radiante del refrescamiento permite reducir la temperatura ambiente en 1-2°C sin que varíe la sensación térmica. Esto conlleva a un ahorro energético adicional.
4. Y por último, presentan un efecto de autorregulación, mientras mayor es la temperatura interior, mayor será el potencial de refrescamiento.

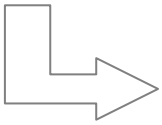
Referencia: Caldera de gas (η (80 ºC)=0,90), planta enfriadora aire-agua (EER=3,0) centralizadas y difusión por fancoils



Mejora: Caldera de gas (η (80 ºC)=0,90), bomba de calor geotérmica (COP=4,4 y EER=5,2) y forjado radiante para la difusión de frío y calor

Sistema de regulación de iluminación (Medida M7.1): Se propone la instalación de un sistema de control de de iluminación auto-regulable en función del nivel de iluminación natural, suponiendo la existencia de balastro electrónico.

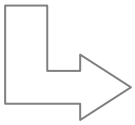
Referencia: Sistema estándar para Edificios



Mejora: Sistema Regulador

Lámparas eficientes (Medida M8.1): El ahorro energético se logra con luminarias de tubos fluorescentes de mayor eficiencia energética.

Referencia: Tubos fluorescentes T8



Mejora: Tubos fluorescentes T5

2.4.b. Resultados energéticos alcanzables

Grafico 7. Ahorros energéticos alcanzables para EO nuevo[43]

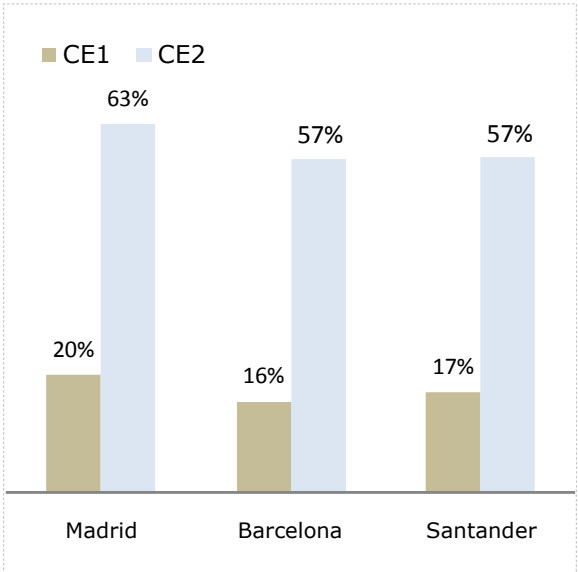
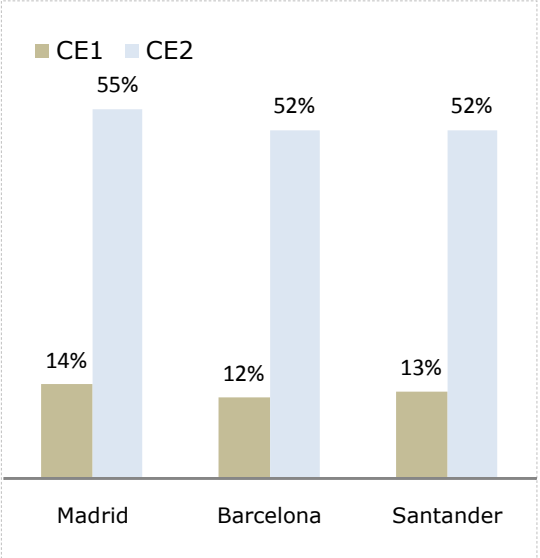


Grafico 8. Reducciones de CO2 alcanzables para EO nuevo[44]



El edificio de oficinas de nueva construcción podría mejorar su rendimiento energético en un 57-63%. Las medidas que más contribuirían a dicha mejora serían el aislamiento térmico de fachadas y cubierta, la mejora de ventanas, el aumento de la eficiencia del sistema de recuperación de calor, la regulación de la iluminación y la mejora del sistema de climatización.

Las reducciones de las emisiones de CO_2 en oficinas se estiman en un 52-55% en función de la zona climática. En esta ocasión, la medida más influyente es la utilización de un sistema de intercambio geotérmico ya que conlleva un gran incremento de la eficiencia total del sistema de climatización

El edificio de oficinas de nueva construcción podría optar a una **calificación energética B**[45].

3.2.4.c. Análisis de la viabilidad económica[46]

Las medidas propuestas para la mejora de la envolvente térmica junto con el recuperador de calor presentan periodos de retorno a la inversión muy atractivos.

Considerando que el paquete total de medidas propuestas podría llevar al edificio a calificación B, las ayudas públicas podrían alcanzar los 15 €/m^2. Esta cifra, unida a

[43] En el anexo 4 se exponen los resultados con mayor grado de detalle para cada una de las ciudades

[44] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de las reducciones de CO2 alcanzables

[45] En el anexo 5 se informa de las condiciones de partida para el cálculo de la certificación energética

[46] En el anexo 6 se describen las condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

los ahorros energéticos alcanzables con la implantación del concepto energético 2 (a excepción de la energía fotovoltaica) podría dar lugar a periodos de retorno entre los 10 y los 13 años, suponiendo una subida anual del precio de la energía del 5%.

Estos plazos relativamente largos se deben a alta inversión a realizar en el sistema de climatización por geotermia que podría rebajarse con la aplicación de ayudas públicas (no consideradas en el estudio porque son pocas las CC.AA que promueven esta tecnología[47]).

Tabla 15. Análisis de la viabilidad económica para EO nuevo[48]

Aislamiento térmico de fachadas y cubiertas	Superficie fachada: 2.029 m² Superficie cubierta: 1.200 m²
Mejora de ventanas	Superficie cerramientos semitransparentes: 2.998 m²
Recuperador de calor	25.000 m^3/h
Potencia calorífica a instalar	440 kW
Potencia frigorífica a instalar	320 kW
Regulador de iluminación	-
Lámparas fluorescentes T5	-
Sobre-coste de las medidas	114-136 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	16-19	18-21	18-22
C/incremento de 5% del precio energético (a)	11-13	12-14	12-14
C/incremento de 10% del precio energético (a)	9-10	10-11	10-11
Simple C/ Subvención	14-17	15-19	16-20
C/subvención y c/incremento de 5% del precio energético (a)	10-12	11-13	11-13
C/subvención y c/incremento de 10% del precio energético (a)	8-9	9-10	9-10
Ahorro energético anual (€/m² de área útil.a)	7,17	6,43	6,17
Calificación energética	B	B	B

(a)=años; EO: Edificio de oficinas

Por las mismas razones expuestas para el otro edificio de oficinas, en este caso la viabilidad de la instalación fotovoltaica también se analiza de forma aislada del resto de medidas, arrojando resultados similares. Además, queríamos poner de manifiesto el esfuerzo inversor para conseguir unirnos al compromiso de la Unión Europea establecido en la propuesta de revisión de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios: construir edificios "cero CO_2"[49] a partir del 2020.

Arroja resultados similares: tan solo podría ser viable la inversión en Santander si aplicamos precios menores a 4 €/W_{pico} para una instalación de 25 años de vida útil.

[47] Los costes de referencia establecidos por el **PROGRAMA DE AYUDAS PÚBLICAS IDAE-GENERCAN 2009 A NUEVOS PROYECTOS en el área de geotermia se establecen en** 1.400 €/kw para circuito cerrado sondeo vertical; 1.000 €/kw para circuito cerrado sondeo horizontal; 490 €/kW circuito abierto

[48] La inversión y la producción eléctrica de la instalación fotovoltaica no han sido incluidos en el análisis económico del CE 2.

[49] El término Cero CO2 se asume cuando un edificio genera la misma o más energía de la que consume

Tabla 16. Análisis de la viabilidad económica de la implantación de energía fotovoltaica para EO nuevo

Potencia de energía solar fotovoltaica a instalar	40 kW_{pico}
Precio medio estimado	3,6-4 €/W_{pico}
Primas en 2010	0,32 €/kWh
Sobre-coste de las medidas	16-17,7 €/m² de área útil

Plazo de retorno de la inversión	**Madrid**	**Barcelona**	**Santander**
Simple (a)	9-13	12-18	23-26
Ingresos por venta de energía (€/m² de área útil.a)	53	49	41

3. Resumen de resultados

En el siguiente cuadro resumen presentamos los plazos de retorno en varios escenarios para analizar su viabilidad económica en función de quién haga la inversión y quién se beneficie de los ahorros.

A priori, la figura a analizar para **vivienda plurifamiliar existente** sería la Comunidad de Vecinos y, como tal podría ser beneficiaria tanto de la subvención como de los ahorros energéticos alcanzables. Tendrían que esperar entre 7 y 11 años para ver reembolsados los más de 34.000 € necesarios, como mínimo, para incorporar las medidas propuestas.

Podrían existir otras figuras inversoras, y a su vez beneficiarias, como los gestores energéticos de edificios, que asumirían la inversión necesaria para la implantación de la energía solar térmica y la bomba de calor de alta eficiencia, a cambio de una tarifa fija durante un tiempo estipulado en la factura de la calefacción y el agua caliente. La subvención que pudieran recibir, deberían repercutirla en el usuario del edificio.

Si el edificio fuera propiedad de un promotor que comercializara las viviendas en régimen de alquiler, se decidiría a invertir si la calificación energética aumentara el valor de la vivienda o bien fuera valorado por parte del inquilino.

En la **vivienda de nueva construcción**, los periodos de retorno se anulan en caso de poder optar a la subvención destinada para edificios de máxima calificación energética. Sin embargo son pocas las promociones que se construyen de este tipo y se necesitaría que dicha calificación pudiera ser un criterio por parte del cliente a la hora de comprar o alquilar.

Quisiéramos poner de manifiesto que si las medidas de regulación de la iluminación pudieran repercutir en la certificación energética de viviendas, tanto nuevas como existentes, podrían contribuir de manera significativa al ahorro energético (60% en iluminación).

La **rehabilitación energética del edificio de oficinas** existente presenta plazos de retorno muy cortos tanto para el promotor como para el usuario final. En este caso, es la falta de información fiable la que aleja al inversor y al usuario final de las oportunidades económicas que puede obtener de una gestión eficiente de la energía del edificio.

El **edificio de oficinas de nueva construcción** se ve penalizado por la implantación de sistemas de intercambio geotérmico, cuyo coste principal radica en la propia perforación del terreno. Son pocas las ayudas públicas disponibles teniendo en cuenta las ventajas energéticas y ambientales que supone el uso de esta tecnología, ya que aprovecha un recurso renovable ampliamente disponible y ofrece grandes posibilidades de ahorro.

Medidas que recomendamos valorar en futuros estudios para los edificios de oficinas serían los sistemas de domótica y la microgeneración.

Para **ambos edificios de oficinas**, hemos analizado de forma individual la inversión necesaria para la implantación de fotovoltaica ya que queríamos poner de manifiesto el esfuerzo inversor que conllevaría implementar medidas para conseguir

edificios "cero CO_2" tal y como plantea la Comisión Europea en la propuesta de revisión de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios.

Tabla 17. Cuadro resumen: resultados energéticos y plazos de retorno[50]

	Madrid			Barcelona			Santander		
VPF existente	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**
Consumo energético (kWh/m².a)	138,03			113,75			105,70		
Ahorro energético (%)		41	78		37	72		40	78
Reducción de emisiones (%)		35	55		28	47		37	60
Sobrecoste (€/m²)			84-101			84-101			84-101
Plazo de retorno c/incremento de 5% del precio energético (a)			11-12			13-15			13-15
Plazo de retorno c/subvención (a)			10-12			13-16			13-15
Plazo de retorno c/subvención e incremento del 5% del precio energético (a)			7-8			9-11			9-11
Calificación energética alcanzable			B			B			B
VPF nueva	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**
Consumo energético (kWh/m².a)	48,22			52,34			53,02		
Ahorro energético (%)		15	24		30	37		33	39
Reducción de emisiones (%)		13	78		32	86		34	97
Sobrecoste (€/m²)			21-25			21-25			21-25
Plazo de retorno c/incremento de 5% del precio energético (a)			18-20			12-13			12-14
Plazo de retorno c/ subvención (a)			0			0			0
Plazo de retorno c/subvención e incremento del 5% del precio energético (a)			0			0			0
Calificación energética alcanzable			A			A			A
EO existente	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**
Consumo energético (kWh/m².a)	211,96			193,51			186,24		
Ahorro energético (%)		26	64		20	62		20	62
Reducción de emisiones (%)		17	67		12	64		13	64
Sobrecoste (€/m²)			58-69			58-69			58-69
Plazo de retorno c/incremento de 5% del precio energético (a)			4			4-5			4-5
Plazo de retorno c/subvención (a)			2-3			3			3-4
Plazo de retorno c/subvención e incremento del 5% del precio energético (a)			1-2			2			2
Calificación energética alcanzable			B			B			B
EO nuevo	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**	**REF**	**CE1**	**CE2**
Consumo energético (kWh/m².a)	136,45			123,57			117,66		
Ahorro energético (%)		20	63		16	57		17	57
Reducción de emisiones (%)		14	55		12	52		13	52
Sobrecoste (€/m²)			114-136			114-136			114-136
Plazo de retorno c/incremento de 5% del precio energético (a)			11-13			12-14			12-14
Plazo de retorno C/ subvención (a)			14-17			15-19			16-20
Plazo de retorno c/subvención e incremento del 5% del precio energético (a)			10-12			11-13			11-13
Calificación energética alcanzable			B			B			B

REF: Situación de referencia; CE1: Concepto energético 1 (paquete de medidas para la reducción de la demanda); CE2: Concepto energético 2 (paquete de medidas para la reducción de la demanda, implantación de renovables y aumento de la eficiencia de las instalaciones); VPF: Vivienda plurifamiliar; EO: edificio de oficinas; (a): años

[50] No incluye la inversión necesaria para la instalación fotovoltaica en edificios de oficinas

Anexo 1

Documentación gráfica de los edificios de estudio

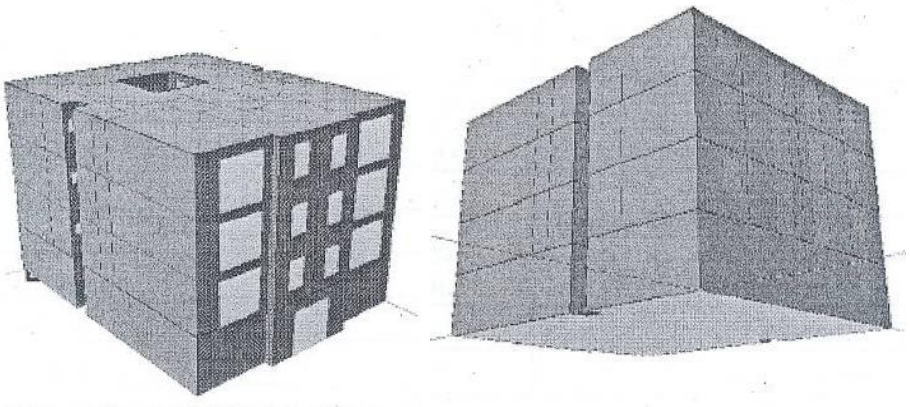


Figura 1: Vistas generales de vivienda plurifamiliar

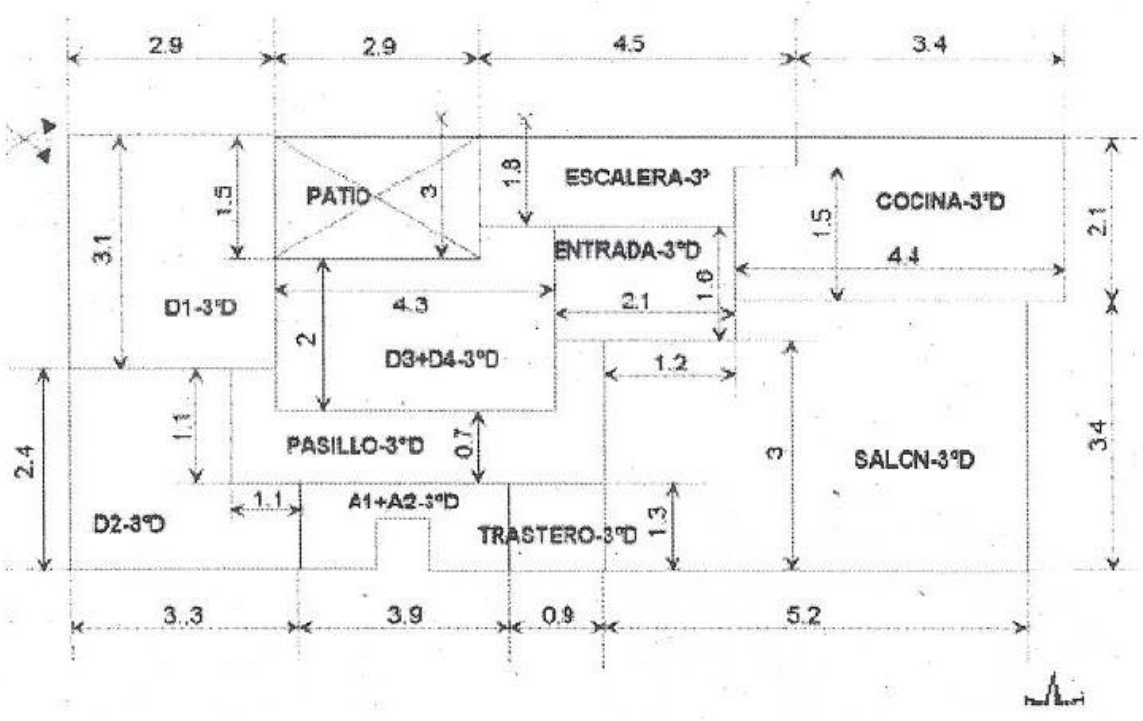


Figura 2: Plano de apartamento tipo

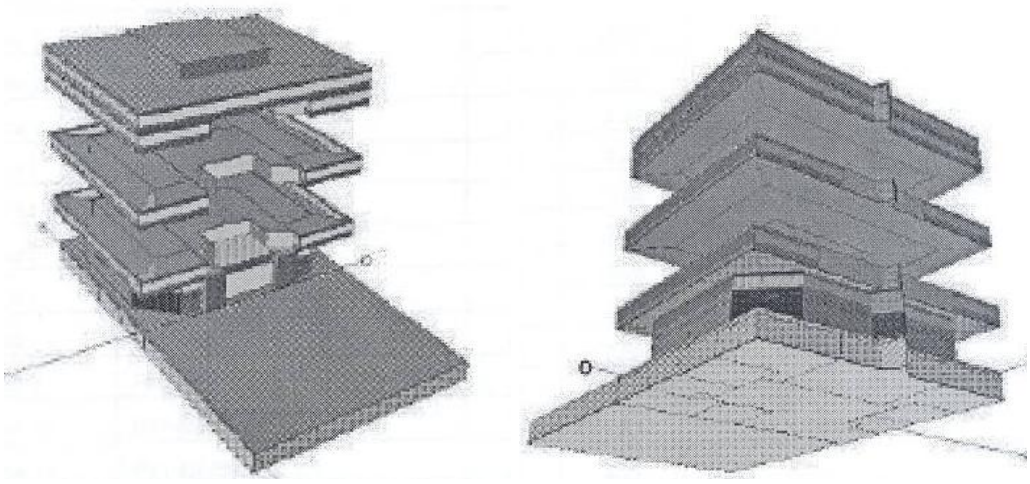


Figura 3: Vistas generales del edificio de oficinas

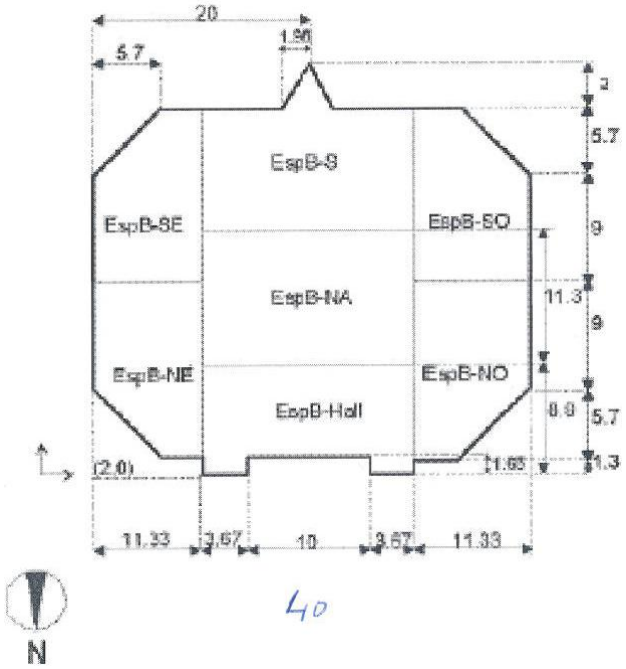


Figura 4: Plano de oficinas tipo

Anexo 2

Dimensiones, parámetros térmicos de la envolvente y sistemas y horarios de funcionamiento

Vivienda plurifamiliar

Geometría			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Número de plantas	4		3 plantas con aptos
Número de aptos/planta	2		
Número total de aptos	6		
Primera planta	150	m2	
Segunda planta	150	m2	
Tercera planta	150	m2	
Area total bruta del edificio	450	m2	
Area total útil del edificio	412,7	m2	
Area total climatizada de apartamentos	254,04	m2	Salón, habitaciones
Compacidad	1,52		
Porcentaje de huecos (N/S)	24%		vidrio/no vidrio = 21%
Porcentaje de huecos (E/O)	0%		
Orientación	N/S		

Ventilación VPF existente			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Ventilación			Ventilación natural
Verano	2.5	1/h	de 08:00-19:00
	1	1/h	de 19:00-08:00
Invierno	0.5	1/h	de 08:00-19:00
	0.25		de 19:00-08:00
Infiltración	1	1/h	constante

Ventilación VPF nueva			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Ventilación			Ventilación híbrida
Caudales			
Dormitorios	5	l/seg por ocupante	CTE
Aseos y cuartos de baño	15	por local	CTE
Cocinas	2	por m² útil	CTE
Infiltración	0,6	1/h	

Cargas internas			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Cargas internas producidas por equipos eléctricos			
cocina	60	W/m^2	
comedor	30	W/m^2	
dormitorios	8	W/m^2	
baños	12	W/m^2	
Cargas internas producidas por ocupantes			
cocina	160	W/persona	Sólo horas de presencia
comedor	110	W/persona	Sólo horas de presencia
dormitorios	90	W/persona	Sólo horas de presencia
baños	100	W/persona	Sólo horas de presencia

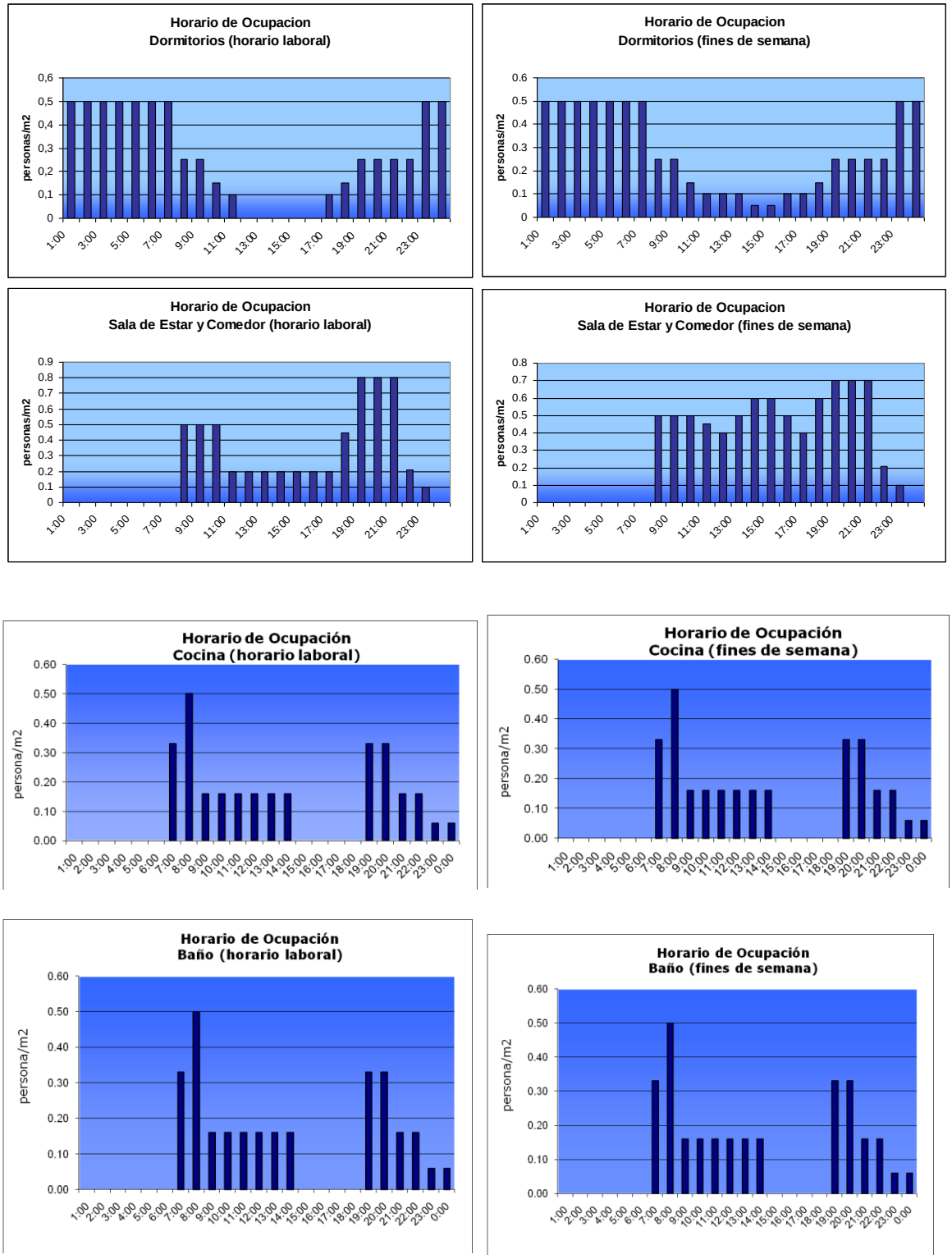
Horario de presencia			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Horas de presencia			Ver gráficos del presente anexo

Sombras			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Elementos de sombreado	Persianas exteriores de PVC		
Estrategia de sombreado			
Horas sin actividad	cerradas		
verano			
cerrado	8:00	horas	
abierto	19:00	Horas	
invierno			
cerrado	19:00	Horas	
abierto	8:00	Horas	

Parámetros de climatización				
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**VPF existente**	**VPF nueva**
Calefacción				
Temperatura nocturna	18	ºC		
Temperatura diurna	20	ºC		
de	0:00	Horas		
hasta	7:00	Horas		
Temperatura	20	ºC		
de	7:00	Horas		
hasta	0:00	Horas		
Eficiencia de la caldera			75%	85%
Refrigeración				
Temperatura máxima permitida	24	ºC		
periodo	24	h/d		
CEE de equipo de refrigeración			2,1	3

Cerramientos transparentes						
Descripción	**VPF existente**			**VPF nuevo**		
Ventanas						
vidrio	70%			70%		
marco	30%			30%		
	D3	**C2**	**C1**	**D3**	**C2**	**C1**
Valor g del vidrio – N/S/E/O	0,85	0,85	0,85	0,52	0,52	0,52
Valor U (W/m2k) del hueco - N	5,7	5,7	5,7	2,5	2,9	2,9
Valor U (W/m2k) del hueco - S	5,7	5,7	5,7	3,5	4,3	4,3

Figura 5: Horarios de Ocupación para dos zonas interiores en horario laboral y fines de semana

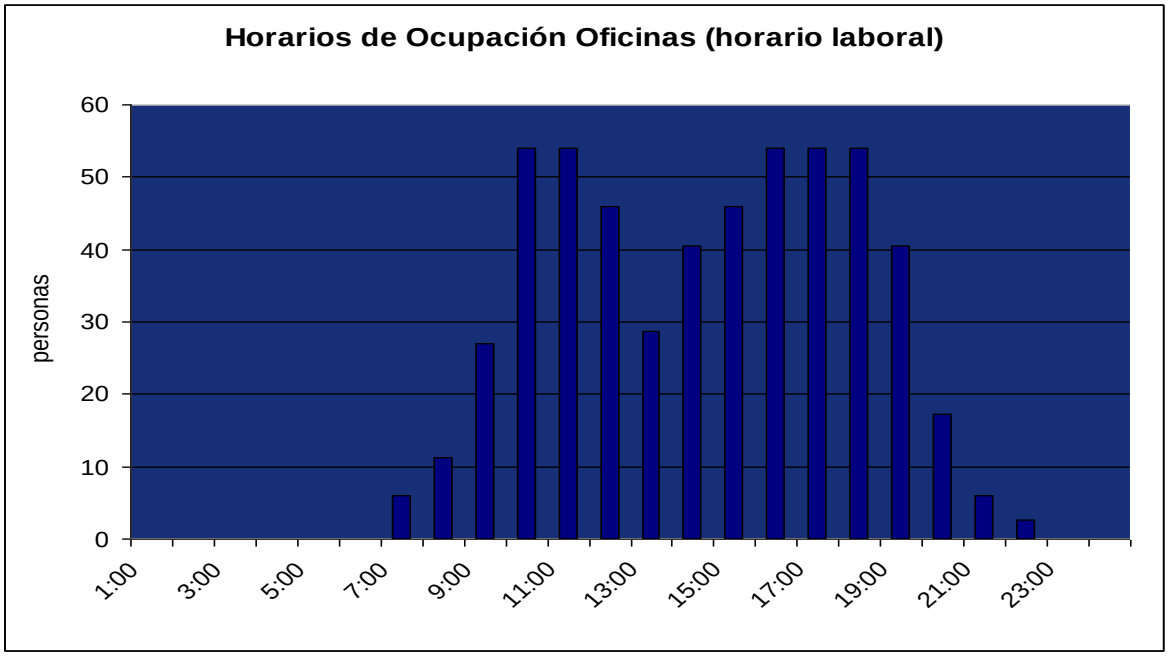


Edificio de oficinas

Geometría			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Número de plantas	12		
Primera planta	1080	m2	
Plantas 1-11	1080	m2/floor	
Area total bruta del edificio	12960	m2	
Area total útil del edificio	9000	m2	
Compacidad	4,33		vidrio/no vidrio = 111%
Porcentaje de huecos (N/S)	60%		
Porcentaje de huecos (E/O)	60%		Ninguno
Orientación	N/S		Ninguno
Ventilación EO existente			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Ventilación	0,57	1/h	Ventilación mecánica
de	8:00	hours	
Hasta	20:00	hours	
Infiltración	0,6	1/h	constante
Ventilación EO nuevo			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Ventilación	12,5	l/s	Ventilación mecánica
de	8:00	hours	
Hasta	20:00	hours	
Infiltración	0,4	1/h	constante
Cargas internas			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Cargas internas producidas por equipos eléctricos			
Oficinas	20	W/m^2	
Entrada	10	W/m^2	
Cargas internas producidas por equipos de iluminación			
Oficinas	10.5	W/m^2	
Entrada	3	W/m^2	
Cargas internas producidas por ocupantes			
Oficinas	120	W/persona	Sólo horas de presencia
Entrada	140	W/persona	Sólo horas de presencia
Horario de presencia			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Horas de presencia			Ver gráficos del presente anexo
Sombras			
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**	**Comentarios**
Elementos de sombreado	Cortinas interiores		
Estrategia de sombreado			
Horas sin actividad	abiertas		
Verano			
cerrado	8:00	horas	
abierto	19:00	horas	
invierno			
cerrado	19:00	horas	
abierto	8:00	horas	

Parámetros de climatización						
Descripción	**Cantidad**	**Unidad**		**EO existente**		**EO nuevo**
Calefacción						
Temperatura nocturna	18					
de	19:00	Horas				
hasta	7:00	Horas				
Temperatura diurna	21	ºC				
de	7:00	Horas				
hasta	19:00	Horas				
Eficiencia de la caldera				75%		90%
Refrigeración						
Temperatura diurna máxima permitida	26	ºC				
Temperatura nocturna máxima permitida	28	ºC				
CEE de equipo de refrigeración				1,8		3
Cerramientos transparentes						
Descripción	**EO existente**			**EO nuevo**		
Ventanas						
vidrio	88%			88%		
marco	12%			12%		
	D3	**C2**	**C1**	**D3**	**C2**	**C1**
Valor g del vidrio – N/S/E/O	0,76	0,76	0,76	0,52	0,52	0,52
Valor U (W/m2k) del hueco - N	3	3	3	1,9	2,2	2,2
Valor U (W/m2k) del hueco - S	3	3	3	3	3,5	3,5
Valor U (W/m2k) del hueco – E/O	3	3	3	2,3	2,7	2,7

Figura 6: Horarios de Ocupación para las zonas interiores en horario laboral



Anexo 3

Composición de elementos de la envolvente de los edificios y valores de transmitancia térmica

Vivienda plurifamiliar - Edificio de oficinas - Nueva edificación			
Madrid – D3 / Barcelona - C2 / Santander - C1			
Cubierta transitable			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Azulejo cerámico	0,01	m	**D3=0,38 C2, C1=0,41**
Mortero de cemento	0,01	m	
Tabicón de LH doble	0,06	m	
Aislante térmico (0,037)	0,08	m	
Hormigón	0,21	m	
Enlucido de yeso	0,02	m	
Fachada			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Mortero de cemento	0,02	m	**D3=,65 C2, C1=0,73**
1/2 pie ladrillo métrico o catalán	0,115	m	
Mortero de cemento	0,01	m	
Aislante térmico (0,037)	0,04	m	
Tabicón de LH doble	0,06	m	
Enlucido de yeso	0,01	m	
Suelo			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Azulejo cerámico	0,3	m	**D3=0,49 C2, C1=0,50**
Mortero de cemento	0,01	m	
Soleta de mortero armada	0,08	m	
Aislante térmico (0,038)	0,04	m	
Hormigón	0,21	m	

Vivienda plurifamiliar - Edificio de oficinas - Edificación existente			
Madrid – D3 / Barcelona - C2 / Santander - C1			
Cubierta transitable			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Azulejo cerámico	0,01	m	**D3,C2,C1=1, 23**
Mortero de cemento	0,04	m	
Aislante térmico (0,037)	0,01	m	
Tabicón de LH doble	0,06	m	
Hormigón	0,21	m	
Enlucido de yeso	0,02	m	
Fachada			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Mortero de cemento	0,02	m	**D3,C2,C1=1, 41**
1/2 pie ladrillo métrico o catalán	0,115	m	
Mortero de cemento	0,01	m	
Cámara de aire vertical sin ventilar	0,02	m	
Tabicón de LH doble	0,06	m	
Enlucido de yeso	0,01	m	
Suelo			
Material	**e**	**Unidad**	**valor U**
Azulejo cerámico	0,3	m	**D3,C2,C1=1, 48**
Mortero de cemento	0,01	m	
Hormigón	0,30	m	

Anexo 4

Ahorros energéticos

Tabla 18: CE 1 – Resultados energéticos - VPF existente

Ciudad	CE 1						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total
Madrid	129,39	8,63	138,03	72,10	9,24	81,34	44	-7	41	57,29	-0,61	56,69
Barcelona	103,99	9,76	113,75	60,17	11,74	71,92	42	-20	37	43,82	-1,98	41,84
Santander	104,55	1,14	105,70	61,67	2,18	63,84	41	-91	40	42,89	-1,04	41,85

Tabla 19: CE 2 – Resultados energéticos - VPF existente

Ciudad	CE 2						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total
Madrid	129,39	8,63	138,03	21,65	9,24	30,89	83	-7	78	107,74	-0,61	107,14
Barcelona	103,99	9,76	113,75	20,63	11,74	32,37	80	-20	72	83,36	-1,98	81,38
Santander	104,55	1,14	105,70	21,27	2,18	23,44	80	-91	78	83,29	-1,04	82,25

Tabla 20: CE 1 – Resultados energéticos - VPF nueva

Ciudad	CE 1						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total
Madrid	41,82	6,40	48,22	35,36	5,86	41,23	15	8	15	6,46	0,54	7,00
Barcelona	45,85	6,49	52,34	32,68	3,88	36,56	29	40	30	13,17	2,61	15,78
Santander	51,50	1,52	53,02	34,67	0,74	35,41	33	51	33	16,82	0,78	17,60

Tabla 21: CE 2 – Resultados energéticos - VPF nueva

Ciudad	CE 2						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total	Calef+ACS	Refrig	Total
Madrid	41,82	6,40	48,22	32,32	4,40	36,72	23	31	24	9,50	2,01	11,51
Barcelona	45,85	6,49	52,34	29,87	2,91	32,78	35	55	37	15,98	3,58	19,56
Santander	51,50	1,52	53,02	31,69	0,55	32,25	38	64	39	19,80	0,97	20,77

Tabla 22: CE 1 – Resultados energéticos - EO existente

Ciudad	CE 1						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total
Madrid	57,39	80,22	211,96	18,47	63,36	156,20	68	21	26	38,91	16,85	55,77
Barcelona	36,29	82,86	193,51	9,47	71,21	155,04	74	14	20	26,82	11,65	38,47
Santander	35,79	76,09	186,24	10,85	63,26	148,48	70	17	20	24,93	12,82	37,76

Tabla 23: CE 2 – Resultados energéticos - EO existente

Ciudad	CE 2										Resultados									
	Referencia					Mejora					Mejora porcentual					Mejora valor absoluto				
	Consumo de energía final [kWh/m².a]					Consumo de energía final [kWh/m².a]					Ahorro energía final [%]					Ahorro energía final [kWh/m².a]				
	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total
Madrid	57,39	80,22	74,36	0,00	211,96	20,31	30,85	33,99	-7,89	77,27	65	62	54	-	64	37,08	49,36	40,37	7,89	134,70
Barcelona	36,29	82,86	74,36	0,00	193,51	12,01	34,19	33,99	-7,29	72,91	67	59	54	-	62	24,28	48,66	40,37	7,29	120,60
Santander	35,79	76,09	74,36	0,00	186,24	13,35	30,35	33,99	-6,14	71,56	63	60	54	-	62	22,43	45,74	40,37	6,14	114,68

Tabla 24: CE 1 – Resultados energéticos - EO nuevo

Ciudad	CE 1						Resultados					
	Referencia			Mejora			Mejora porcentual			Mejora valor absoluto		
	Consumo de energía final [kWh/m².a]			Consumo de energía final [kWh/m².a]			Ahorro energía final [%]			Ahorro energía final [kWh/m².a]		
	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total	Calef	Refrig	Total
Madrid	41,45	44,15	136,45	25,97	34,29	109,07	37	22	20	15,48	9,86	27,38
Barcelona	26,95	45,76	123,57	19,45	35,92	104,35	28	21	16	7,50	9,84	19,22
Santander	26,14	40,66	117,66	17,91	30,26	97,43	31	26	17	8,23	10,41	20,23

Tabla 25: CE 2 – Resultados energéticos - EO nuevo

Ciudad	CE 2										Resultados									
	Referencia					Mejora					Mejora porcentual					Mejora valor absoluto				
	Consumo de energía final [kWh/m².a]					Consumo de energía final [kWh/m².a]					Ahorro energía final [%]					Ahorro energía final [kWh/m².a]				
	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total	Calef	Refrig	Ilum+Equip	FV	Total
Madrid	41,45	44,15	50,86	-2,05	136,45	11,82	17,65	27,33	-5,84	50,95	71	60	46	186	63	29,63	26,50	23,53	3,80	85,51
Barcelona	26,95	45,76	50,86	-1,89	123,57	12,91	18,60	27,33	-5,40	53,44	52	59	46	186	57	14,04	27,16	23,53	3,51	70,14
Santander	26,14	40,66	50,86	-1,59	117,66	11,87	15,96	27,33	-4,55	50,61	55	61	46	186	57	14,27	24,70	23,53	2,95	67,05

Anexo 5

Condiciones de partida para calcular las reducciones de CO_2 alcanzables y su correspondencia con la calificación energética

Las emisiones de CO_2 producidas por los edificios analizados han sido calculadas con los factores de conversión mostrados en la tabla 30, dependiendo de la fuente energética utilizada para la producción de calefacción y ACS, refrigeración, iluminación y otros usos inherentes al funcionamiento del edificio (bombas, ventiladores, etc.).

Tabla 26: Factores de conversión de emisiones de CO_2 utilizados en el estudio

Emisiones CO_2 ($kgCO_2/kWh$)	
Electricidad Calener (2009)[51]	0,649
Gas Natural	0,204

La reducción de emisiones de CO2 mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética e implementación de energías renovables, se traduce en una calificación energética de la edificación. La reducción porcentual de emisiones de CO2[52] para alcanzar las distintas calificaciones se ilustra la siguiente tabla 31.

A partir de los valores medios de $kgCO_2/m^2$ para cada calificación energética (A, B, C y D) en función de las distintas zonas climáticas, ha sido estimado un porcentaje de reducción media. Esta reducción porcentual sirve como indicador para asignar una calificación aproximada a los edificios de análisis.

Tabla 27: relación entre la reducción porcentual de emisiones de CO_2 y las distintas calificaciones

Calificación D media para uso residencial	**B4**	**D3**	**C2**	**E1**	**% reducción media**	
	[$kgCO_2/m^2$]					
21,7625 [$kgCO_2/m^2$]	**15,05**	**21,65**	**17,15**	**33,2**		
% D a C	22,92%	21,48%	21,87%	20,18%	**21,61%**	D a C
% D a B	52,82%	49,65%	49,85%	46,69%	**49,75%**	D a B
% D a A	73,42%	69,52%	69,68%	65,36%	**69,49%**	D a A

[51] Calener GT, Manual Técnico, IDAE, 2009.

[52] Estimación realizada por Ecofys a partir de estudio de calificación energética de edificios residenciales realizado por Gas Natural.

Reducción de emisiones de CO2 según calibración de programa alternativo

Como se ha mencionado anteriormente, la evaluación del comportamiento energético de los edificios de estudio ha sido realizada con el programa Design Builder. Por esta razón, a partir de los datos obtenidos de dichas simulaciones, se ha aplicado el procedimiento de calibración de programas alternativos[53] desarrollado por el IDAE según el cual se establecen las siguientes escalas de calificación energética para edificios de nueva construcción:

Escala de calificación energética para viviendas:

Clase A si C1 < 0.15
Clase B si 0.15 ≤ C1 < 0.50
Clase C si 0.50 ≤ C1 < 1.00
Clase D si 1.00 ≤ C1 < 1.75
Clase E si C2 < 1.00
Clase F si 1.00 ≤ C2 < 1.50

Escala de calificación energética para edificios no destinados a vivienda:

Clase A si C < 0.40
Clase B si 0.40 ≤ C < 0.65
Clase C si 0.65 ≤ C < 1.00
Clase D si 1.00 ≤ C < 1.30
Clase E si 1.30 ≤ C < 1.60
Clase F si 1.60 ≤ C < 2.00
Clase G si 2.00 ≤ C

Se han utilizado los coeficientes de paso que se muestran a continuación:

Tabla 28: Coeficientes de paso utilizados

ACS	Coeficiente de paso para emisiones de CO2	0.38
ACS	Coeficiente de paso para consumo de energía primaria	1.53
Gas Natural	Coeficiente de paso para demanda de energía	1.011
Electricidad	Coeficiente de paso para demanda de energía	0.25

Vivienda plurifamiliar nueva: Se ha realizado el procedimiento de calibración para la VPF de referencia y para la VPF con las medidas propuestas en el CE2 a fin de ilustrar tanto la calificación como la mejora en la misma. El procedimiento calibra los indicadores del edificio objeto (I objeto) y del edificio de referencia (I reglamentación). Tanto los indicadores como la calificación resultante de las emisiones totales se muestran a continuación:

Tabla 29: Emisiones totales de CO_2 y calificación resultante para la VPF de referencia

Concepto	Indicadores de comportamiento energético edificio objeto (I objeto)	Indicadores de comportamiento energético edificio de referencia (I reglamentación)	Indicadores De eficiencia energética (IEE)	Dispersión de los IEE (R)	Índices de calificación energética (C_1)	Calificación energética
Madrid	11.42	18.48	0.62	1.5	0.53	C
Barcelona	12.08	13.05	0.93	1.5	0.99	C
Santander	10.01	12.58	0.80	1.5	0.79	C

[53] Escala de Calificación Energética, Edificios de Nueva Construcción, IDAE, 2009.

Tabla 30: Emisiones totales de CO_2 y calificación resultante para la VPF con aplicación del CE2

Concepto	Indicadores de comportamiento energético edificio objeto (I objeto)	Indicadores de comportamiento energético edificio de referencia (I reglamentación)	Indicadores De eficiencia energética (IEE)	Dispersión de los IEE (R)	Índices de calificación energética (C_1)	Calificación energética
Madrid	2.85	18.48	0.15	1.5	-0.17	A
Barcelona	1.89	13.05	0.14	1.5	-0.18	A
Santander	0.00	12.58	0.00	1.5	-0.40	A

Según el procedimiento de calibración, la VPF seria susceptible a obtener una calificación energética A. Con la aplicación del CE 2 se consigue el aumento de dos niveles en la calificación del edificio.

Edificio de oficinas nuevo: El procedimiento de calibración de programas alternativos para edificios no destinados a vivienda contempla la obtención de la calificación energética a partir de un edificio de referencia y un edificio objeto, al igual que para las viviendas. Sin embargo, al no haber un escenario de comparación propiamente dicho, el edificio de referencia debe tener un grado de similitud con el edificio objeto. En el presente estudio se opta por usar como edificio de referencia el EO que ha sido definido como punto de partida para la evaluación de los conceptos energéticos en función de sus emisiones totales. Las calificaciones obtenidas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31: Emisiones totales de CO_2 y calificación resultante para la EO de referencia

Concepto	Indicadores de comportamiento energético edificio objeto (I objeto)	Indicadores de comportamiento energético edificio de referencia (I reglamentación)	Índices de calificación energética (C_1)	Calificación energética
Madrid	30.96	68.79	0.45	B
Barcelona	32.38	66.98	0.48	B
Santander	30.73	63.70	0.48	B

Al calibrar los indicadores energéticos del programa alternativo con el procedimiento oficial se corrobora la obtención de las calificaciones para edificios de nueva construcción anteriormente estimadas porcentualmente. La calificación de edificios existentes estimada porcentualmente permanece en el presente estudio como un ejemplo del alcance de la mejora energética y su viabilidad económica.

Anexo 6

Condiciones de partida para evaluar la viabilidad económica de las medidas propuestas

Para la estimación de la viabilidad económica se han investigado precios[54] aproximados de las tecnologías implantadas en los edificios de referencia (ver características en Anexos 1, 2 y 3) y de las medidas propuestas para la mejora del comportamiento energético de los diferentes edificios.

La diferencia entre ambos nos ha permitido calcular el sobre-coste[55] asociado a la mejora que, dividido por el ahorro energético monetario anual a que dan lugar las medidas implantadas, obtenemos el plazo de retorno de la inversión.

El ahorro energético ha sido estimado con las siguientes tarifas:

Tabla 32: Tarifas energéticas aplicadas según tipología de edificio[56]

Vivienda plurifamiliar	**€/kWh**
Tarifa gas (<5.000 kWh/a)	0,05193
Tarifa electricidad (2,5<P<5)	0,11248
Edificio de oficinas	**€/kWh**
Tarifa gas (5.000kWh.a>Q>50.000kWh.a)	0,05146
Tarifa electricidad (P>15kW)	0,13515

El cálculo presenta resultados para diferentes escenarios que consideran el posible incremento del precio energético y las ayudas públicas que se derivan del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2012 (Plan E4 y su plan de activación) y del Plan de Energías Renovables 2005-2010 aplicables a través de las Comunidades Autónomas.

[54] Precio Ejecución Material (PEM) y Precio de Venta al Público (PVP). La obtención de los precios se ha llevado a cabo mediante consultas directas a las empresas participantes en este estudio y, de manera complementaria, se ha recurrido a bases de datos públicas. La instalación queda incluida en el cálculo y jugará un papel importante en la estimación de la viabilidad económica de la edificación existente ya que la integración de una nueva tecnología sobre una ya instalada supone costes no contemplados en la situación de referencia. Los costes de mantenimiento no han sido contemplados, aunque estimamos que representaría aproximadamente un sobrecoste anual del 1-2 % sobre la inversión inicial.

[55] Se aplica un incremento del 20% al sobrecoste inicial para poder dar cobertura a los posibles rangos de precios existentes en el mercado. Esto permite tener un rango de precios y una mayor multiplicidad de escenarios.

[56] Tarifas de gas: ORDEN ITC/2857/2008, de 10 de octubre, por la que se establece la tarifa del suministro de último recurso de gas natural. Tarifas de electricidad: ORDEN ITC/3801/2008, de 26 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir de 1 de enero de 2009.

Las tarifas de la potencia contratada y los impuestos sobre la electricidad no han sido contemplados. Sin embargo, se estima que para una reducción de potencia de 35% en los edificios estudiados, el ahorro energético a obtener representaría un incremento de alrededor del 10% sobre los ahorros energéticos (€/m^2) calculados en el presente estudio por disminución del consumo energético.

Aunque no son aplicables de forma homogénea por todas las autonomías, las subvenciones para nueva construcción consideradas en el presente estudio son aquellas definidas por el IDAE para edificios de calificación A y B, para vivienda plurifamiliar y edificio terciario. Estas subvenciones corresponden a 35 €/m² para calificación A, y 20 €/m², para calificación B, en viviendas colectivas y, 30 €/m² para calificación A, y 15 €/m², para calificación B, en edificios terciarios.

Las subvenciones aplicadas a edificaciones existentes, tampoco aplicadas de forma homogénea en todas las CC.AA han sido:

- Mejora de la envolvente térmica
-
    - Ayuda: hasta un máximo del 22% de los costes elegibles
    - Con la obtención de una calificación energética B: hasta un máximo del 27% de los costes elegibles

- Mejora de la eficiencia de instalaciones térmicas

    - Ayuda: hasta un máximo del 22% de los costes elegibles
    - Con la obtención de una calificación energética B: hasta un máximo del 27% de los costes elegibles

- Instalación de caldera de biomasa de rendimiento superior al 75%

    - Ayuda: hasta un máximo del 30% de costes de referencia (600 €/kw)

Anexo 7

Acrónimos

ACS – Agua caliente sanitaria

CE – Concepto energético

EER – *Energy Efficiency Rating*, usado para definir el rendimiento de la bomba de calor en la producción de refrigeración

COP – *Coefficient of Performance*, usado para definir el rendimiento de la bomba de calor en la producción de calefacción

CTE – Código Técnico de la Edificación

EO – Edificio de oficinas

GT – Grupo de trabajo

NBE-CT – Norma básica sobre condiciones térmicas de los edificios

R.I.T.E. – Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios

VPF – Vivienda plurifamiliar

η – Rendimiento de caldera (60 ºC para ACS y 80 ºC para calefacción)