

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN ESPAÑA TRAS LA ENTRADA EN VIGOR DEL CTE

Autor 1[*] June Flores Zorrozua, Autor 2[] Antonio José Gutiérrez Trashorras,
Juan Manuel González-Caballín Sánchez**
[*] Alumno; [**] Tutor(es)
uo260011@uniovi.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

La eficiencia energética es una de las maneras más rentables para mejorar la seguridad del abastecimiento energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. En el presente trabajo se utiliza un edificio estándar representativo de los edificios construidos después de la entrada en vigor del CTE de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE). Posteriormente, sobre este edificio se realizó una evaluación de la calificación energética en cada una de las zonas climáticas de España para evaluar la influencia de dichas condiciones climáticas. Este análisis se realizó con el programa informático CERMA, el cual es admitido como válido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España.

Las calificaciones energéticas obtenidas en las diferentes zonas climáticas resultan ser calificaciones A y B, tal y como supone el CTE. Por otro lado, existen diferencias significativas en las emisiones de CO₂, incluso para zonas climáticas con la misma calificación energética.

Para analizar en profundidad la influencia de las distintas condiciones climáticas, se realizará un estudio de las mejoras necesarias en cada zona para obtener una calificación superior, aunque las calificaciones iniciales ya son bastante buenas.

ABSTRACT

Energy efficiency is one of the most profitable ways to improve security of energy supply and reduce emissions of greenhouse gases and other pollutants. In the present work, a standard building that represent buildings built after the entry into force of the CTE according to the National Statistics Institute (INE) is used. Subsequently, an evaluation of the energy qualification of this building in each climatic zone of

Spain to assess the influence of these weather conditions was performed. This analysis was performed with software CERMA, which is admitted by the Industry, Energy and Tourism Ministry of Spain.

Energy qualifications obtained for the different climatic zones of the standard building were rated as A or B. On the other hand, there are significant differences in CO₂ emissions, even for climatic zones with the same energy rating.

To analyze in depth the influence of different climatic conditions, a study of the necessary improvements has been made in each area to get a higher rating, although the initial qualifications are already pretty good.

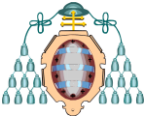
INTRODUCCIÓN

La Unión Europea debe asumir el aumento de la demanda energética, la volatilidad de los precios y los trastornos del suministro debidos a la dependencia energética de países políticamente inestables, además de su obligación de disminuir el impacto medioambiental del sector de la energía [1].

El conjunto de edificios existentes de los países europeos representa aproximadamente el 40% del consumo final de energía en la Unión Europea (UE) y el uso residencial supone el 63% del consumo total de energía en el sector de la edificación [2].

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) [3], un alto porcentaje de los hogares en España, el 70%, vive en bloques de viviendas, siendo el 49% de estos construido antes de 1979 y por lo tanto no cuentan con ninguna exigencia de ahorro de energía.

En las últimas décadas, el consumo mundial de energía de las viviendas se ha visto aumentado aproximadamente en un



30% debido a una mayor demanda de éstas. Como respuesta a este incremento del consumo de energía en los edificios se han tomado decisiones y medidas políticas en todo el mundo para reducir dicho consumo y promover la eficiencia energética en los edificios [4].

La eficiencia energética es un punto importante en la política energética de la Unión Europea. Las propuestas de eficiencia energética son, tanto una opción para conseguir abastecimiento de energía sostenible, como para reducir las emisiones de efecto invernadero y para conseguir una menor dependencia de proveedores externos, además de incentivar la competitividad de las economías europeas [5].

En España, los edificios modernos consumen menos energía debido a la obligación del cumplimiento de los requisitos establecidos por el Código Técnico de la Edificación (CTE) [6]. También influye la zona climática, ya que las más calurosas consumen menos energía que las más frías, principalmente debido a que la calefacción supone un importante porcentaje del gasto energético total, en torno al 70-75% en los edificios residenciales [7].

Es sabido que las medidas de eficiencia energética de los edificios pueden producir un importante ahorro para los consumidores. Los sistemas de certificación energética de edificios surgieron en la década de 1990 como un método esencial para la mejora de la eficiencia energética, reduciendo al mínimo el consumo de energía y permitiendo una mayor transparencia en lo que respecta a la utilización de la energía en los edificios [8].

Los hogares de la UE dedican aproximadamente un 6,4% de su renta en el gasto de energía (En torno a dos tercios para calefacción y el restante para otros fines). En 2012, el 11% de los edificios europeos no consiguieron mantener adecuadamente sus viviendas a temperatura óptima [9].

La Unión Europea ha llevado a cabo una serie de medidas para la mejora de la eficiencia energética en forma de directivas europeas desde 1993 [10]. La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de edificios busca mejorar dicha eficiencia en función de las condiciones climáticas y particularidades locales, para ello, propone una metodología común y unas condiciones mínimas [11]. La Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética, tiene como objetivo cumplir con el 20% de ahorro de eficiencia energética establecido para 2020 [12].

En España, todas las directivas han sido traspuestas en diversos Reales Decretos y Planes de ahorro energético. Se destacan las siguientes:

- Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, incluye medidas específicas sobre eficiencia energética e integración de energías renovables [13].

- Real Decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [14].
- Real Decreto 235/2013 en el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de los edificios [15].
- Además, España creó el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020, que permitirá cumplir con los objetivos de la Directiva 2012/27/UE [16].

En definitiva, conocer la estructura del consumo de energía de los edificios es muy importante a la hora de componer las políticas de eficiencia energética. Además, es cada vez más importante disponer de datos actualizados para un análisis más riguroso.

La certificación energética de los edificios es un instrumento clave para la reducción del consumo de energía y mejorar la eficiencia energética tanto de los edificios nuevos como existentes [17].

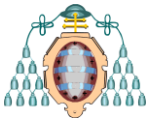
La eficiencia energética de un edificio se define como la cantidad de energía consumida realmente o estimada para satisfacer las diferentes necesidades asociadas a un uso estándar del edificio. El certificado de eficiencia energética incluye las emisiones de CO₂ junto con una calificación energética mediante una escala con letras, que va desde la A, la más eficiente, a la G, la menos eficiente.

Por ello, el principal objetivo de este trabajo es conocer el resultado de la influencia de las diferentes zonas climáticas del territorio español en el certificado energético de edificios construidos tras la entrada en vigor del CTE, los cuales suponen un 49% de las viviendas en bloque. Se selecciona un edificio tipo representativo de ese periodo y se ubica en las diferentes zonas climáticas españolas, observando la variación de la calificación energética con éstas.

MÉTODO TRABAJO

Para llevar a cabo el siguiente trabajo se definió un edificio “estándar de construcción”, el cual es representativo de los edificios construidos en España después de la entrada en vigor del CTE, de acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE) [18]. Sobre este “edificio estándar” se realizó una evaluación de la eficiencia energética en cada una de las zonas climáticas de España para ver su respuesta en cada una de ellas.

La Directiva Europea, sobre la Eficiencia Energética de los edificios [11] determina que en cada Estado miembro de la UE tendrá una metodología nacional para el cálculo del rendimiento energético de los edificios, pero sobre un marco de referencia general. Dicha metodología deberá incluir al menos los siguientes aspectos [2]:



- a) Características térmicas del edificio.
- b) Instalación de calefacción y ACS.
- c) Instalación de aire acondicionado.
- d) Ventilación.
- e) La posición y orientación de los edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores.
- f) Sistemas solares pasivos y protección solar.
- g) Ventilación natural.
- h) Las condiciones ambientales interiores.

Para llevar a cabo la certificación energética del edificio estándar se empleó el programa informático CERMA 4.2.3 [19], reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento. Este programa permite obtener el certificado de eficiencia energética de un edificio existente.

La metodología se compone de los siguientes pasos:

A. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL EDIFICIO ESTÁNDAR.

Como anteriormente se ha comentado, el edificio estándar se ha seleccionado como un modelo representativo del parque residencial actual en España. Fue seleccionado utilizando los datos disponibles en el IDAE [3] y en el Instituto Nacional de Estadística (INE) [19] relacionados con la geometría, los materiales utilizados en la construcción y las instalaciones térmicas.

Dicho edificio estándar tiene las características que se resumen en la Tabla 1.

Para la selección de las características geométricas del edificio se ha tenido en cuenta que según el IDAE [3], la media española de la superficie en viviendas en bloque es aproximadamente de 102 m².

B. CONDICIONES CLIMÁTICAS.

El clima español se clasifica en función de la severidad del verano y el invierno que dependen a su vez de la temperatura y la radiación solar. La severidad de invierno se expresa con letras que van desde la A (invierno más suave) hasta la E (invierno más frío). Esta escala no tiene ninguna relación con la calificación energética, aunque empleen las mismas letras. La escala de severidad de verano se expresa a través de los números del 1 al 4, correspondiendo los números más altos a climas más cálidos. De esta manera, cada región española obtiene una letra y un número para determinar su clasificación climática. De las 20 combinaciones posibles, solo se necesitan 12 para definir todas las zonas climáticas de España [6].

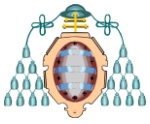
Para el estudio se ha utilizado la ciudad representativa de cada zona climática de acuerdo con el CTE [6] (ver Tabla 2).

Tabla 1. Definición del “edificio estándar”

Bloque de viviendas (8 viviendas)		
Geometría	Área útil	896 m ²
	Volumen útil	3.136 m ³
	Pisos	4 (2 viviendas por piso)
	Distribución	Habitación doble, habitación simple, cocina, salón/comedor y baño
Soluciones constructivas	Transmitancias térmicas (U) (W/m ² ·K)	
	Fachada/Muros	(4 muros con las mismas características) 0.57
	Cubierta	0.35
	Suelo	0.48
	Huecos	2.7
	Factor Solar (FS)	0.75
	Permeabilidad (m ³ /hm ² 100Pa)	27
	Calefacción	8 calderas convencionales 24 kW Rendimiento: 75% (Gasóleo C)
Instalaciones térmicas	ACS	8 calderas convencionales 24 kW Rendimiento 81% (Gasóleo C)
	Refrigeración	8 equipos individuales con EER 1,7 (Electricidad)

Tabla 2. Zonas climáticas españolas.

Zona climática	Ciudad representativa
A3	Cádiz
A4	Almería
B3	Valencia
B4	Sevilla
C1	Bilbao
C2	Barcelona
C3	Granada
C4	Toledo
D1	Vitoria
D2	Zamora
D3	Madrid
E1	Burgos



El “edificio estándar” se ubicará en estas diferentes ciudades considerando sus respectivas condiciones climáticas.

C. CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂

Desde la aparición del RD 47/2007 que regulaba la certificación energética de los edificios de nueva construcción, y con el RD 235/2013 que incluye a los edificios existentes, la ley obliga a clasificar los inmuebles con una letra dentro de una escala la cual está relacionada con unos indicadores directamente relacionados con las emisiones de CO₂.

Para la determinación de la letra de calificación, en primer lugar, se calculan unos índices de calificación de eficiencia energética (σ_1 y σ_2) de las viviendas unifamiliares o en bloque [7, 21]. Para ello se emplean las siguientes fórmulas:

$$\sigma_1 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_r} \cdot R\right) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0.6 \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\left(\frac{I_o}{I_s} \cdot R'\right) - 1}{2 \cdot (R' - 1)} + 0.5 \quad (2)$$

Dónde:

I_o , son las emisiones de CO₂ generadas por el edificio.

I_r , es el valor de referencia del rendimiento energético y corresponde a las emisiones medias de CO₂ en los edificios residenciales que cumplen estrictamente con los requisitos establecidos en el CTE.

R , es la relación entre el I_r y las emisiones de CO₂ correspondientes al percentil 10 de los edificios residenciales que cumplen estrictamente con los requisitos establecidos en el CTE.

I_s , es el valor de referencia de los valores de construcción y representa las emisiones medias de CO₂ en edificios residenciales existentes desde 2006.

R' , es la relación entre I_s y las emisiones de CO₂ correspondientes al percentil 10 del parque de edificios residencial actual.

Cada letra se corresponde con un intervalo de valores de estos índices calculados en las ecuaciones (1) y (2):

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación energética
A	$\sigma_1 < 0,15$
B	$0,15 \leq \sigma_1 < 0,50$
C	$0,50 \leq \sigma_1 < 1,00$
D	$1,00 \leq \sigma_1 < 1,75$
E	$\sigma_1 > 1,75$ y $\sigma_2 < 1,00$
F	$\sigma_1 > 1,75$ y $1,00 \leq \sigma_2 < 1,5$
G	$\sigma_1 > 1,75$ y $1,50 \leq \sigma_2$

De acuerdo con la Tabla 3, la calificación energética se asigna en función de los índices de calificación de eficiencia energética obtenidos, dentro de una escala de siete letras que van desde la A (edificio más eficiente) a la G (edificio menos eficiente).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados y el análisis de las diferentes calificaciones energéticas obtenidas, así como los valores de las emisiones de CO₂. Para ello se aplicó la metodología descrita anteriormente al “edificio estándar” en cada zona climática.

A. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO₂.

Los resultados de la calificación energética y las emisiones de CO₂ del “edificio estándar” se muestran en la figura 1.

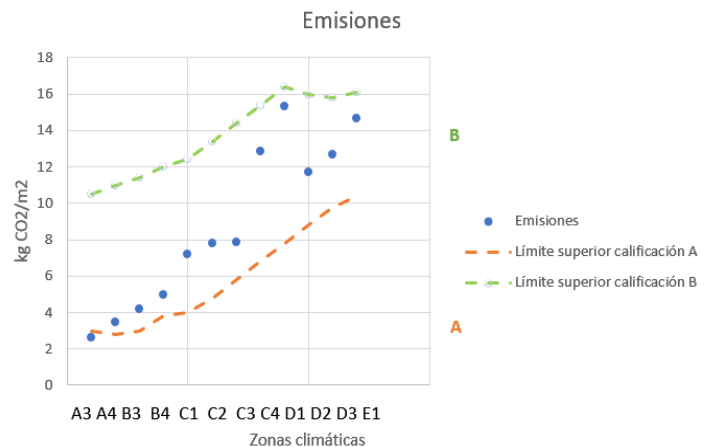
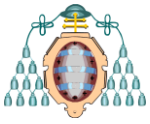


Figura 1. Emisiones de CO₂ del “edificio estándar”

La calificación es muy similar en las diferentes zonas climáticas, A (A3) y B (A4, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3, E1). Sin embargo, las emisiones de CO₂ resultan muy diferentes para la misma letra de calificación. Por ejemplo, las zonas climáticas A4 y D1, obtienen calificación B, pero las emisiones de CO₂ son 3.5 y 15.3 kg de CO₂/m² al año,

Tabla 3. Calificación de eficiencia energética de edificios destinados a viviendas.



respectivamente, observándose que en el segundo caso se obtiene casi cinco veces más de emisiones que en el primero.

B. ANÁLISIS DE MEJORAS.

Una vez obtenidos los resultados de la calificación energética del “edificio estándar” en cada una de las zonas climáticas españolas, se ha realizado un estudio de diferentes mejoras y combinaciones de las mismas y de cómo afectan al ser aplicadas en cada ciudad representativa.

El programa CERMA, propone una serie de situaciones de mejora estandarizadas, las cuales son las habitualmente utilizadas en este tipo de construcciones. Esto permite analizar la repercusión de estas mejoras en la producción de emisiones de CO₂.

Existen dos tipos de mejoras diferenciadas: mejoras en la demanda (aislamiento, huecos, reducción de superficies, reducción de número de renovaciones de aire) y mejoras en los sistemas (Instalaciones térmicas de ACS, calefacción y refrigeración). Las mejoras estandarizadas de cada una de ellas se pueden observar en las Tablas 4 y 5.

Además de las mejoras simples de demanda y de sistemas, se realizan combinaciones de mejoras de demanda, combinaciones de mejoras de sistema, y combinaciones de demandas y sistemas.

Las Figuras 2 a 28 muestran los cambios experimentados en la calificación energética y en las emisiones de CO₂ debidos a cada una de las mejoras en la ciudad de Madrid (zona climática D3), la cual ha sido seleccionada a modo de ejemplo (calificación energética inicial B).

Tabla 4. Mejoras simples de sistemas

Mejoras de sistemas	Calefacción	Caldera	Rendimiento estacional (%)				
		Gas natural	90	95	100	105	
		Gasóleo C	90	95	100	105	
		GLP	90	95	100	105	
		Biomasa	90	95	100	105	
		BC aire agua	COP estacional				
		Electricidad	2	2,33	2,66	3	
		Refrigeración	Equipo de frío	EER (estacional)			
			Electricidad	1,7	2	2,33	2,66
		ACS	Caldera	Rendimiento estacional (%)			
	Gas natural		90	95	100	105	
	GLP		90	95	100	105	
	Biomasa		90	95	100	105	
	Efecto Joule		Rendimiento estacional (%)				
	Electricidad		90	95	100	105	
	BC aire agua		COP estacional				
	Electricidad		2	2,33	2,66	3	

Tabla 5. Mejoras simples de demanda.

Mejoras de demanda	Aislamiento	Conductividad del aislamiento $\lambda = 0,004 \text{ W/m}^2\text{K}$						
		Espesor de aislamiento (mm)						
		Cubiertas	+10	+20	+30	+40	+60	+80
		Muros	+10	+20	+30	+40	+60	+80
		Suelos	+10	+20	+30	+40	+60	+80
		Cubiertas+muro+suelos	+10	+20	+30	+40	+60	+80
		Puentes térmicos	Aislamiento Térmico (AT)					
			AT continuo	Pilares aislados		AT hasta el marco	Pilares aislados + AT marco	
		Huecos	Transmitancias térmicas (U) (W/m ² K)					
			Tipo 1		Tipo 2		Tipo 3	
	Vidrio		3,3 (doble)		2,5 (doble bajo)		1,8 (doble b. emisor)	
	Marco		4,0 (metálico con RPT)		2,2 (madera)		1,8 (PVC 3 cámaras)	
	Vidrio +Marco		3,3 + 4		2,5 + 2,2		1,8 + 1,8	
	Factor solar vidrio		0,75		0,5		0,25	
	Factor solar modificado verano		0,75		0,5		0,25	
	Permeabilidad (m ³ /hm ² 100Pa)		27		9		3	
	Reducción superficies	Reducciones (%)						
		Huecos	-5		-10		-15	
			-20		-10		-15	
		Muros	-5		-10		-15	
-20			-10		-15			
Reducción renovación de aire	Nº de renovaciones	-5		-10		-15		

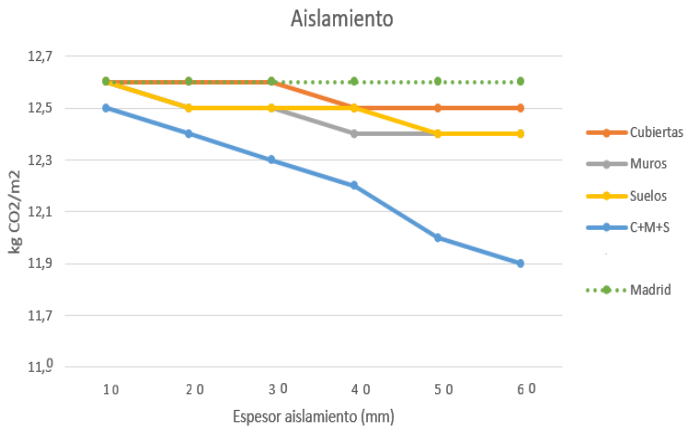


Figura 2. Mejoras de aislamiento (Madrid)

En el caso de las mejoras en el aislamiento (Figura 2), se observa que no se modifica ni la calificación energética y que apenas se modifican las emisiones al mejorar el aislamiento en las cubiertas, en los suelos y muros. Sin embargo, se consigue pasar de 12.6 a 11.9 al mejorar el aislamiento en la combinación de cubierta, muros y suelos, pero quedándose en calificación B. En las zonas climáticas con calificación inicial A o B, no se modifica en ningún caso la calificación energética, y se observa, al igual que en el caso anterior, una ligera mejora al modificar muros y la combinación de muros, suelos y cubiertas. En ambos casos al aumentar el aislamiento se mejoran ligeramente las emisiones.

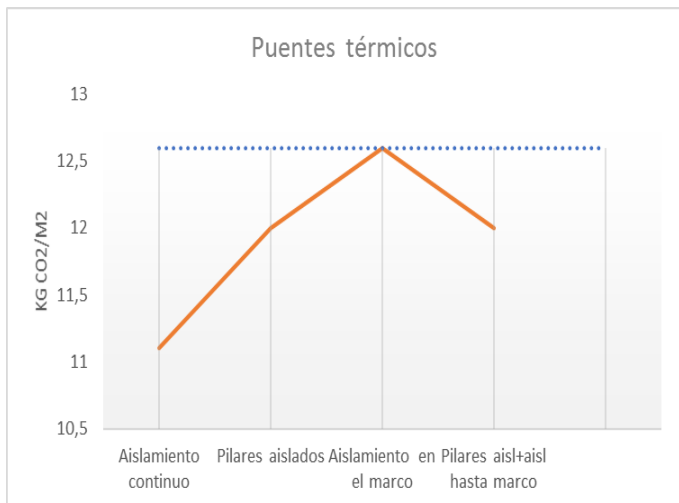


Figura 3. Aislamiento en puentes térmicos (Madrid)

La figura 3 muestra las mejoras en el aislamiento de puentes térmicos en Madrid. En todas las zonas climáticas la mejor solución es optar por el aislamiento continuo y la peor solución el aislamiento en el marco, ya que en ningún caso se consigue mejorar las emisiones con el aislamiento en el marco. En el caso de la zona climática con calificación inicial A, se mantiene en todos los casos la calificación, mejorándose las emisiones de CO₂. Sin embargo, hay resultados diferentes en las

zonas climáticas con calificación inicial B; En el caso de Almería, Valencia y Sevilla se consigue llegar a una calificación A, pero para el resto de los casos (Bilbao, Barcelona, Granada, Toledo, Vitoria, Zamora, Madrid y Burgos) sólo se consiguen mejorar las emisiones.

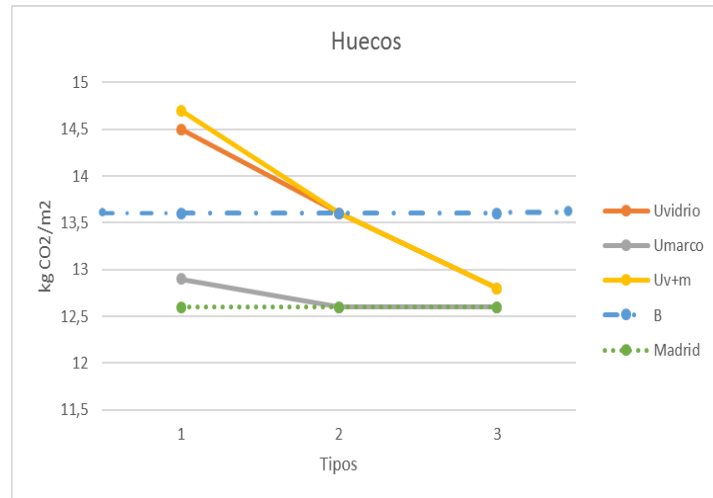


Figura 4. Mejoras en huecos (Madrid)

En cuanto a los huecos, las mejoras sencillas para Madrid se muestran en la figura 4. En todas las zonas climáticas se sigue la misma tendencia, siendo la mejor opción modificar el marco ya que el resto empeora las emisiones y la calificación, aunque mejorando el marco solo se consigue mantener las emisiones iniciales. Se puede observar que, con las mejoras del vidrio y del vidrio junto con el marco, se empeora la calificación inicial y solo modificando el marco, se consigue mantener las emisiones y la calificación.

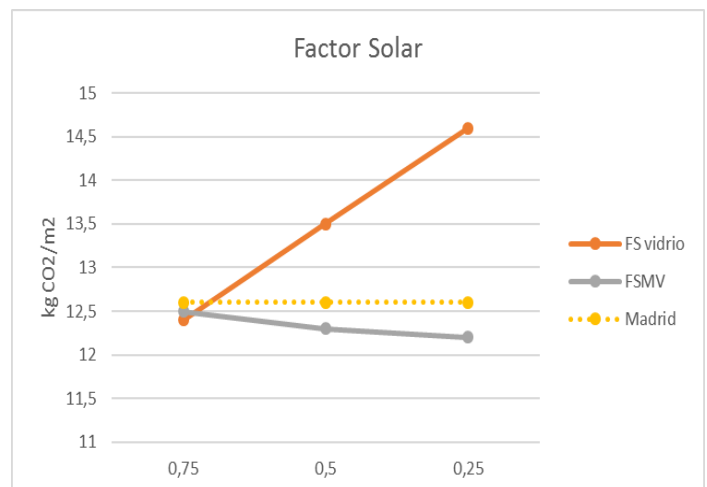
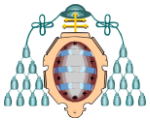


Figura 5. Mejoras en factor solar (Madrid)



El factor solar (FS) del vidrio es el cociente entre la ganancia de calor total a través del vidrio y la radiación solar incidente. Es decir, el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. El factor solar modificado se define como el producto del factor solar por el factor de sombra.

En todas las zonas climáticas, a medida que se disminuye el factor solar del vidrio, empeoran las emisiones de CO₂ y se mantiene la misma calificación.

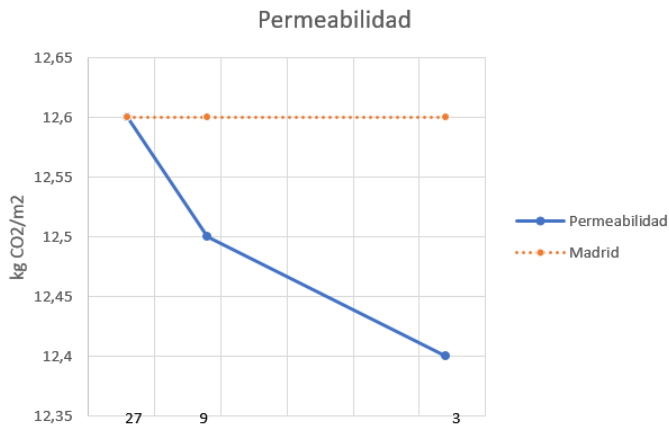


Figura 6. Mejora en la permeabilidad de los huecos (Madrid)

La permeabilidad del hueco es el caudal en m³/h·m² de aire que se infiltra en un hueco cuando se le somete a una diferencia de presiones de 100 Pa.

Tanto en las zonas climáticas con calificación inicial B como en las de calificación A mantienen la misma calificación al mejorar la permeabilidad a pesar de mejorar las emisiones de CO₂. La figura 6 muestra las mejoras en la permeabilidad de huecos en Madrid.

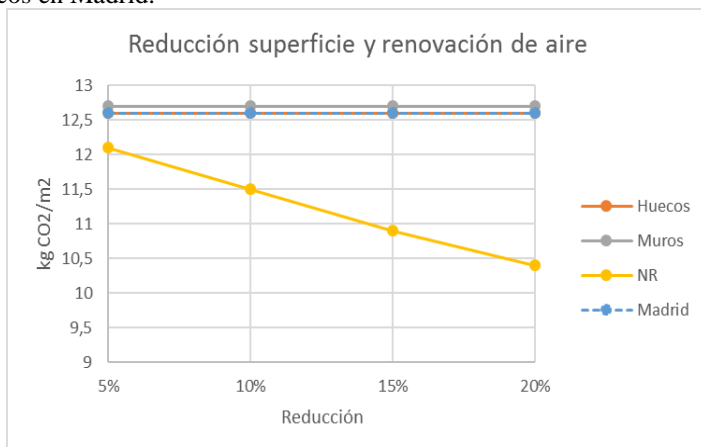


Figura 7. Reducciones de superficie (huecos y muros) y de renovaciones de aire (nr) (Madrid)

Como se puede observar en la Figura 7, para Madrid no cambia la calificación ni las emisiones en cuanto a reducción en muros y huecos. Es más, con la mejora en muros se empeoran las emisiones. El resto de las ciudades siguen la misma tendencia.

Para el caso de renovación de aire, se observa que disminuyen las emisiones significativamente, pero la calificación sigue siendo la B. Para el resto de las ciudades varía; Cádiz, Bilbao, Granada, Toledo, Vitoria, Zamora y Burgos siguen la misma tendencia que Madrid manteniendo la calificación y mejorando las emisiones, pero Almería, Valencia, Sevilla y Barcelona mejoran su calificación B a calificación A.

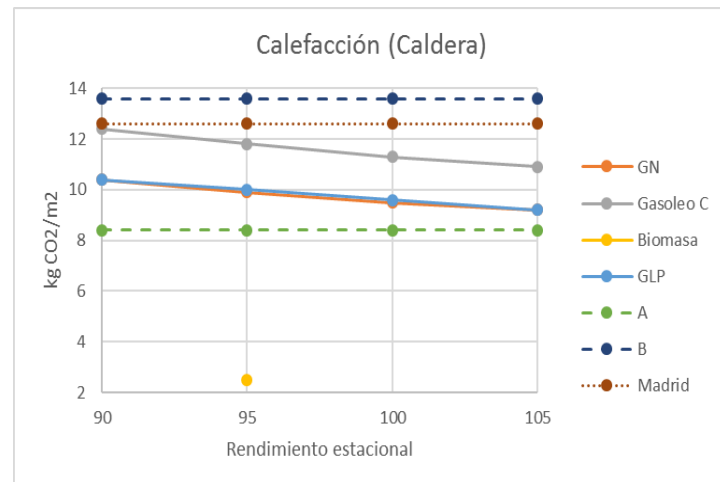


Figura 8. Mejoras en la calefacción. Caldera con diferentes combustibles (Madrid)

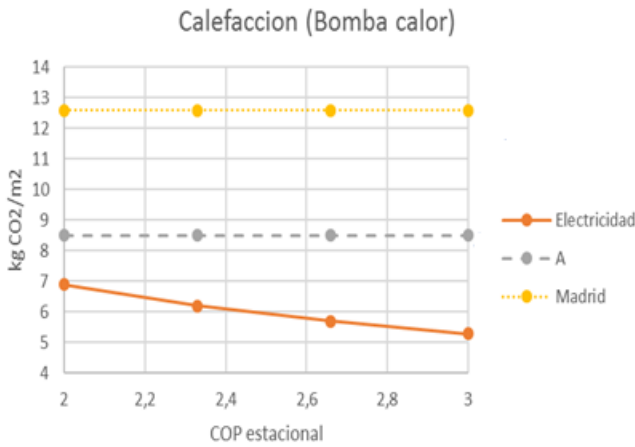
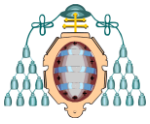


Figura 9. Mejora en la calefacción. Bomba de calor (Madrid)

Analizando las mejoras de las calderas de calefacción se puede observar claramente, en todas las zonas climáticas, como mejoran las emisiones y en ciertos casos las calificaciones a medida que aumenta el rendimiento de la caldera. Todas las zonas climáticas coinciden en que la mejor opción para reducir la calificación y las emisiones es optar por la caldera de biomasa, llegando a una calificación A en todas las ciudades.

Por otro lado, empleando una bomba de calor para calefacción, se mejoran las emisiones e incluso la calificación a medida que se aumenta el COP, llegando nuevamente a una calificación A.

Pero, aunque con la bomba y la caldera de biomasa se consiga una calificación A, optar por la caldera de biomasa es mejor opción ya que las emisiones son menores.

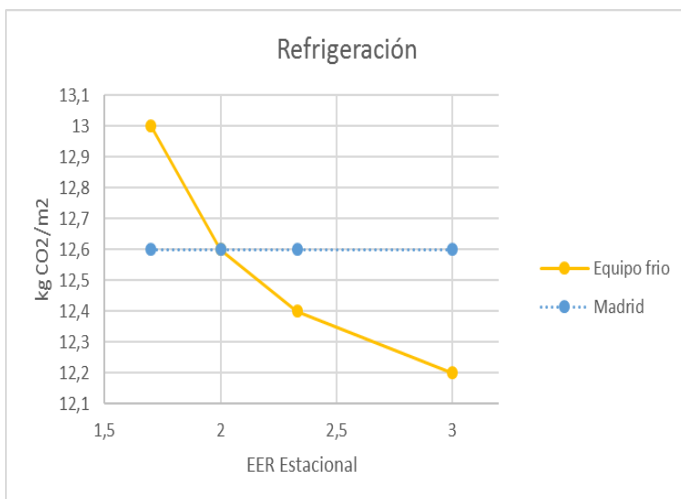


Figura 10. Mejoras simples de refrigeración (Madrid)

En el caso de las mejoras sencillas en refrigeración, todas las zonas climáticas siguen la misma tendencia, se mantiene la misma calificación de inicio en todas ellas, mejorándose ligeramente las emisiones al aumentar el EER estacional de 1,7 a 3. En las zonas cuyas condiciones climáticas de verano son más suaves, y por lo tanto no necesitan refrigeración, se ven empeoradas las emisiones de CO₂, como es el caso de Vitoria, Burgos y Bilbao.

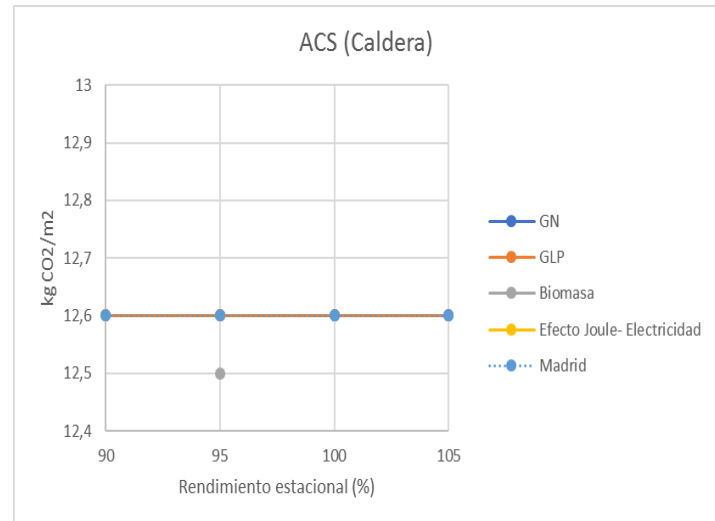


Figura 11. Mejoras en ACS. Caldera con diferentes combustibles (Madrid)

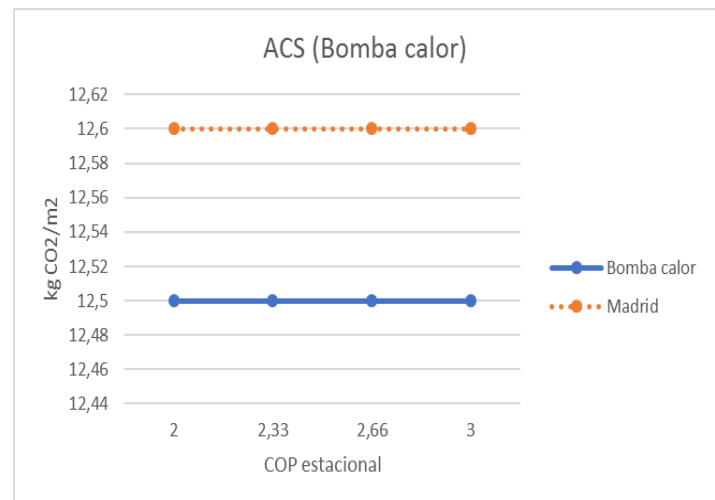
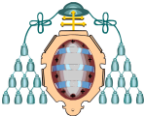


Figura 12. Mejoras en ACS. Bomba de calor (Madrid)

En este análisis de las mejoras simples de ACS con caldera también se incluye la caldera de efecto Joule, la cual funciona con electricidad.

En general, las emisiones no resultan mejoradas al aumentar el rendimiento estacional de la caldera a excepción del uso de biomasa. Por ende, no se modifica la calificación en



ninguna de las zonas climáticas, pero se consigue reducir las emisiones usando biomasa.

Al emplear bomba de calor de aire-agua para ACS, se mejoran ligeramente las emisiones.

En el siguiente grupo de mejoras, se combinan las mejoras sencillas de demanda comentadas anteriormente, de manera que se proponen tres tipos de hueco que se combinan a su vez con diferentes espesores de aislamiento muros, cubiertas y puentes térmicos:

- Tipo 1: vidrio 3,3 W/m²K, marco 4,0 W/m²K y permeabilidad 27 m³/hm² 100Pa
- Tipo 2: vidrio 2,5 W/m²K, marco 2,2 W/m²K y permeabilidad 9 m³/hm² 100Pa
- Tipo 3: vidrio 1,8 W/m²K, marco 1,8 W/m²K y permeabilidad 3 m³/hm² 100Pa

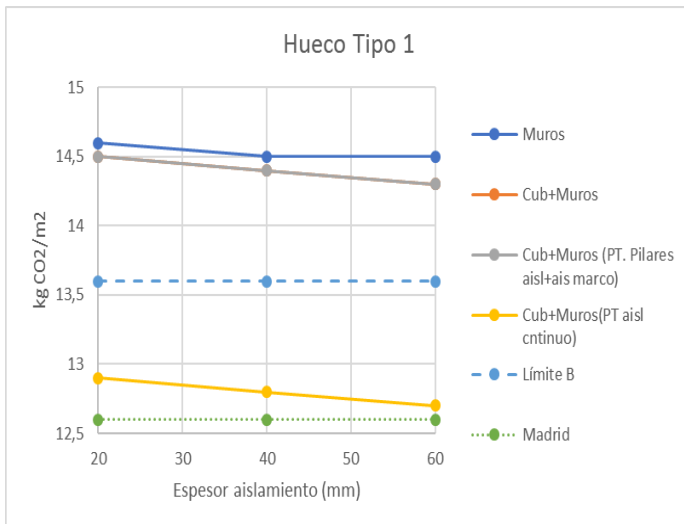


Figura 13. Mejoras combinadas de demanda. Hueco tipo 1(Madrid)

En general, para todas las zonas climáticas, y empleando el hueco tipo 1, se observa que empeora la calificación energética de B a C, excepto en el caso de cub+muros (PT aisl ctniuo), que mantiene una calificación B pero empeorando las emisiones iniciales.

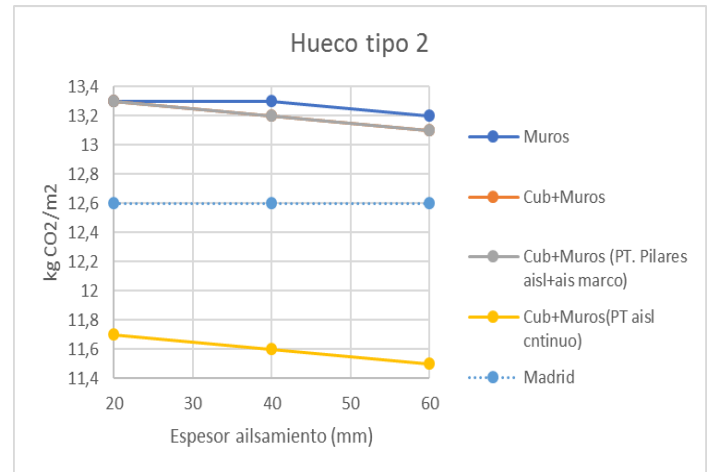


Figura 14. Mejoras combinadas de demanda. Hueco tipo 2(Madrid)

Con el hueco tipo 2, se ven tendencias similares a las obtenidas con el hueco tipo 1. Se mantiene la calificación B, aunque empeoran las emisiones ligeramente, excepto para el caso de cub+muros (PT aisl ctniuo) que, en este tipo de hueco si mejora las emisiones, aunque se sigue manteniendo una calificación B.

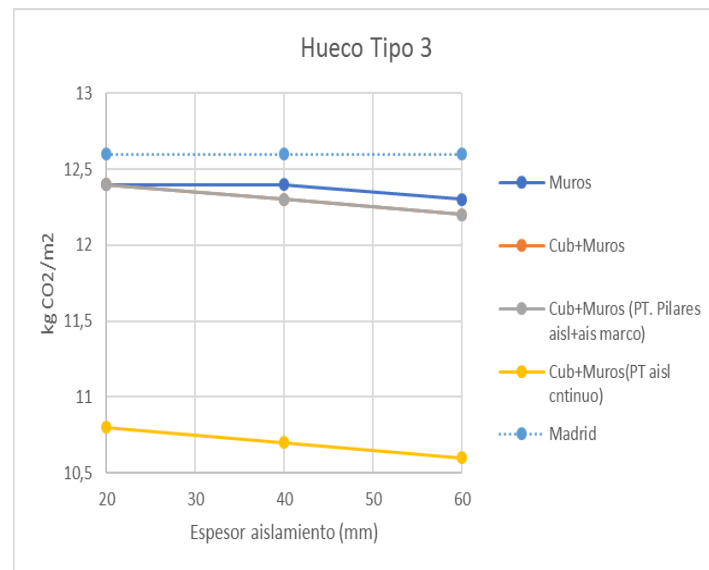
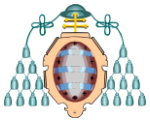


Figura 15. Mejoras combinadas de demanda. Hueco tipo 3 (Madrid)

Las mejoras realizadas con el hueco 3 no siguen la misma tendencia que en los casos del hueco 1 y 2. Al tener mejores características que en los casos anteriores, se obtienen mejores resultados en todos los casos, aunque sigue manteniéndose una calificación B. Además, siguen sin existir diferencias al actuar sobre los muros que sobre cubierta+muros. Los mejores



resultados son actuando también sobre los puentes térmicos y sobre todo cuando se trata de aislamiento continuo en puentes térmicos.

A continuación, se pasa al estudio de las mejoras combinadas de equipos. Las mejoras combinadas de equipos se dividen en 4 grupos:

- Combinación de ACS y calefacción (con caldera o BC)
- Combinación de ACS, calefacción y refrigeración (funcionando las primeras con caldera o BC y la refrigeración con un equipo de frío)
- Combinación de calefacción y refrigeración (con una BC aire-aire)
- Combinación de ACS, calefacción y refrigeración (ACS funcionando con caldera, y calefacción y refrigeración mediante BC)

Figura 17. Mejoras en ACS+Calefacción (Bomba) (Madrid).

En las mejoras combinadas de ACS y calefacción mediante caldera se ve una clara mejoría a medida que aumenta el rendimiento estacional en todas las zonas climáticas. En concreto, en las zonas climáticas con calificación inicial B, se mantiene dicha calificación, obteniéndose resultados muy similares tanto con caldera de gas natural como de GLP. Sin embargo, los resultados con Gasóleo C, aun partiendo de unas emisiones más altas, también se consiguen disminuir.

Con la caldera de biomasa se obtienen mejores resultados llegando incluso a la calificación A.

Para el caso de mejoras combinadas de ACS y calefacción con BC se ve una mejora tanto de las emisiones como de la calificación aumentando el COP estacional.

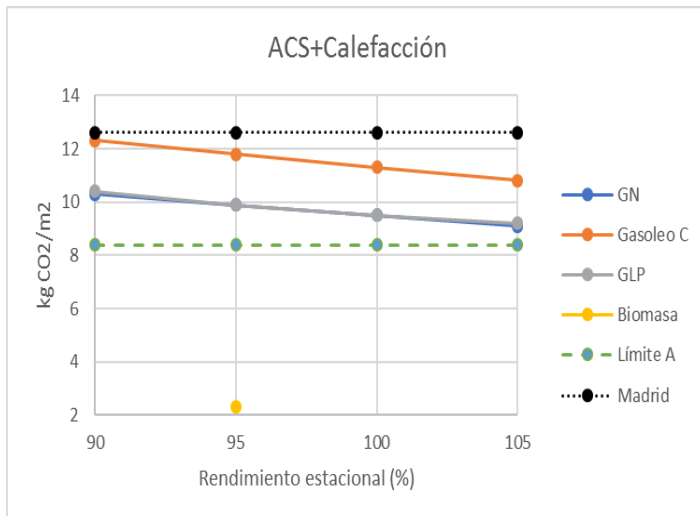


Figura 16. Mejoras en ACS+Calefacción (Caldera) (Madrid)

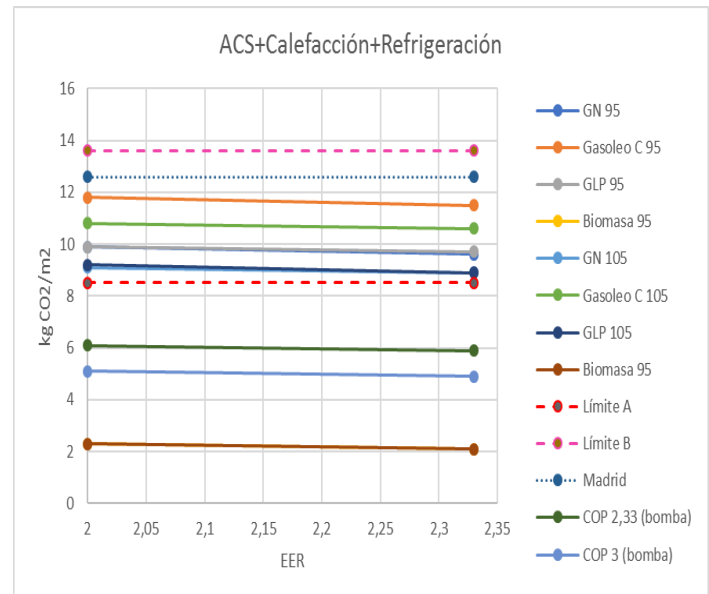
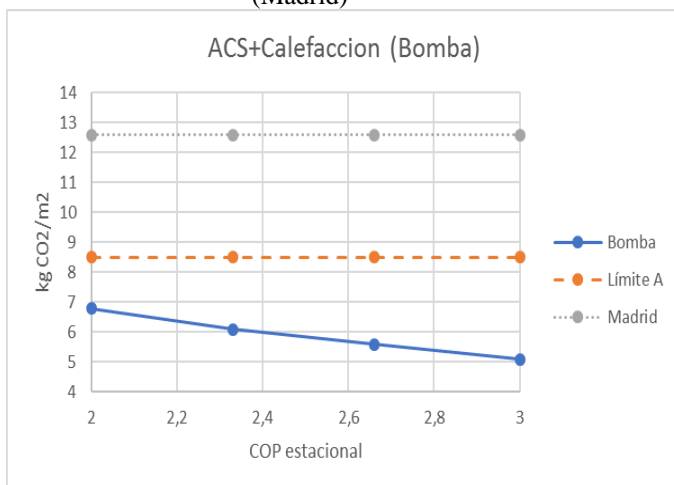
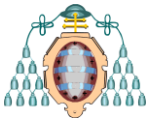


Figura 18. Mejoras en ACS, calefacción y refrigeración (Caldera) (Madrid)



Cuando optamos por modificar ACS, calefacción y refrigeración, los mejores resultados en todas las zonas climáticas se obtienen empleando un equipo de frío con EER estacional de 2.33 y combinándolo, o bien con una caldera con un rendimiento estacional de 95%, o con BC con COP=3.



Calefacción+Refrigeración

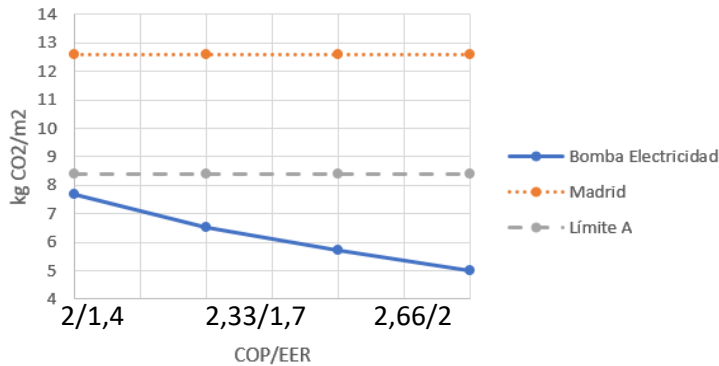


Figura 19. Mejoras en calefacción y refrigeración (Madrid)

En las mejoras de calefacción y refrigeración con BC con aire-aire los mejores resultados se obtienen optando por la mayor relación de COP/EER. En las zonas climáticas con calificación inicial A y B, se mantiene la calificación y mejora a A respectivamente.

ACS+Calefacción+Refrigeración

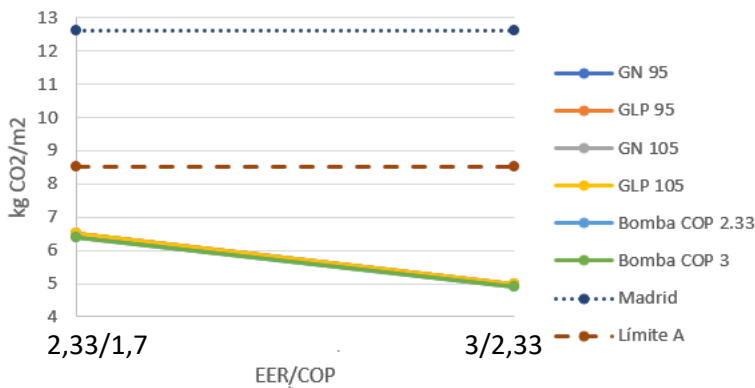


Figura 20. Mejoras en ACS, calefacción y refrigeración (Madrid)

En las mejoras de ACS, calefacción y refrigeración empleando para ACS, bien caldera o bien BC aire-agua, y para calefacción y refrigeración BC aire-aire se observan las mismas tendencias para cada zona climática. Se puede observar que todas las opciones tienen unas mejoras similares, aunque se aumente el rendimiento de la caldera, aunque los mejores resultados, por muy pequeña que sea la diferencia, se obtienen empleando una relación COP/EER de 3/2,33.

Por último, se realizan mejoras combinadas de demanda y equipos, en ellas se ven los cambios experimentados mediante distintas posibilidades y combinaciones de ACS, calefacción y refrigeración, esto se consigue modificando los rendimientos de

los equipos y con mejoras de demanda como el aumento de aislamiento en cubierta y muros y con los tipos de huecos 1 y 2.

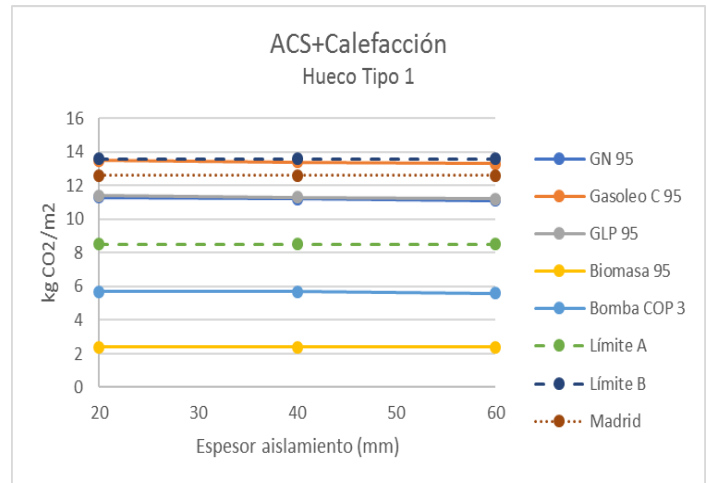


Figura 21. Mejoras combinadas en ACS y calefacción con hueco tipo 1 (Madrid)

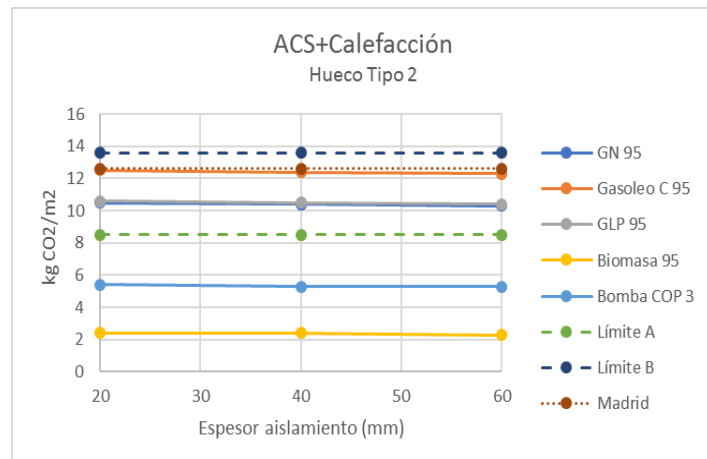
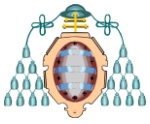


Figura 22. Mejoras combinadas en ACS y calefacción con hueco tipo 2(Madrid)

En el caso de las mejoras combinadas de ACS y calefacción empleando o bien caldera o bien bomba de calor aire-agua, combinándolo con los huecos tipo 1 y 2 y con distintos espesores de aislamiento, los resultados muestran que para todas las zonas climáticas la mejor opción es elegir el hueco tipo 2, aunque en las zonas climáticas con calificación B se obtienen buenos resultados con el hueco tipo 1 también. Es decir, hay pocas diferencias entre las mejoras que se consiguen con el Hueco tipo 1 y el tipo 2, pero se consiguen reducir ligeramente más emisiones con el hueco tipo 2.

Se observa que el aumento del espesor no mejora la reducción de emisiones.



En todas las zonas, se obtienen resultados muy similares empleando gas natural y GLP y la peor opción sería elegir caldera de gasóleo C. La mejor opción sin duda es optar por caldera de biomasa llegando a una calificación A o bien optar por bomba de calor aire agua que muestra bastante mejora respecto a las calderas de combustibles convencionales, llegando también a una calificación A.

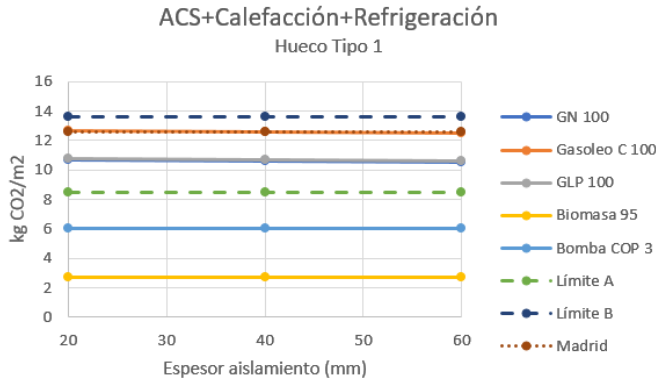


Figura 23. Mejoras combinadas en ACS, calefacción y refrigeración con hueco tipo 1 (EER=1.7) (Madrid)

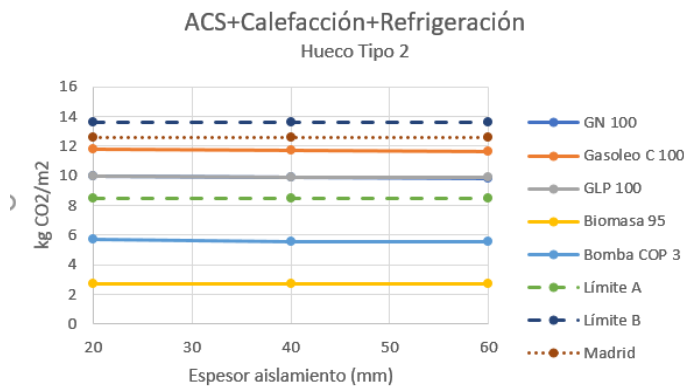


Figura 24. Mejoras combinadas en ACS, calefacción y refrigeración con hueco tipo 2 (EER=1.7) (Madrid)

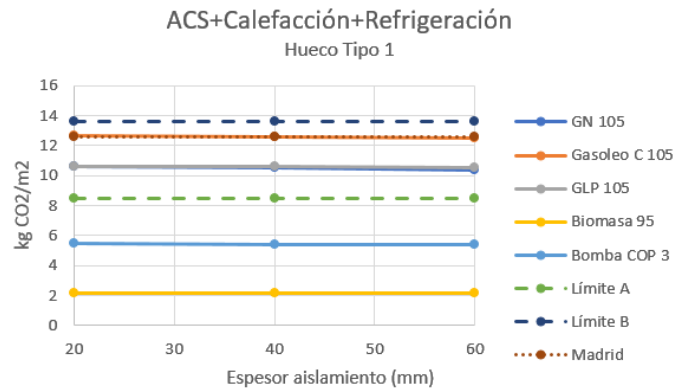


Figura 25. Mejoras en calefacción y refrigeración con hueco tipo 1 (EER=2.33) (Madrid)

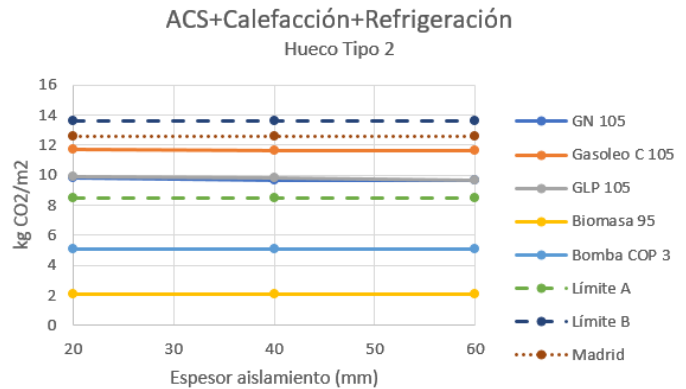


Figura 26. Mejoras en calefacción y refrigeración con hueco tipo 2 (EER=2.33) (Madrid)

En las gráficas 23, 24, 25 y 26 se muestran las mejoras combinadas en ACS, calefacción y refrigeración con diferentes rendimientos de los equipos y con los dos diferentes tipos de huecos. Las gráficas 23 y 24 emplean rendimientos de la caldera de 100% y una relación de EER/COP de la bomba de calor aire-agua de 2.33/3. Las gráficas 25 y 26 muestran los resultados obtenidos con rendimiento de caldera del 105% y una relación EER/COP de la bomba calor aire-agua de 2,33/3. Entre estas dos opciones de rendimientos no existe gran diferencia de mejoras, siendo en todo caso mejor opción el hueco tipo 2.

Se observa una ligera mejoría respecto al caso de las mejoras combinadas de ACS y calefacción, que sigue siendo la mejor opción escoger el hueco tipo 2, aunque tampoco supone mucha diferencia. Los mejores resultados, y siguiendo la tendencia del caso anterior, son empleando caldera de GLP y gas natural y sobre todo con caldera de biomasa y bomba de calor aire-agua, ya que con estas dos últimas se consigue una calificación A.

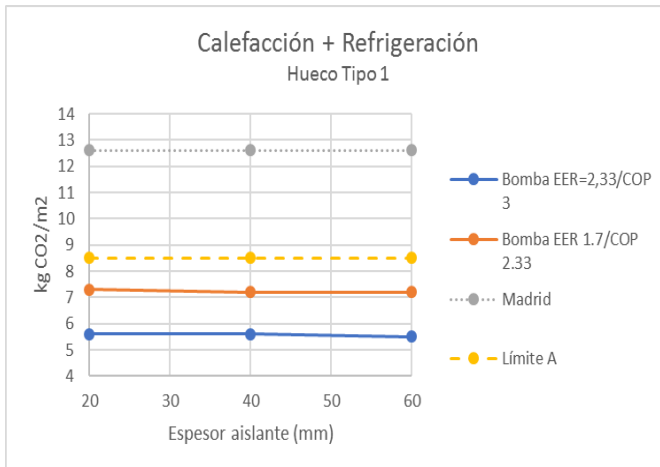
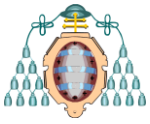


Figura 27. Mejoras en calefacción y refrigeración con hueco tipo 1 (Madrid)

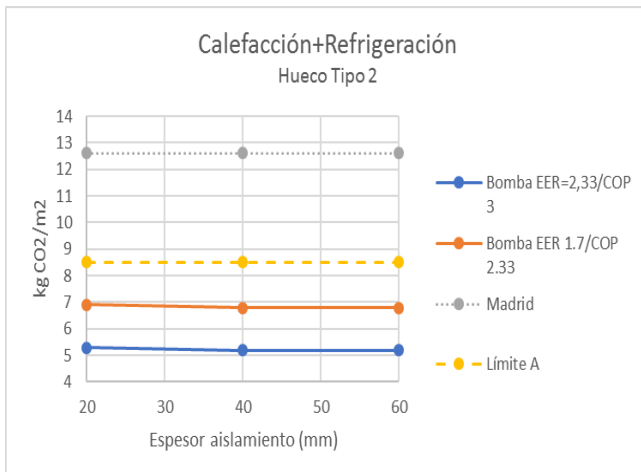


Figura 28. Mejoras en calefacción y refrigeración con hueco tipo 2 (Madrid)

En las mejoras combinadas de calefacción y refrigeración se propone emplear una bomba de calor con diferentes relaciones de EER/COP, la relación de 1,7/2,33 y de 2,33/3, combinándolo con el tipo de hueco y el aumento del espesor de aislamiento. En todas las zonas climáticas mejora hasta la calificación A.

En general se observa que, actuar conjuntamente en demanda y equipos es la mejor opción puesto que se mejora la calificación en todas las zonas climáticas, aunque sea en distinta medida. En las zonas climáticas con calificación inicial B, es relativamente sencillo obtener una calificación A.

C. MEJORES MEDIDAS DE MEJORA PARA CONSEGUIR UNA CALIFICACIÓN A.

En las tablas 6 a 10 se presentan de manera resumida las medidas que mayor reducción de emisiones se consiguen, consiguiendo obtener una calificación A en las ciudades que sea posible.

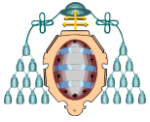
En los casos en los que no se consigue una calificación A, se subraya de rojo.

Tabla 6. Mejoras simples de demanda

Mejoras simples de demanda			
	kgCO ₂ /m ² antes de las mejoras	Mejoras	kgCO ₂ /m ² después de mejoras
Cádiz	2.6	Reducción renovación de aire -20%	2.07
Almería	3.5	Reducción renovación de aire -20%	2.90
Valencia	4.2	Reducción renovación de aire -20%	3.23
Sevilla	4.9	Reducción renovación de aire -20%	3.98
Bilbao	7.2	Reducción renovación de aire -20%	5.41
Barcelona	7.8	Reducción renovación de aire -20%	6.04
Granada	7.8	Reducción renovación de aire -20%	6.26
Toledo	12.9	Reducción renovación de aire -20%	10.55
Vitoria	15.3	Reducción renovación de aire -20%	12.55
Zamora	11.7	Reducción renovación de aire -20%	9.44
Madrid	12.6	Reducción renovación de aire -20%	10.38
Burgos	14.6	Reducción renovación de aire -20%	11.95

Tabla 7. Mejoras simples de equipos

Mejoras simples de demanda			
	kgCO ₂ /m ² antes de las mejoras	Mejoras	kgCO ₂ /m ² después de mejoras
Cádiz	2.6	Calefacción, caldera	1.58



		biomasa 95%	
Almería	3.5	Calefacción, caldera biomasa 95%	2.46
Valencia	4.2	Calefacción, caldera biomasa 95%	1.78
Sevilla	4.9	Calefacción, caldera biomasa 95%	2.55
Bilbao	7.2	Calefacción, caldera biomasa 95%	0.57
Barcelona	7.8	Calefacción, caldera biomasa 95%	1.24
Granada	7.8	Calefacción, caldera biomasa 95%	2.27
Toledo	12.9	Calefacción, caldera biomasa 95%	2.52
Vitoria	15.3	Calefacción, caldera biomasa 95%	1.02
Zamora	11.7	Calefacción, caldera biomasa 95%	1.52
Madrid	12.6	Calefacción, caldera biomasa 95%	2.52
Burgos	14.6	Calefacción, caldera biomasa 95%	0.98

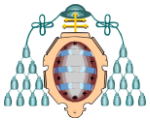
Cádiz	2.6	Hueco tipo 3+10 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	2.22
Almería	3.5	Hueco tipo 3+20 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	3.02
Valencia	4.2	Hueco tipo 3+20 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	3.44
Sevilla	4.9	Hueco tipo 3+40 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	4.14
Bilbao	7.2	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	5.69
Barcelona	7.8	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	6.34
Granada	7.8	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	6.42
Toledo	12.9	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	10.82
Vitoria	15.3	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	12.79
Zamora	11.7	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	9.68
Madrid	12.6	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	10.62
Burgos	14.6	Hueco tipo 3+60 mm aislamiento PT continuo muros y cubiertas	12.10

Tabla 8. Mejoras combinadas de demanda

Mejoras combinadas de demanda			
	kgCO ₂ /m ² antes de las mejoras	Mejoras	kgCO ₂ /m ² después de mejoras

Tabla 9. Mejoras combinadas de equipos

Mejoras combinadas de equipos	

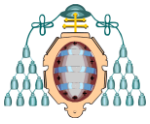


	kg CO ₂ /m ² antes de las mejoras	Mejoras	kg CO ₂ /m ² después de mejoras
Cádiz	2.6	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	1.21
Almería	3.5	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	1.96
Valencia	4.2	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	1.38
Sevilla	4.9	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	2.05
Bilbao	7.2	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2	0.38
Barcelona	7.8	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	0.94
Granada	7.8	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	1.83
Toledo	12.9	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	2.09
Vitoria	15.3	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2	0.8
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	
Zamora	11.7	ACS, calefacción, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	1.20
Madrid	12.6	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	2.07
Burgos	14.6	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2	0.74
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% EER=2.33	

	kg CO ₂ /m ² antes de las mejoras	Mejoras	kg CO ₂ /m ² después de mejoras
Cádiz	2.6	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 60mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.2
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	
Almería	3.5	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.97
Valencia	4.2	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.41
Sevilla	4.9	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	2.1
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	
Bilbao	7.2	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 60mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	0.45
Barcelona	7.8	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.02
Granada	7.8	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 40mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.85
Toledo	12.9	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	2.13
Vitoria	15.3	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 20mm aislamiento cubiertas y	0.9

Tabla 10. Mejoras combinadas de demanda y equipos

Mejoras combinadas de demanda+equipos



		muros, EER=1.7	
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=1.7	
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 1 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	
Zamora	11.7	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 40mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	1.24
Madrid	12.6	ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	2.12
Burgos	14.6	ACS, calefacción, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros	0.8
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=1.7	
		ACS, calefacción y refrigeración, Caldera de biomasa 95% hueco tipo 2 + 20mm aislamiento cubiertas y muros, EER=2.33	

Tras ver las mejoras óptimas que se pueden conseguir en cada caso, se puede concluir que la mejor opción es optar por las mejoras combinadas de equipos, aunque los valores son casi los mismos (algo menores) que mejoras de demanda y equipos.

Elijiendo esta opción se consigue la siguiente mejoría respecto a la certificación original (ver Figura 29):

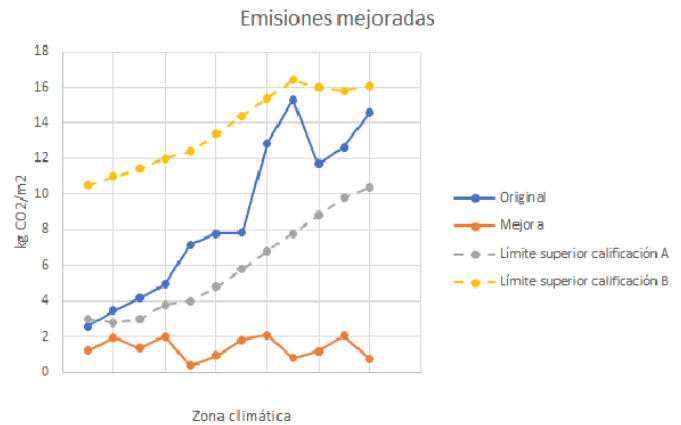


Figura 29. Original vs. Mejora

CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo la definición un edificio “estándar de construcción”, el cual es representativo de los edificios construidos en España después de la entrada en vigor del CTE y el análisis de la influencia de las diferentes zonas climáticas españolas en la eficiencia energética.

Se ha realizado la calificación energética con el programa informático CERMA, reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España.

El edificio estándar se ha elegido intentando representar a la mayoría de edificios construidos tras la entrada en vigor del CTE, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE). Se obtienen calificaciones energéticas similares (A y B) en las diferentes zonas climáticas con emisiones de CO2 próximas a las correspondientes a los valores mínimos de la calificación B. Sin embargo, los valores de emisiones de CO2 son muy diferentes entre las distintas zonas.

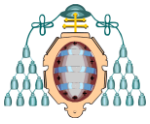
Se ha realizado un análisis de sensibilidad exhaustivo de cada tipo de mejoras, ya sea de demanda, de equipos, o una combinación de ambas.

En lo que se refiere a las mejoras, se observa que para todos los casos se tienen casi las mismas opciones para que las emisiones disminuyan. Por lo tanto, en un futuro se puede saber que opciones son las óptimas para emitir menos emisiones de CO2 y colocarlas desde un inicio en el edificio.

Pero, tal y como se ha mencionado anteriormente, la mejor opción es optar por las mejoras combinadas de equipos ya que es la que menor cantidad de CO2 emite.

La mejor opción es optar por las mejoras combinadas de equipos ya que es la que menor cantidad de CO2 emite consiguiendo certificación A para todos los casos.

Para el caso de mejoras simples de demanda se consigue calificación A a excepción de Bilbao, Granada, Toledo, Vitoria, Zamora, Madrid y Burgos. Para estas ciudades, se podría mejorar la calificación mediante mejoras simples de equipos,



combinadas de equipos y combinadas de equipos y demanda en conjunto.

REFERENCIAS

- [1] Disponible en http://europa.eu/pol/ener/index_es.htm
- [2] Poel, B., van Cruchten, G., & Balaras, C. A. (2007). Energy performance assessment of existing dwellings. *Energy and Buildings*, 39(4), 393-403.
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). Proyecto SECH-SPAHOUSEC Análisis del consumo energético del sector residencial en España.
- [4] Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118-130.
- [5] Disponible en http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU_5.7.3.pdf
- [6] Ministerio de Fomento (Gobierno de España). Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [7] Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, N., Macarulla, M., & Cuerva, E. (2016). Energy mapping of existing building stock in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3895-3904.
- [8] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., & Maestre, I. R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*, 41(3), 272-278.
- [9] Disponible en http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_energy_efficiency_communication.pdf
- [10] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
- [11] European Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council, on the Energy Performance of buildings. Official J. Eur. Union, Brussels, Belgium, May 2010
- [12] Directive 2012/27/ EU of the European Parliament and Council on Energy Efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and Repealing Directive 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official J. Eur. Union, Brussels, Belgium, October 2012
- [13] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado. Madrid, España, 11816-11831.
- [14] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE).
- [15] Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- [16] Ministerio de Industria Energía y Turismo. Plan Nacional de Acción y Eficiencia Energética 2014-2020.
- [17] International Energy Agency (IEA) 2010. Energy Performance Certification of Buildings. A policy tool to improve energy efficiency.
- [18] Instituto Nacional de Estadística de España (INE), Censo de Población y Vivienda 2011, Madrid, Spain, 2011.
- [19] Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de viviendas nuevos y existentes. Método Abreviado (CERMA). CERMA software V-4.0.
- [20] Ministerio de Fomento de España. Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la Edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE. Madrid. Junio 2014.
- [21] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Escala de Calificación energética de edificios existentes y Edificios de nueva construcción. Madrid. Spain. 2009.