



CTE **Plus**

EL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA Y
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN VIVIENDAS
MEDIANTE INCREMENTO DEL AISLAMIENTO

España 2005-2012

CENER 

Centro Nacional de Energías Renovables
c. Ciudad de la Innovación, s/n.
31621 Sarriguren - Navarra
Tel. 948 25 28 00 - Fax 948 27 07 74
e-mail: info@cener.com
www.cener.com

ROCKWOOL PENINSULAR, S.A. 

Bruc 50- 08010 BARCELONA
Tel. 93 318 90 28
Fax 93 317 89 66
e-mail: info@rockwool.es
www.rockwool.es



EL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA Y
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN VIVIENDAS
MEDIANTE INCREMENTO DEL AISLAMIENTO
España (2005-2012)

Estudio realizado por CENER
para ROCKWOOL

ÍNDICE

| | | |
|-------|---|----|
| | Introducción | 1 |
| 1 | Estudio sobre ahorro energético y emisiones de CO ₂ en viviendas | 2 |
| 1-1 | Objetivos del estudio | 2 |
| 1-2 | Metodología empleada en el estudio | 3 |
| 1-3 | Modelos de simulación y programas de cálculo | 4 |
| 1-4 | Principales parámetros utilizados | 5 |
| 1-5 | Estadísticas | 6 |
| 1-6 | Estimación del porcentaje de área acondicionada | 6 |
| 2 | Propuesta para un escenario futuro de demanda de aislamiento | 7 |
| 2-1 | Espesor óptimo versus espesor ideal | 7 |
| 2-2 | Modelo de cálculo para el aislamiento óptimo | 7 |
| 2-3 | Amortización | 8 |
| 2-4 | Requerimientos del CTE para cada zona climática | 9 |
| 2-5 | Valores óptimos de aislamiento obtenidos y selección final | 10 |
| 2-6 | Espesor óptimo de aislamiento adicional | 11 |
| 2-7 | Espesores óptimos para cada zona climática | 12 |
| 3 | Resultados | 13 |
| 3-1 | Introducción | 13 |
| 3-2 | Parámetros utilizados | 13 |
| 3-2.1 | Valores del aislamiento utilizados en el “Escenario CTE” | 13 |
| 3-2.2 | Valores del aislamiento utilizados en el “Escenario CTE-PLUS” | 14 |
| 3-3 | Resultados | 14 |
| 3-3.1 | Vivienda individual | 14 |
| | a. Consumo de energía para cada escenario considerado | 14 |
| | b. Ahorros energéticos entre escenarios | 16 |
| 3-3.2 | Bloque de viviendas | 17 |
| | c. Consumo de energía para cada escenario considerado | 17 |
| | d. Ahorros energéticos entre escenarios | 18 |
| 3-4 | Resultados de ahorro energético y emisiones de CO ₂ | 19 |
| 3-5 | Ahorros energéticos anuales (2005-2012) y total acumulado | 21 |
| 3-6 | Emisiones anuales de CO ₂ (2005-2012) y total acumulado | 21 |
| 4 | Conclusiones | 22 |
| — | Anexo 1 - Descripción detallada de los modelos empleados en la simulación | 26 |
| — | Anexo 2 - Mapa de zonas climáticas según CTE. | 37 |
| — | Listado de tablas y figuras | 38 |
| — | Bibliografía | 39 |

En las últimas décadas hemos asistido en España a un incremento sostenido del consumo de energía en consonancia con la mejora del bienestar y de la favorable evolución de la economía.

La bonanza económica ha propiciado que en los hogares españoles se incremente el número de aparatos que consumen energía ya sea para ocio (ordenadores, impresoras), para mejor confort térmico (equipos de aire acondicionado, bombas de calor) o para comodidad de sus inquilinos (secadoras, lavaplatos). Este gasto en ocasiones desmesurado de energía y la adopción de hábitos que invitan al derroche no son en absoluto sostenibles a medio y largo plazo. El ciudadano medio ignora el importe de sus recibos y que existen medidas simples para ahorrar energía.

Paralelamente, la vida en el planeta se ve acosada por el deterioro de la capa de ozono como consecuencia de la proliferación de los gases producto del consumo de combustibles de origen fósil, que provocan el llamado efecto invernadero y que amenaza el mantenimiento del ecosistema, lo que se traduce en cambios en el clima y que pueden, con el tiempo, obligarnos a modificar nuestros hábitos de vida.

Europa ha tomado conciencia del problema y, desde hace varios años, diferentes directivas han sido publicadas con el ánimo de reducir el consumo de energía y, en consecuencia, las emisiones de CO₂.

Un nuevo problema se añade al consumo de energía, se trata de la dependencia que tiene Europa (y España) de la importación de combustibles fósiles para el correcto funcionamiento de la industria y el comercio: se estima que en 2030 en Europa el 90% del petróleo y el 80% del gas será de importación ⁽¹⁾. El considerable aumento del precio de estos carburantes ya sea por exceso de la demanda (desarrollo de países emergentes como la India o China) como por problemas en la oferta (falta de estabilidad política en los países productores: Irak, Venezuela), se traduce en un incremento imparable del coste de la energía.

Los gobiernos europeos se apresuran a poner en marcha medidas tendentes a neutralizar los efectos del exceso de consumo energético en el medio ambiente y el incremento del coste de los combustibles en el nivel de vida de los ciudadanos. Para ello se han implementado diferentes medidas que van desde programas de concienciación y educación de los ciudadanos para que en sus hábitos de vida reduzcan los consumos excesivos de energía, pasando por favorecer las tecnologías que permiten producir energías renovables, o el incremento de los niveles de aislamiento en los edificios.

Este estudio pretende contribuir al debate sobre las medidas para reducir el incremento imparable de los costes de la energía y el deterioro de nuestro entorno, mediante una propuesta para el incremento sostenible del aislamiento térmico en los edificios. Estas medidas deben aplicarse sin tardanza tanto en la edificación nueva como en el parque de edificios existente.

(1) Green Paper-Comisión Europea 2005

1-1 Objetivos del estudio

Con la firma del Protocolo de Kioto en 1997, los países industrializados tomaron el compromiso de reducir durante el periodo 2008-2012 las emisiones de los 6 gases responsables del efecto invernadero, entre los que destaca el CO₂. España se comprometió a que sus emisiones no superarían el 15% de las generadas en 1990. El 4 de Enero de 2006 entró en vigor en la Comunidad Europea la Directiva 91/2002, de Eficiencia Energética, que implicará la adopción por parte de los países miembros de toda una serie de medidas que fomenten la reducción del consumo energético de los edificios y la calificación de estos en función de su eficiencia energética. A partir de esa fecha toda vivienda vendida o alquilada deberá disponer del correspondiente documento acreditativo de su eficiencia energética.

La normativa relativa al aislamiento térmico en los edificios en España se encuentra recogida en la NBE-CT-79. Esta norma obsoleta será substituida por el “Código Técnico de la Edificación” (CTE) cuya aplicación se espera para 2006. Uno de los documentos que forman el mencionado CTE, es el DB-HE1 (Documento Básico Ahorro Energético), donde se indican las medidas para limitar la demanda energética del edificio.

En 2004 el Ministerio de Economía y Hacienda publicó el documento llamado E4 “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 - 2012”, donde, en el apartado dedicado al sector de la Edificación, incluye un estudio del potencial de ahorro energético comparando la existente y la futura reglamentación:

- El escenario existente con la NBE-CT 79
- El escenario futuro con el CTE

Para la realización del estudio e identificar el potencial, se utilizaron tres modelos diferentes de edificios, dos de tipo residencial, y un tercero de oficinas. Éstos fueron simulados en tres zonas climáticas diferentes (Sevilla-B4, Madrid-D3 y Burgos-E1). La media de ahorro potencial fue calculada aplicando una distribución de la población (63% en la zona climática B4, el 34% en la D3 y el 3% restante en la zona E1).

El primer objetivo de este estudio es mostrar el impacto positivo que el incremento de espesores de aislamiento en los edificios nuevos puede aportar al ahorro energético y a la reducción de emisiones de CO₂ en España.

El segundo objetivo consiste en valorar el coste que representará para España el exceso de emisiones de CO₂, dado que va a penalizarse a aquellos países que emitan en exceso CO₂ respecto a la cuota asignada.

En el presente trabajo se ha investigado el efecto de un posible futuro escenario con mayor demanda energética que el escenario del CTE (versión Abril 2005), mediante la comparación entre:

- El escenario normativo CTE DB-HE1 (que llamaremos CTE)
- Un escenario que llamamos CTE-PLUS basado en el “espesor matemáticamente óptimo de aislamiento”

El estudio trabaja con la hipótesis de un cambio en las características térmicas de las cubiertas y de las fachadas incrementando el espesor de aislamiento. Los resultados se refieren solamente a edificios nuevos construidos en el periodo 2005-2012. Los modelos de edificios empleados son los mismos definidos en el estudio E4, vivienda unifamiliar adosada y bloque de viviendas.

El estudio pretende ser objetivo y conservativo en lo posible en sus conclusiones.

1-2 Metodología empleada en el estudio

El estudio se ha basado en simulaciones paramétricas de dos modelos de edificios, uno de vivienda unifamiliar y otro de viviendas en bloque. Las fases para la realización del estudio fueron las siguientes:

Para los edificios

Ahorro de energía obtenido con el incremento del espesor de aislamiento prescrito por el CTE, mediante el espesor óptimo y la amortización de la inversión.

— Simulaciones paramétricas

Sobre cada y para cada zona climática de referencia seleccionada, se han ido variando los espesores de aislamiento de centímetro en centímetro, para determinar los ahorros obtenidos en función de cada espesor, obteniendo una gráfica que determina los ahorros energéticos en función del espesor.

— Ahorro de energía

Se ha determinado el coste de esa energía ahorrada, en función de un precio de energía medio considerado.

— Coste del aislamiento

En cada caso se ha determinado el coste del aislamiento, en función del espesor aplicado.

— Espesor matemáticamente óptimo

Se ha hallado el espesor del aislamiento óptimo matemático para cada modelo y zona climática de referencia mediante la utilización de los "ahorros de energía" y "costes inversión". Se ha seleccionado finalmente un valor de incremento de espesor matemáticamente óptimo para cada zona climática de referencia.

— Amortización

Se ha realizado un cálculo del tiempo estimado de retorno de la inversión inicial, en función del grosor de aislamiento considerado, para cada modelo y zona climática de referencia

— Aplicación de los valores óptimos

En primer lugar, se han agrupado las 12 zonas climáticas de España en tres grupos, uno por cada zona climática de referencia. A cada grupo se le ha asignado el mismo espesor matemáticamente óptimo que el hallado para su zona de referencia. En segundo lugar se ha seleccionado un año climático tipo por cada zona climática.

— Obtención de los resultados en ahorro para cada zona climática con el espesor óptimo propuesto

Para cada modelo de edificio y en cada zona climática se ha calculado el ahorro energético teniendo en cuenta los correspondientes datos climáticos.

Cálculos a nivel nacional

— Obtención de los ahorros obtenidos en cada zona climática con el óptimo propuesto

Se han hallado, con el espesor óptimo asignado y con el año meteorológico tipo elegido para cada zona climática, los ahorros de cada modelo de vivienda en cada una de las capitales de provincia de España.

— Extrapolación de resultados

Los resultados obtenidos para cada modelo de edificio han sido extrapolados para calcular los valores de energía ahorrada, y reducción de emisiones de CO₂, para el periodo 2005 – 2012, teniendo en cuenta la previsión de construcción de nuevos edificios en ese periodo.

1-3 Modelos de simulación y programas de cálculo

El estudio ha sido concebido con el propósito de ser lo más objetivo posible. Para ello se han utilizado siempre programas y datos oficiales. Para determinar el número de nuevos edificios construidos (*) y el escenario de consumo de energía para el periodo 2005 – 2012 han sido empleados estudios y programas que han sido considerados fiables, y que se describen a continuación.

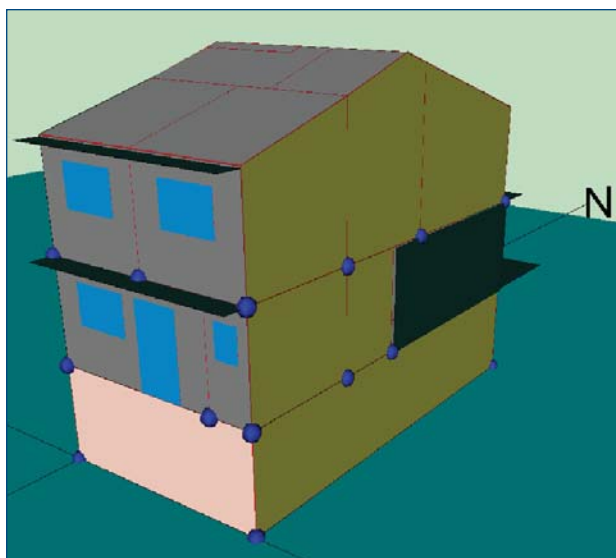
(*) Ver 1.5 Estadísticas

Modelos de edificios

Se han utilizado para la realización del estudio los mismos modelos de viviendas individuales y de bloque de viviendas que fueron utilizados en el documento oficial del Ministerio de Economía E4 “Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012”, sector edificación.

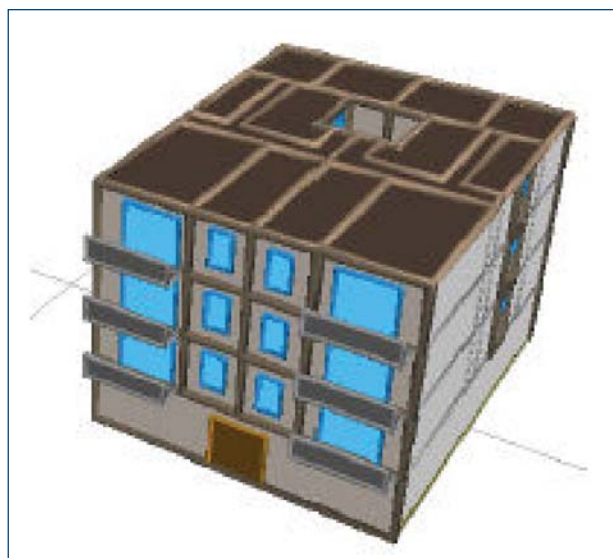
Los modelos están descritos en detalle en el Anexo 1.

Figura 1: Vivienda unifamiliar



Fachada Sur

Figura 2: Bloque de viviendas



Fachada Este

Programas de simulación empleados

El estudio ha sido realizado utilizando el programa de simulación CALENER 2.02, que en el futuro servirá para certificar la eficiencia energética de los edificios, de acuerdo con la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (DEEE). El programa CALENER utiliza como motor de cálculo el programa DOE 2.2.

1-4 Principales parámetros utilizados

Precio de la energía

Predecir la evolución del precio de la energía es complicado, dado que ello no sigue reglas demasiado claras. El estudio se ha basado en la base de datos del Eurostat-05, que indica los precios de la energía en los últimos años, y otros estudios ⁽¹⁾. En función de ello y de la opinión de expertos consultados se ha optado por aplicar un incremento anual del coste de la energía del 1,5%

(1) E.G. Ecofys report "Mitigation of CO₂" 2004

Tabla 1: Precio de la energía

| | Incremento anual | Precio de la energía 2004 (€/kWh) | Precio medio de la energía 2004-2044 (€/kWh) |
|--------------|------------------|-----------------------------------|--|
| Gas | 1.5% | 0.0348 | 0.0479 |
| Electricidad | 1.5% | 0.1097 | 0.1511 |

Precio del aislamiento

Se ha aplicado un precio del aislamiento fijado en 36 €/m³ independientemente del espesor empleado. En el precio no se ha tenido en cuenta la mano de obra dado que el CTE ya prevé la necesidad de aplicar un mínimo de aislamiento y, consecuentemente, la mano de obra ya está contemplada. Ello implica una simplificación en el cálculo dado que la mano de obra es aproximadamente la misma, con independencia del espesor utilizado dentro del rango de espesores empleado en el presente estudio.

Durabilidad del aislamiento

A efectos de cálculo se ha decidido considerar 40 años como tiempo de servicio de los productos, tras 40 años de uso parece adecuado pensar en una renovación de los cerramientos del edificio.

Penalización del precio CO₂

Como medio para obtener el valor del CO₂ no emitido, se ha empleado una penalización de 20 €/tCO₂. Para obtener este valor medio se ha analizado previamente el histórico de la evolución del precio del CO₂, incluyendo las indicadas en el informe de PriceWaterhouseCoopers: "Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española", donde se considera que entre 10 – 30 €/tCO₂ es un valor de intervalo conservativo, y muestra que la media resultante de los modelos presentados en el mencionado informe es alrededor de 20 €/tCO₂.

El precio máximo de penalización convenido para el primer periodo del acuerdo de Kioto se ha fijado a 50 € y 200 €/tCO₂, para el segundo periodo.

Valores de conversión de CO₂

Para convertir los valores de energía en emisiones de CO₂ es necesario definir unos valores de conversión. En este caso, los valores de conversión utilizados son los mismos que se encuentran en el programa CALENER. Son los siguientes:

Tabla 2: Valores de conversión de CO₂

| Tipo de energía | Valores de conversión (Kg CO ₂ /kWh) |
|-----------------|---|
| Gas Natural | 0.2 |
| Electricidad | 0.486 |

1-5 Estadísticas

Estimación de edificios de viviendas a construir en el período 2005-2012

Para la estimación del número de edificios que se construirán en el período, se han analizado informaciones procedentes de dos orígenes diferentes:

- Licencias de Construcción de edificios procedente de la base de datos del Ministerio de Fomento.
- APCE-AFI (2) informe “Demanda de edificios:2013 pronóstico. Análisis del parque de edificios”

Tabla 3: Estimación de edificios de viviendas a construir en el periodo 2005-2012

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nº Viviendas | 633.867 | 643.603 | 603.045 | 465.045 | 451.088 | 442.072 | 483.230 | 424.665 |

Tabla 4: Estimación de la superficie total de los edificios (m²)

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Total Nacional | 76.060.840 | 84.840.660 | 84.840.660 | 84.840.660 | 84.840.660 | 84.840.660 | 84.840.660 | 84.840.660 |

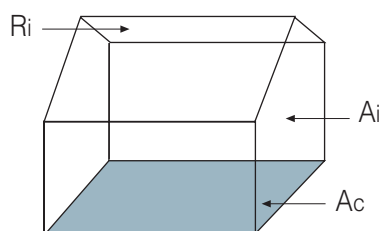
(2) AFI: International Financial Analysts, (prestigiosa compañía creada en 1987) cuya principal actividad se centra en ofrecer información financiera y sobre inversiones a empresas.

1-6 Estimación del porcentaje de área acondicionada

En España no todas las superficies de las viviendas son calefaccionadas o refrigeradas, por ello y para poder extrapolar los resultados es necesario conocer qué parte de la superficie de los edificios de referencia va a ir acondicionada. Este análisis debe realizarse también región a región.

Para hacer el estudio más fiable se ha procedido a emplear los mismos porcentajes de área acondicionada que en los modelos de edificios del documento E4. El porcentaje de área acondicionada varía de una zona a otra, por ejemplo en el norte de España es normal climatizar la cocina y el baño, lo cual no ocurre en las Comunidades del Sur.

Figura 3: Factor de conversión (Fc), Ejemplo:



$$\text{Área Acondicionada} = A_c = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{Total área de fachada aislada} = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 110 \text{ m}^2$$

$$\text{Total área de cubierta aislada} = \sum R_i = R_1 + R_2 = 95 \text{ m}^2$$

Dado que el incremento de energía se expresa en kWh por m² de vivienda acondicionada y no en kWh por m² de cerramiento, es necesario usar la constante **Fc**. Esta constante se usa para transformar m² de viviendas acondicionadas en m² de aislamiento instalado. Según la tipología de la vivienda nos dará la cantidad de m² necesarios instalar por cada m² acondicionado.

Ejemplo: Si tenemos 80 m² de vivienda acondicionada, tenemos 110 m² de fachadas aisladas + 95 m² de las cubiertas:

$$F_c = (110+95) / 80 = 2.56$$

2-1 Espesor óptimo versus espesor ideal

Cuando en el presente trabajo se habla de “espesor matemáticamente óptimo”, significa que con las premisas consideradas los beneficios económicos son los máximos. Sin embargo, con más aislamiento los ahorros siguen incrementándose, aunque los beneficios económicos comienzan a disminuir. Desde el punto de vista de ahorro energético y de emisiones de CO₂, el aislamiento ideal teórico, sería aquel en que se produzcan los máximos ahorros sin ningún coste económico. En la gráfica se ha llamado “espesor de aislamiento ideal”, a aquel punto en el que obtenemos el máximo de ahorro energético pero ningún beneficio económico.

2-2 Modelo de cálculo para el aislamiento óptimo

Con el objetivo de encontrar el aislamiento óptimo, se ha usado un análisis de coste-beneficio. Este modelo de cálculo es similar al usado en el informe de ECOFYS: "Cost-Effective Climate Protection in the EU building stock":

Para realizar esto, se creó una función “beneficio económico” (B (e)) definida como la diferencia entre “ingresos” (I (e)) (costes anuales totales derivados del ahorro cuando se aumenta el aislamiento) y “gastos” (G (e)) (Coste anual de la inversión al aumentar el aislamiento).

Esto es:

$$B(e) = I(e) - G(e)$$

Para obtener el máximo de la función, esto es, el máximo del “Beneficio económico”, se debe derivar la función resultado e igualarla a cero (para verificar que B(e) es el máximo de la función, debe chequearse que la segunda derivada es menos que cero).

B (e) es máximo:

$$\forall e / \frac{\partial B'(e)}{\partial e} = 0$$

Siendo “e” el aumento óptimo del grosor resultando el máximo beneficio.

En nuestro caso, el “Ingreso” se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$I(e) = \Delta\Sigma \times P_{\text{energía}}$$

Siendo:

$\Delta\Sigma$: Aumento de la energía ahorrada como resultado del aumento en “e” cm del grosor del aislamiento sobre el mínimo necesario para satisfacer los requerimientos establecidos por el CTE para el valor de U.

$P_{\text{energía}}$: Precio medio de la energía durante el tiempo equivalente a la vida del aislamiento.

Y los “Gastos” vienen expresados en la siguiente fórmula:

$$G(e) = Ct_{\text{aislamiento}} \times \text{Anualidad} \times Fc$$

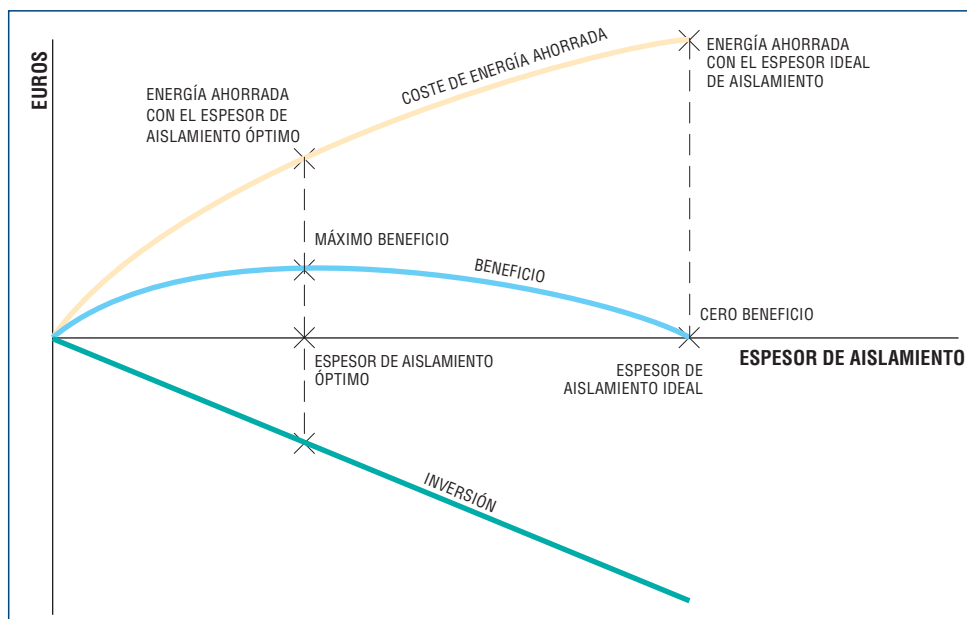
$Ct_{\text{aislamiento}}$ = Coste Aislamiento + Gastos generales + Beneficio industrial + Impuestos

Anualidad se expresa como:

$$\text{Anualidad} = \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}$$

i = Ratio de interés
 n = Vida del aislamiento
 Fc = Factor de conversión. (1)

Figura 4: Ideal y óptimo espesor de aislamiento

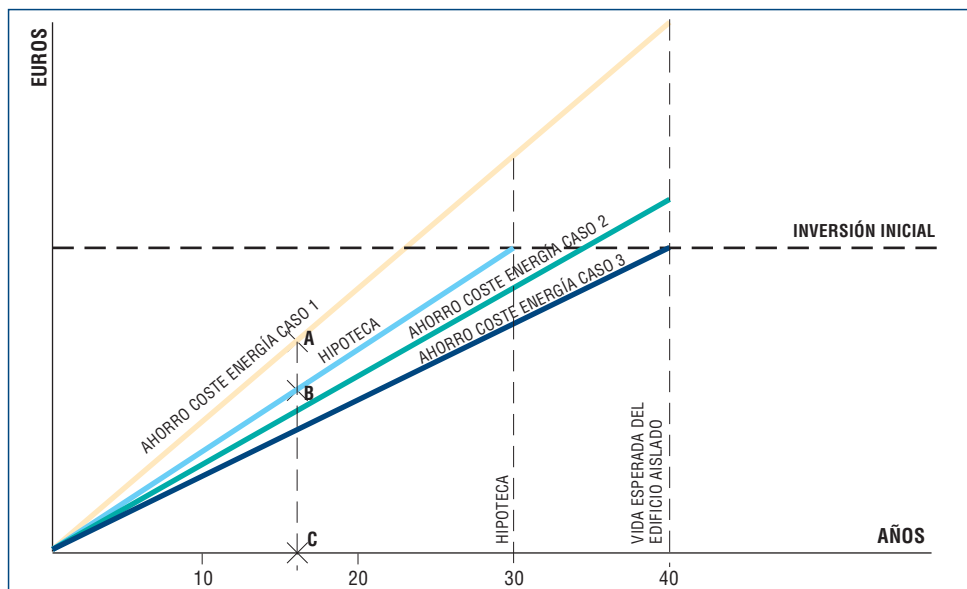


2-3 Amortización

Cuando se habla en el estudio de amortización, nos estamos refiriendo al número de años en que los “costes de energía ahorrada” igualarán a la inversión inicial realizada. Para el estudio realizado se ha considerado un periodo de amortización del aislamiento de 40 años, estimando que es el tiempo que tarda un edificio en ser rehabilitado integralmente y el momento en que posiblemente, se mejore o cambie el aislamiento de la envolvente a pesar de que éste pudiera encontrarse en buenas condiciones.

Independientemente del tiempo de uso del aislamiento sin ser modificado, existe el concepto del tiempo de hipoteca. Cuando se compra una casa se solicita una hipoteca, que establece el número de años que tardará en devolverse el préstamo. Si estimamos que el tiempo de hipoteca del aislamiento incluido en la vivienda es de 30 años, podemos realizar la siguiente gráfica simplificada (suponiendo que tanto los “costes de energía ahorrados” como los “costes de la hipoteca” siguen una tendencia lineal):

Figura 5: Amortizaciones



En esta gráfica se han representado 3 casos:

- **Caso 1:** Se corresponde con el caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento antes de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años). Esto significa, que para cada año transcurrido, la diferencia entre los ahorros en el coste de la energía (A) y el coste de la hipoteca (B) es siempre positivo, por lo que desde el primer año, se estarían obteniendo beneficios.
- **Caso 2:** Se corresponde con un caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento después de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años) pero antes de que expire el “lifetime” del mismo. En este caso los beneficios económicos se comenzarán a recibir en el momento que los ahorros en el coste de la energía igualen la inversión inicial, pero año tras año no se ganará dinero, como en el caso 1.
- **Caso 3:** Se corresponde con un caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento después de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años) y justo en el “lifetime” del aislamiento que se ha considerado (en este caso 40 años). Significa que al cabo de 40 años, se recuperará la inversión inicial, que ni se perderá ni ganará dinero, y que año tras año no se ganará dinero, como ocurría en el caso 1.

2-4 Requerimientos del CTE para cada zona climática

Los modelos de edificios usados en el E4 cumplen con las características de aislamiento térmico requeridas por el CTE para las zonas climáticas B4, D3, y E1. y son las mismas que se usan en el presente estudio. Adaptar los edificios de referencia a los requerimientos del CTE para cada una del resto de las zonas climáticas ha requerido solamente adaptar el espesor de aislamiento al valor U de transmitancia requerido en cada zona climática.

Tabla 5: Valor U para cada una de las diferentes zonas climáticas

| Zonas climáticas | Valores U (W/m ² K) | | |
|------------------|--------------------------------|-----------|---|
| | Fachadas | Cubiertas | Superficies en contacto con espacios calefactados |
| A3 - Málaga | 0,94 | 0,50 | 0,94 |
| A4 - Almería | 0,94 | 0,50 | 0,94 |
| B3 - Valencia | 0,82 | 0,45 | 0,82 |
| B4 - Sevilla | 0,82 | 0,45 | 0,82 |
| C1 - A Coruña | 0,73 | 0,41 | 0,73 |
| C2 - Barcelona | 0,73 | 0,41 | 0,73 |
| C3 - Granada | 0,73 | 0,41 | 0,73 |
| C4 - Cáceres | 0,73 | 0,41 | 0,73 |
| D1 - Pamplona | 0,66 | 0,38 | 0,66 |
| D2 - Valladolid | 0,66 | 0,38 | 0,66 |
| D3 - Madrid | 0,66 | 0,38 | 0,66 |
| E1 - Burgos | 0,57 | 0,36 | 0,57 |

(*) De acuerdo con el criterio empleado en los modelos del documento E4, los valores de transmitancia U, usados para el área en contacto con espacios no calefaccionados serán los mismos que los empleados en las fachadas.

Para cumplir con los requerimientos del CTE en los modelos constructivos definidos en el E4 los espesores en fachadas y cubiertas son los siguientes:

Tabla 6: Total espesor de aislamiento por zonas climáticas

| Zonas climáticas | Total espesor aislamiento (cm) | | |
|------------------|--------------------------------|-----------|--|
| | Fachadas | Cubiertas | Superficies en contacto con espacios no calefactados |
| A3 - Málaga | 3,0 | 6,0 | 2,5 |
| A4 - Almería | 3,0 | 6,0 | 2,5 |
| B3 - Valencia | 3,5 | 6,6 | 3,5 |
| B4 - Sevilla | 3,5 | 6,6 | 3,5 |
| C1 - A Coruña | 4,3 | 7,5 | 3,8 |
| C2 - Barcelona | 4,3 | 7,5 | 3,8 |
| C3 - Granada | 4,3 | 7,5 | 3,8 |
| C4 - Cáceres | 4,3 | 7,5 | 3,8 |
| D1 - Pamplona | 4,7 | 8,3 | 4,1 |
| D2 - Valladolid | 4,7 | 8,3 | 4,1 |
| D3 - Madrid | 4,7 | 8,3 | 4,1 |
| E1 - Burgos | 5,8 | 9,3 | 5,1 |

Ventanas

En relación a las ventanas, se ha optado por los mismos valores que en los modelos del E4.

Tabla 7: Valor U y factor solar para viviendas unifamiliares y en bloque

| Zonas climáticas | Vivienda Familiar | | Bloque de Viviendas | |
|------------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | U (W/m ² K) | Factor Solar | U (W/m ² K) | Factor Solar |
| A3 - Málaga | 3,00 | 0,72 | 3,40 | 0,55 |
| A4 - Almería | 3,00 | 0,72 | 3,40 | 0,55 |
| B3 - Valencia | 3,00 | 0,72 | 3,40 | 0,55 |
| B4 - Sevilla | 3,00 | 0,72 | 3,40 | 0,55 |
| C1 - A Coruña | 2,50 | 0,72 | 3,00 | 0,72 |
| C2 - Barcelona | 2,50 | 0,72 | 3,00 | 0,72 |
| C3 - Granada | 2,70 | 0,72 | 3,20 | 0,72 |
| C4 - Cáceres | 2,70 | 0,72 | 3,20 | 0,72 |
| D1 - Pamplona | 2,20 | 0,72 | 2,70 | 0,72 |
| D2 - Valladolid | 2,20 | 0,72 | 2,70 | 0,72 |
| D3 - Madrid | 2,20 | 0,72 | 2,70 | 0,72 |
| E1 - Burgos | 2,20 | 0,72 | 2,70 | 0,72 |

2-5 Valores óptimos de aislamiento obtenidos y selección final

Con los modelos de cálculo y los parámetros mencionados anteriormente, se ha desarrollado un análisis óptimo del grosor del aislamiento y de la amortización, teniendo en cuenta las siguientes variables:

— Tipo de vivienda:

- Vivienda individual
- Bloque de viviendas

— Zona climática:

- Burgos E1
- Madrid D3
- Sevilla B4

2-6 Espesor óptimo de aislamiento adicional

En la siguiente tabla se resume el aumento óptimo de aislamiento para cada caso considerado. Este aumento óptimo del grosor refleja únicamente el grosor del aislamiento que hace que la función “Beneficio económico” sea máxima, independientemente del periodo de amortización de la inversión inicial, considerando el siguiente escenario:

- Precio del aislamiento: 36 €/m³
- Ratio de incremento anual del precio de la energía 1,5%

Tabla 8: Espesor óptimo de aislamiento adicional

| Zonas Climáticas | Viviendas Individuales | Bloques de Viviendas |
|------------------|------------------------|----------------------|
| B4 | 5,02 | 6,83 |
| D3 | 9,16 | 8,32 |
| E1 | 13,27 | 14,21 |

Elegir un grosor adicional óptimo de aislamiento es una tarea complicada, especialmente teniendo en cuenta la situación real en España:

- La realidad de la edificación en España es que se considera un coste extra equivalente al área perdida por el aumento del aislamiento. No aumentarlo podría ser económicamente defendible. Esto no debería aplicarse al aislamiento del tejado, ya que no hay pérdida de espacio al aumentar el aislamiento de los tejados.

- El hecho en España es que no se instala una gran cantidad de aislamiento en nuevas edificaciones si lo comparamos con los países del norte de Europa. Por lo tanto, el óptimo matemático obtenido parece ser un poco alto comparado con los grosores que se están instalando en la actualidad en España.

Sin embargo, cualquier “aislamiento óptimo” diferente del óptimo matemático, será siempre una decisión subjetiva.

Por esto desde nuestro punto de vista, debería elegirse un valor cercano a los valores óptimos con la fórmula. Cualquier otra consideración será difícil de justificar.

Por otro lado, considerar el óptimo matemático significaría tener dos escenarios extremos: en un extremo estaría el escenario E4 y en el otro extremo el escenario ideal. Aunque el ideal no sería un escenario alcanzable en la actualidad, esto significaría conocer cuál es el aislamiento potencial (para los modelos usados y para las consideraciones realizadas en este estudio) y serviría como punto objetivo.

Debido a las razones mencionadas, el aumento de aislamiento propuesto está cerca de los valores de aislamiento óptimo obtenidos para el modelo de una vivienda individual. (Se propone el aislamiento óptimo obtenido para el modelo de una vivienda individual y no el obtenido para un bloque de viviendas continuando en la línea conservativa seguida en el resto del estudio). El aislamiento adicional propuesto es:

Tabla 9: Espesor adicional

| Aislamiento Adicional | |
|-----------------------|----------------------|
| Zonas Climáticas | Espesores propuestos |
| B4 | 5,00 |
| D3 | 9,00 |
| E1 | 13,00 |

2 PROPUESTA PARA UN ESCENARIO FUTURO DE DEMANDA DE AISLAMIENTO

2-7 Espesores óptimos para cada zona climática

Una vez se ha obtenido el aumento óptimo de aislamiento para cada zona climática de referencia (B4, D3 y E1) es necesario decidir una valor óptimo para el resto de zonas climáticas.

Para estar en consonancia con el criterio del CTE, se ha propuesto agrupar las zonas climáticas siguiendo los requerimientos del CTE para el valor de U que ya tiene en cuenta la severidad del clima para cada zona.

Siguiendo este criterio, se han realizado los siguientes grupos:

- A3 (Málaga), A4 (Almería) y B3 (Valencia), se simularán con el aislante óptimo obtenido para B4 (Sevilla)
- C1 (A Coruña), C2 (Barcelona), C3 (Granada), C4 (Cáceres), D1 (Pamplona) y D2 (Valladolid) se simularán con el aislante óptimo definido para D3 (Madrid)
- E1 con su propio aislante óptimo.

Adoptar este criterio está en línea con el criterio del CTE relacionado con el criterio climático, los valores de U y el correspondiente grosor de aislamiento, como puede observarse en la tabla de abajo donde se han representado el aislamiento total necesario para alcanzar los valores del CTE y los valores de U.

Además, la tabla incluye el aumento óptimo de aislamiento (cm), y el correspondiente valor de U para la nueva definición de edificación. El aislamiento total se ha redondeado para la simulación para obtener grosores de aislamiento comerciales.

Tabla 10: Espesores adicionales y totales por zonas climáticas

| Zonas Climáticas | CTE | | | | CTE-PLUS Óptimo propuesto | | | | | | Total Aislamiento (cm) Óptimo propuesto | |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|--|-----------|
| | Fachadas | | Cubiertas | | Fachadas | | | Cubiertas | | | Fachadas | Cubiertas |
| | Aislamiento (cm) | Valor U (W/m²K) | Aislamiento (cm) | Valor U (W/m²K) | Adicional (cm) | Total (cm) | Valor U (W/m²K) | Adicional (cm) | Total (cm) | Valor U (W/m²K) | (cm) | (cm) |
| A3 - Málaga | 3,00 | 0,94 | 6,00 | 0,50 | 5,00 | 8,00 | 0,45 | 5,00 | 11,00 | 0,27 | 8,00 | 11,00 |
| A4 - Almería | 3,00 | 0,94 | 6,00 | 0,50 | 5,00 | 8,00 | 0,45 | 5,00 | 11,00 | 0,27 | 8,00 | 11,00 |
| B3 - Valencia | 3,50 | 0,82 | 6,60 | 0,45 | 5,00 | 8,50 | 0,42 | 5,00 | 11,60 | 0,26 | 9,00 | 12,00 |
| B4 - Sevilla | 3,50 | 0,82 | 6,60 | 0,45 | 5,00 | 8,50 | 0,42 | 5,00 | 11,60 | 0,26 | 9,00 | 12,00 |
| C1 - A Coruña | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 | 9,00 | 13,30 | 0,29 | 9,00 | 16,50 | 0,22 | 13,00 | 17,00 |
| C2 - Barcelona | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 | 9,00 | 13,30 | 0,29 | 9,00 | 16,50 | 0,22 | 13,00 | 17,00 |
| C3 - Granada | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 | 9,00 | 13,30 | 0,29 | 9,00 | 16,50 | 0,22 | 13,00 | 17,00 |
| C4 - Cáceres | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 | 9,00 | 13,30 | 0,29 | 9,00 | 16,50 | 0,22 | 13,00 | 17,00 |
| D1 - Pamplona | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 | 9,00 | 13,70 | 0,28 | 9,00 | 17,30 | 0,21 | 14,00 | 17,00 |
| D2 - Valladolid | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 | 9,00 | 13,70 | 0,28 | 9,00 | 17,30 | 0,21 | 14,00 | 17,00 |
| D3 - Madrid | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 | 9,00 | 13,70 | 0,28 | 9,00 | 17,30 | 0,21 | 14,00 | 17,00 |
| E1 - Burgos | 5,80 | 0,57 | 9,30 | 0,36 | 13,00 | 18,80 | 0,21 | 13,00 | 22,30 | 0,17 | 19,00 | 22,00 |

3-1 Introducción

En el presente capítulo se incluyen los resultados de consumo de energía y las emisiones de CO₂ obtenidos en las simulaciones de los modelos del E4 (vivienda individual y bloque de viviendas), considerando dos escenarios diferentes:

- **Escenario CTE:** Cálculo del consumo de energía de dos tipos de modelos de edificios con un grosor del aislamiento que satisface los requerimientos del CTE-HE1
- **Escenario CTE-PLUS:** Cálculo del consumo de energía de dos tipos de modelos de edificios con el espesor óptimo de aislamiento.

Ambos escenarios se han simulado en todas las zonas climáticas. El año meteorológico típico utilizado en las simulaciones para cada zona climática, corresponde al año meteorológico típico de la ciudad seleccionada para cada zona climática.

3-2 Parámetros utilizados

3.2.1 Valores del aislamiento utilizados en el “Escenario CTE”

Como se ha comentado antes, el “CTE” está basado en los requerimientos del CTE. En la siguiente tabla se muestran los grosores de aislamiento utilizados para cada zona climática.

Tabla 11: Valores del aislamiento utilizados en el CTE

| Zonas Climáticas | CTE | | | |
|------------------|--|------------------------------|------------------|------------------------------|
| | Espesores necesarios (cm) para cumplir el valor U según el CTE | | | |
| | Fachadas | | Cubiertas | |
| | Aislamiento (cm) | valor U (W/m ² K) | Aislamiento (cm) | valor U (W/m ² K) |
| A3 - Málaga | 3,00 | 0,94 | 6,00 | 0,50 |
| A4 - Almería | 3,00 | 0,94 | 6,00 | 0,50 |
| B3 - Valencia | 3,50 | 0,82 | 6,60 | 0,45 |
| B4 - Sevilla | 3,50 | 0,82 | 6,60 | 0,45 |
| C1 - A Coruña | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 |
| C2 - Barcelona | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 |
| C3 - Granada | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 |
| C4 - Cáceres | 4,30 | 0,73 | 7,50 | 0,41 |
| D1 - Pamplona | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 |
| D2 - Valladolid | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 |
| D3 - Madrid | 4,70 | 0,66 | 8,30 | 0,38 |
| E1 - Burgos | 5,80 | 0,57 | 9,30 | 0,36 |

3.2.2 Valores del aislamiento utilizados en el “CTE-PLUS”

El escenario CTE-PLUS incluye el espesor de aislamiento “óptimo”, los valores se muestran en la tabla siguiente, donde se indican los espesores de aislamiento utilizados en las simulaciones para cada zona climática. Para obtener el consumo de energía de cada tipo de edificios para cada zona climática se utilizó el programa CALENER 2.02.

Tabla 12: Valores del aislamiento utilizados en el CTE-PLUS

| Zonas Climáticas | CTE-PLUS | | | |
|------------------|--|------------------------------|------------------|------------------------------|
| | Espesores necesarios (cm) para cumplir el valor U según el CTE | | | |
| | Fachadas | | Cubiertas | |
| | Aislamiento (cm) | valor U (W/m ² K) | Aislamiento (cm) | valor U (W/m ² K) |
| A3 - Málaga | 8,00 | 0,45 | 11,00 | 0,31 |
| A4 - Almería | 8,00 | 0,45 | 11,00 | 0,31 |
| B3 - Valencia | 9,00 | 0,40 | 12,00 | 0,29 |
| B4 - Sevilla | 9,00 | 0,40 | 12,00 | 0,29 |
| C1 - A Coruña | 13,00 | 0,29 | 17,00 | 0,22 |
| C2 - Barcelona | 13,00 | 0,29 | 17,00 | 0,22 |
| C3 - Granada | 13,00 | 0,29 | 17,00 | 0,22 |
| C4 - Cáceres | 13,00 | 0,29 | 17,00 | 0,22 |
| D1 - Pamplona | 14,00 | 0,28 | 17,00 | 0,22 |
| D2 - Valladolid | 14,00 | 0,28 | 17,00 | 0,22 |
| D3 - Madrid | 14,00 | 0,28 | 17,00 | 0,22 |
| E1 - Burgos | 19,00 | 0,21 | 22,00 | 0,17 |

3-3 Resultados

En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de las simulaciones realizadas de consumo de energía.

3.3.1 Vivienda individual

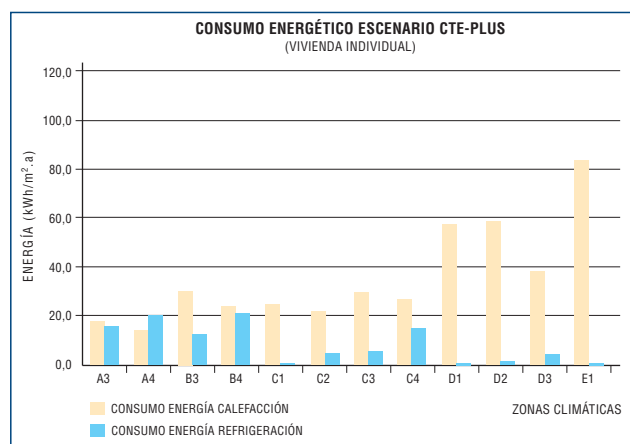
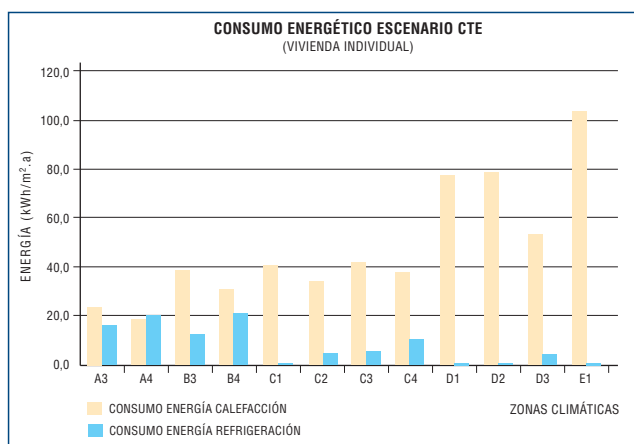
a. Consumo de energía para cada escenario considerado

En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía de calentamiento y de enfriamiento para el modelo de una vivienda individual para cada zona climática.

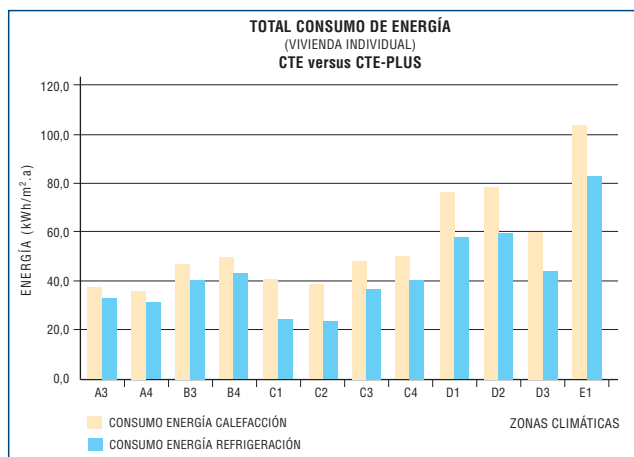
Tabla 13: Vivienda individual

| Zonas climáticas | Consumo de Energía (W/m ² K) | | | | | |
|------------------|---|---------------|-------|--------------------|---------------|-------|
| | Escenario CTE | | | Escenario CTE-PLUS | | |
| | Calefacción | Refrigeración | Total | Calefacción | Refrigeración | Total |
| A3 | 23,5 | 14,5 | 37,9 | 17,1 | 14,6 | 31,7 |
| A4 | 18,5 | 19,5 | 38,0 | 13,0 | 19,6 | 32,6 |
| B3 | 38,5 | 10,1 | 48,6 | 30,1 | 10,1 | 40,2 |
| B4 | 30,0 | 21,0 | 51,0 | 23,2 | 20,8 | 44,0 |
| C1 | 40,3 | 0,20 | 40,6 | 26,4 | 0,40 | 26,8 |
| C2 | 33,9 | 5,00 | 38,9 | 22,2 | 5,30 | 27,5 |
| C3 | 42,0 | 6,70 | 48,7 | 28,4 | 6,70 | 35,1 |
| C4 | 37,2 | 13,5 | 50,8 | 25,4 | 13,6 | 38,9 |
| D1 | 78,0 | 0,20 | 78,2 | 59,8 | 0,30 | 60,1 |
| D2 | 80,2 | 0,80 | 81,0 | 61,6 | 0,80 | 62,4 |
| D3 | 53,6 | 5,70 | 59,3 | 38,8 | 5,80 | 44,6 |
| E1 | 107,1 | 0,10 | 107,1 | 84,2 | 0,10 | 84,3 |

Mostrando los resultados obtenidos en gráficos, se obtienen las siguientes figuras:



En la siguiente gráfica se comparan los consumos de energía de los dos escenarios considerados:



b. Ahorros energéticos entre escenarios

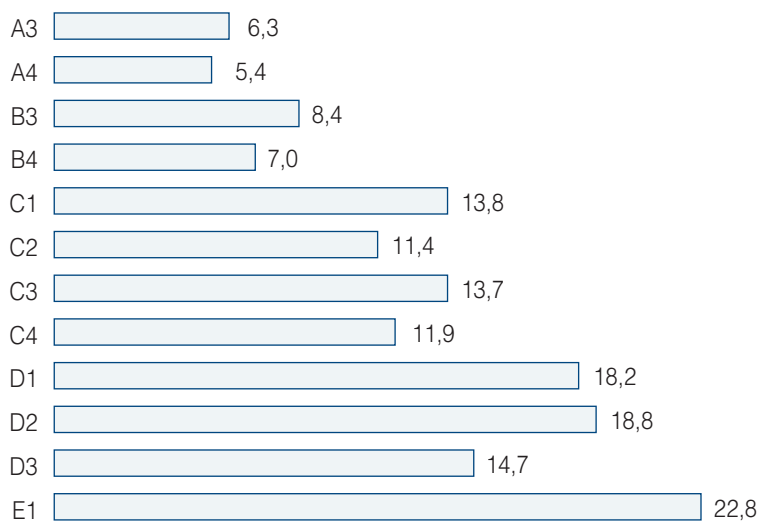
En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía total de una vivienda individual para cada una de las doce zonas climáticas y los ahorros obtenidos entre escenarios

Tabla 14: Ahorros energéticos entre escenarios

| Zonas climáticas | Viviendas individuales | | | |
|------------------|------------------------|----------|---|-----------------------|
| | CONSUMO DE ENERGÍA | | AHORRO ENERGÍA (kWh/m ² .a) | AHORRO ENERGÍA (%) |
| | CTE | CTE-PLUS | | |
| A3 | 37,9 | 31,7 | 6,3 | 16,6% |
| A4 | 38,0 | 32,6 | 5,4 | 14,1% |
| B3 | 48,6 | 40,2 | 8,4 | 17,3% |
| B4 | 51,0 | 44,0 | 7,0 | 13,7% |
| C1 | 40,6 | 26,8 | 13,8 | 34,0% |
| C2 | 38,9 | 27,5 | 11,4 | 29,2% |
| C3 | 49,7 | 36,0 | 13,7 | 27,5% |
| C4 | 51,6 | 39,7 | 11,9 | 23,0% |
| D1 | 76,0 | 57,8 | 18,2 | 24,0% |
| D2 | 78,8 | 60,0 | 18,8 | 23,8% |
| D3 | 59,3 | 44,6 | 14,7 | 24,8% |
| E1 | 107,1 | 84,3 | 22,8 | 21,3% |

La siguiente imagen muestra gráficamente los datos de la tabla anterior.

Ahorro energético debido al cambio de escenario (Vivienda individual) (kWh/m²a)



3.3.2 Bloque de viviendas

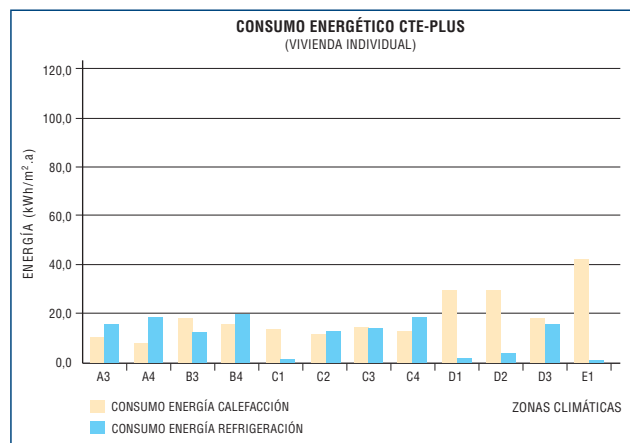
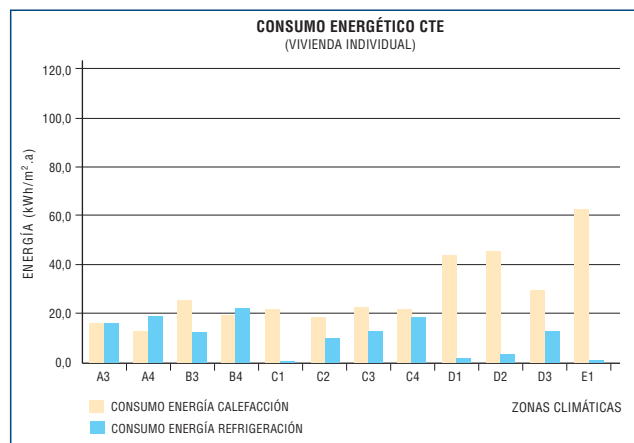
c. Consumo de energía para cada escenario considerado

En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía de calentamiento y de enfriamiento de un bloque de viviendas para cada zona climática.

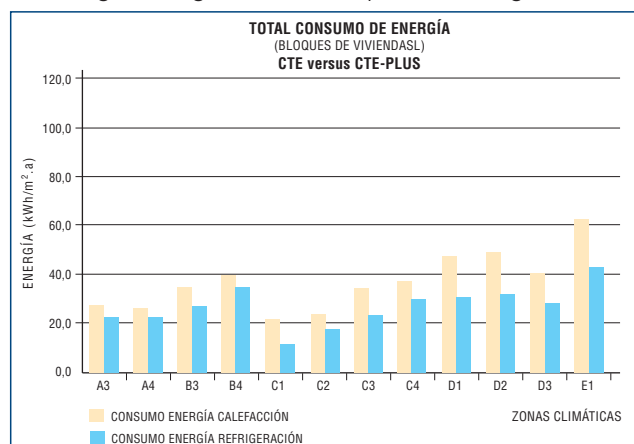
Tabla 15: Bloque de viviendas

| Zonas climáticas | Consumo de Energía (W/m ² K) | | | | | |
|------------------|---|---------------|-------|-------------|---------------|-------|
| | CTE | | | CTE-PLUS | | |
| | Calefacción | Refrigeración | Total | Calefacción | Refrigeración | Total |
| A3 | 14,5 | 14,6 | 29,0 | 8,7 | 14,3 | 23,0 |
| A4 | 10,7 | 18,2 | 28,9 | 6,1 | 17,7 | 23,9 |
| B3 | 25,7 | 9,6 | 35,3 | 17,6 | 9,4 | 27,0 |
| B4 | 19,4 | 20,8 | 40,2 | 13,1 | 20,0 | 33,1 |
| C1 | 21,2 | 0,9 | 22,0 | 10,4 | 1,8 | 12,2 |
| C2 | 17,9 | 8,4 | 26,3 | 8,1 | 9,7 | 17,8 |
| C3 | 22,7 | 11,4 | 34,0 | 12,1 | 12,2 | 24,3 |
| C4 | 21,3 | 17,5 | 38,8 | 11,4 | 18,3 | 29,7 |
| D1 | 45,1 | 1,4 | 46,5 | 28,7 | 2,0 | 30,7 |
| D2 | 46,2 | 3,3 | 49,4 | 29,8 | 4,0 | 33,8 |
| D3 | 29,9 | 10,3 | 40,2 | 17,4 | 11,4 | 28,8 |
| E1 | 64,4 | 0,3 | 64,7 | 42,6 | 0,8 | 43,4 |

Mostrando los resultados obtenidos en gráficos, se obtienen las siguientes figuras:



En la siguiente gráfica se compara la energía total consumida entre los dos escenarios considerados:



d. Ahorros energéticos entre escenarios

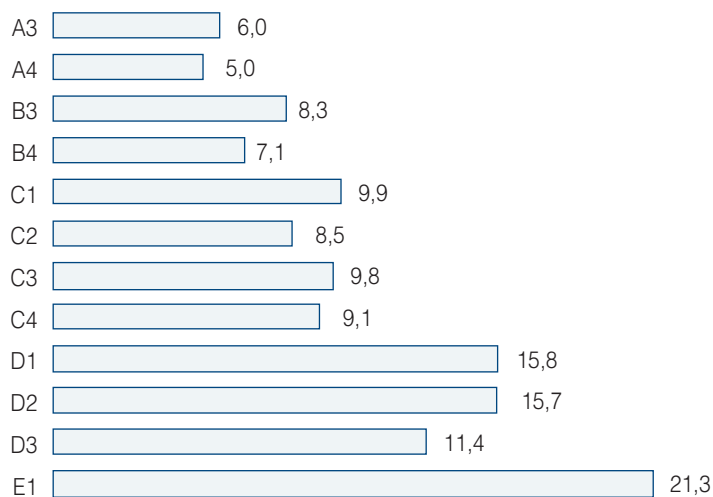
La siguiente tabla resume la energía total consumida de un bloque de viviendas para cada una de las doce zonas climáticas y los ahorros obtenidos entre los escenarios CTE y CTE-PLUS.

Tabla 16: Ahorros energéticos entre escenarios

| Zonas climáticas | Bloque de viviendas | | | |
|------------------|---------------------|----------|---|-----------------------|
| | CONSUMO DE ENERGÍA | | AHORRO ENERGÍA (kWh/m ² .a) | AHORRO ENERGÍA (%) |
| | CTE | CTE-PLUS | | |
| A3 | 29,0 | 23,0 | 6,0 | 20,7% |
| A4 | 28,9 | 23,9 | 5,0 | 17,4% |
| B3 | 35,3 | 27,0 | 8,3 | 23,5% |
| B4 | 40,2 | 33,1 | 7,1 | 17,8% |
| C1 | 22,0 | 12,2 | 9,9 | 44,8% |
| C2 | 26,3 | 17,8 | 8,5 | 32,4% |
| C3 | 34,0 | 24,3 | 9,8 | 28,7% |
| C4 | 38,8 | 29,7 | 9,1 | 23,5% |
| D1 | 46,5 | 30,7 | 15,8 | 33,9% |
| D2 | 49,4 | 33,8 | 15,7 | 31,7% |
| D3 | 40,2 | 28,8 | 11,4 | 28,5% |
| E1 | 64,7 | 43,4 | 21,3 | 32,9% |

La siguiente imagen muestra gráficamente los datos de la tabla anterior.

Ahorro energético debido al cambio de escenario (Bloque de viviendas) (kWh/m²a)



3-4 Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂

En las siguientes tablas se muestran los resultados anuales obtenidos para cada zona climática, incluyendo los ahorros energéticos, las emisiones de CO₂ y el total nacional.

Tabla 17: Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂. Viviendas individuales

| | | | VIVIENDAS INDIVIDUALES | | | | | |
|------------------|--|--|---------------------------|---|---|---|---|---|
| | | | CTE | | CTE-PLUS | | AHORRO ENERGIA ANUAL (2012) | |
| Zonas climáticas | Área total 2005-2012 (m ²) | Área total acondicionada (m ²) | Consumo área total (GW/h) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) |
| A3 | 18.588.544 | 7.717.964 | 451 | 167.268 | 403 | 158.292 | 48 | 8.976 |
| A4 | 3.205.352 | 1.330.862 | 87,1 | 35307,9 | 80,2 | 34024,6 | 6,9 | 1.283,3 |
| B3 | 28.266.361 | 11.736.193 | 737 | 228.628 | 638 | 208.872 | 99 | 19.756 |
| B4 | 22.990.806 | 9.545.783 | 769 | 291.964 | 700 | 276.576 | 70 | 15.387 |
| C1 | 8.938.324 | 3.711.192 | 152 | 30.873 | 101 | 21.214 | 50 | 9.659 |
| C2 | 16.932.036 | 7.030.181 | 318 | 84.675 | 239 | 70.314 | 79 | 14.362 |
| C3 | 4.947.856 | 2.054.350 | 121,3 | 33667,0 | 93,1 | 27912,9 | 28,3 | 5.754,1 |
| C4 | 18.247.700 | 7.576.445 | 534 | 177.061 | 444 | 158.923 | 90 | 18.138 |
| D1 | 4.565.965 | 1.895.789 | 145 | 29.227 | 110 | 22.526 | 34 | 6.701 |
| D2 | 10.664.959 | 4.428.091 | 354 | 73.241 | 271 | 56.913 | 83 | 16.328 |
| D3 | 26.339.083 | 10.935.987 | 736 | 190.189 | 577 | 159.226 | 159 | 30.964 |
| E1 | | | | | | | | |
| TOTAL NACIONAL | 5.029.114 | 2.088.088 | 224 | 44.837 | 176 | 35.445 | 47 | 9.392 |

Tabla 18: Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂ Bloque de viviendas

| | | | BLOQUE DE VIVIENDAS | | | | | |
|------------------|--|--|---------------------------|---|---|---|---|---|
| | | | CTE | | CTE-PLUS | | AHORRO ENERGIA ANUAL (2012) | |
| Zonas climáticas | Área total 2005-2012 (m ²) | Área total acondicionada (m ²) | Consumo área total (GW/h) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) |
| A3 | 38.358.614 | 15.926.497 | 788,5 | 317.397 | 686,4 | 293.833 | 102,1 | 23.564 |
| A4 | 8.476.699 | 3.519.525 | 191,7 | 82.388,5 | 171,9 | 77.397,3 | 19,8 | 4.991,3 |
| B3 | 51.589.852 | 21.420.106 | 1.044,2 | 350.250 | 860,8 | 310.648 | 183,5 | 39.602 |
| B4 | 33.954.925 | 14.098.085 | 980,2 | 398.180 | 862,4 | 366.230 | 117,8 | 31.950 |
| C1 | 28.273.399 | 11.739.115 | 272,9 | 61.556 | 171,9 | 48.581 | 101,1 | 12.974 |
| C2 | 35.176.443 | 14.605.259 | 556,5 | 195.745 | 459,0 | 189.355 | 97,5 | 6.391 |
| C3 | 5.314.246 | 2.206.475 | 110,4 | 39.334,8 | 91,3 | 36.735,8 | 19,1 | 2.598,9 |
| C4 | 13.736.665 | 5.703.463 | 362,3 | 141.306 | 316,5 | 135.152 | 45,8 | 6.154 |
| D1 | 7.975.149 | 3.311.282 | 160,3 | 35.174 | 111,2 | 26.887 | 49,1 | 8.288 |
| D2 | 16.053.778 | 6.665.529 | 360,1 | 86.942 | 262,4 | 70.739 | 97,7 | 16.203 |
| D3 | 43.696.885 | 18.142.946 | 992,4 | 327.183 | 812,4 | 304.667 | 179,9 | 22.516 |
| E1 | 7.293.527 | 3.028.273 | 197,2 | 40.087 | 134,7 | 28.574 | 62,5 | 11.514 |
| TOTAL NACIONAL | 289.900.181 | 120.366.555 | 6.017 | 2.075.544 | 4.941 | 1.888.789 | 1.076 | 186.746 |

Tabla 19: Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂ Total de viviendas

| | | | TOTAL DE VIVIENDAS | | | | | |
|------------------|--|--|---------------------------|---|---|---|---|---|
| | | | CTE | | CTE-PLUS | | AHORRO ENERGIA ANUAL (2012) | |
| Zonas climáticas | Área total 2005-2012 (m ²) | Área total acondicionada (m ²) | Consumo área total (GW/h) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) | Total anual de emisiones ahorradas (t.CO ₂) |
| A3 | 56.947.158 | 23.644.460 | 1.239 | 484.665,0 | 1.090 | 452.124,9 | 150 | 32.540,0 |
| A4 | 11.682.051 | 4.850.388 | 279 | 117.696,4 | 252 | 111.421,8 | 27 | 6.274,6 |
| B3 | 79.856.213 | 33.156.299 | 1.781 | 578.878,0 | 1.498 | 519.520,4 | 282 | 59.357,5 |
| B4 | 56.945.730 | 23.643.867 | 1.749 | 690.143,6 | 1.562 | 642.806,2 | 188 | 47.337,4 |
| C1 | 30.425.411 | 12.632.631 | 309 | 68.988,6 | 196 | 53.689,0 | 113 | 15.299,7 |
| C2 | 52.108.478 | 21.635.440 | 874 | 280.420,7 | 698 | 259.668,3 | 177 | 20.752,4 |
| C3 | 10.262.102 | 4.260.825 | 232 | 73.001,8 | 184 | 64.648,7 | 47 | 8.353,1 |
| C4 | 31.984.364 | 13.279.908 | 897 | 318.366,9 | 761 | 294.075,5 | 136 | 24.291,4 |
| D1 | 12.541.114 | 5.207.070 | 305 | 64.400,8 | 222 | 49.412,2 | 83 | 14.988,6 |
| D2 | 26.718.737 | 11.093.620 | 714 | 160.182,5 | 534 | 127.651,5 | 180 | 32.530,9 |
| D3 | 70.035.968 | 29.078.934 | 1.729 | 517.372,7 | 1.390 | 463.893,1 | 339 | 53.479,6 |
| E1 | 12.322.642 | 5.116.361 | 421 | 84.924,5 | 311 | 64.018,8 | 110 | 20.905,8 |
| TOTAL NACIONAL | 458.616.279 | 190.417.479 | 10.645 | 3.462.481 | 8.774 | 3.119.037 | 1.870 | 343.444 |

3-5 Ahorros energéticos anuales (2005-2012) y total acumulado

En la siguiente tabla se muestran los ahorros energéticos anuales obtenidos para ambas tipologías desde el 2005 hasta el 2012 a nivel nacional.

Tabla 20: Resultados ahorros energéticos anuales y total acumulado

| TOTAL AHORRO DE ENERGÍA ANUAL (GWh) | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2.005 | 2.006 | 2.007 | 2.008 | 2.009 | 2.010 | 2.011 | 2.012 | |
| 2.005 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 | 337,3 |
| 2.006 | | 290,1 | 290,1 | 290,1 | 290,1 | 290,1 | 290,1 | 290,1 | 290,1 |
| 2.007 | | | 264,0 | 264,0 | 264,0 | 264,0 | 264,0 | 264,0 | 264,0 |
| 2.008 | | | | 245,5 | 245,5 | 245,5 | 245,5 | 245,5 | 245,5 |
| 2.009 | | | | | 238,1 | 238,1 | 238,1 | 238,1 | 238,1 |
| 2.010 | | | | | | 233,3 | 233,3 | 233,3 | 233,3 |
| 2.011 | | | | | | | 228,7 | 228,7 | 228,7 |
| 2.012 | | | | | | | | 224,1 | 224,1 |
| TOTAL NACIONAL | 337,3 | 627,3 | 891,3 | 1.136,8 | 1.374,9 | 1.608,2 | 1.836,9 | 2.061,0 | 9.873,6 |

Las viviendas construidas en el período 2005 - 2012 tienen un potencial para ahorrar más de 88.000 GWh hasta el año 2050.

3-6 Emisiones anuales de CO₂ (2005 - 2012) y total acumulado

En la siguiente tabla se muestran los ahorros energéticos anuales de emisiones de CO₂ obtenidos para ambas tipologías desde el 2005 hasta el 2012 y los totales acumulados, a nivel nacional.

Tabla 21: Resultados anuales de CO₂ y total acumulado

| TOTAL EMISIONES ANUALES (tCO ₂) | | | | | | | | | |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | 2.005 | 2.006 | 2.007 | 2.008 | 2.009 | 2.010 | 2.011 | 2.012 | |
| 2.005 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 | 65.158 |
| 2.006 | | 56.036 | 56.036 | 56.036 | 56.036 | 56.036 | 56.036 | 56.036 | 56.036 |
| 2.007 | | | 50.993 | 50.993 | 50.993 | 50.993 | 50.993 | 50.993 | 50.993 |
| 2.008 | | | | 47.424 | 47.424 | 47.424 | 47.424 | 47.424 | 47.424 |
| 2.009 | | | | | 46.001 | 46.001 | 46.001 | 46.001 | 46.001 |
| 2.010 | | | | | | 46.081 | 46.081 | 46.081 | 46.081 |
| 2.011 | | | | | | | 44.179 | 44.179 | 44.179 |
| 2.012 | | | | | | | | 43.296 | 43.296 |
| TOTAL NACIONAL | 65.158 | 121.195 | 172.188 | 219.611 | 265.612 | 310.693 | 354.872 | 398.168 | 1.907.497 |

Las viviendas construidas en el período 2005 - 2012 tienen un potencial para reducir las emisiones de CO₂ en más de 17 millones de Tm.

CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas muestran el importante potencial de ahorro energético disponible para los edificios adquiridos incrementando los espesores previstos en el CTE, con el añadido del correspondiente incremento de reducción de emisiones de CO₂.

Las simulaciones demuestran que incrementando el espesor del aislamiento en 5, 9 y 13 cm sobre lo requerido en el CTE, y dependiendo de la zona climática, el ahorro energético acumulado es de ~10 TWh (9873 GWh) para las nuevas viviendas construidas en España en el periodo 2006 – 2012. Asimismo la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera es de 2 Millones de Tm en el mismo periodo.

En estos cálculos no se ha tenido en cuenta el enorme mercado que representa la rehabilitación del parque de viviendas existente, ni tampoco los edificios del sector terciario.

Los resultados del estudio están lógicamente influenciados por los parámetros usados, que son el precio del aislamiento incluyendo la mano de obra, el precio de la energía, el precio de la penalización por Tm de CO₂ emitida, los modelos de viviendas empleados (en este caso los mismos que en el E4), y especialmente, el precio de la energía que tiene un importante impacto en el “óptimo” espesor de aislamiento. En este estudio, el precio de la energía son los correspondientes a 2004, con un incremento anual del 1,5%, que consideramos conservativo dado lo volátil que es este parámetro en la actual coyuntura del mercado energético.

Calefacción versus refrigeración: El estudio demuestra que aquí se encuentra el mayor potencial de ahorro energético incrementando los espesores por encima de los indicados en el CTE. Los mayores ahorros se obtienen en los periodos de calefacción mientras que en los periodos de refrigeración los ahorros son menores. En este estudio no se ha investigado la influencia de la especificación de los modelos E4 utilizados en los resultados obtenidos.

— **Ahorro energético en función de la tipología de edificio:** El ahorro energético obtenido por m² en las viviendas aisladas son mayores que los obtenidos en los bloques de viviendas. Una de las razones que justifican este resultado es que las viviendas unifamiliares tienen mayor área expuesta por m² que el bloque de viviendas y, por lo tanto, la influencia de los cambios en las características térmicas de los cerramientos es muy importante.

— **Ahorro energético en función de la zona climática:** El ahorro de energía obtenido según el escenario va del 13,7% mínimo al 44,8% como máximo. Las diferencias entre las zonas climáticas están relacionadas siempre con los datos climáticos correspondientes a las capitales de provincia, los modelos de cálculo del E4 y los diferentes requerimientos de severidad climática descritos en el CTE. Los mayores ahorros de energía los encontramos en la zona C1 tanto para viviendas unifamiliares como para bloques de pisos.

— **Valor de la energía ahorrada:** Dependiendo del precio base de energía utilizado y del incremento anual previsto, el valor óptimo varía. Si el precio de la energía se incrementa más que el 1,5% anual previsto en el presente estudio va a ser beneficioso para el comprador de la vivienda que disponga de un espesor de aislamiento propuesto.

— **Payback time:** El payback calculado para el incremento de espesor es de 30 años como plazo normal de amortización de una hipoteca. De manera que todos los casos se encuentran en la hipótesis 1 (ver punto 2.3) donde los beneficios se obtienen desde el primer día.

— **Extrapolación de resultados:** El ahorro potencial de una zona climática depende del potencial de ahorro de una vivienda y de la superficie construida.

Ejemplo: Si comparamos el resultado en Málaga (A3) y León (E1), podemos observar cómo en bloques de viviendas el ahorro potencial es mayor en León, (Bloque de vivienda 7,1 kWh/m²a en Málaga contra 21,3 kWh/m²a en León).

Sin embargo si los resultados los comparamos a nivel provincial, el resultado es el inverso: El ahorro potencial de la provincia de Málaga es mayor que el de la provincia de León, debido a las expectativas de construcción. El mayor potencial de ahorro se concentra en las Comunidades de Andalucía, Castilla y León, Cataluña y Valencia.

— **Emisiones de CO₂:** La reducción de emisiones de CO₂ está directamente relacionada con la fuente de energía utilizada. En este estudio, y de acuerdo con lo descrito en el E4, se ha empleado gas para calefacción y electricidad para refrigeración. Si se hubiera empleado electricidad para calefacción (en el sur de España se utiliza frecuentemente bomba de calor), los resultados de emisiones de CO₂ y de ahorro de energía hubieran sido considerablemente diferentes. El mayor potencial de ahorro de emisiones de CO₂ se encuentran en las Comunidades de Andalucía, Valencia, Castilla León y Madrid.

— **Valor del CO₂ NO emitido:** El valor del CO₂ no emitido durante el periodo 2005 – 2012 es de 38 millones de € con un precio medio de 20€ por tCO₂. Si comparamos el coste del incremento de espesor de aislamiento (en una vivienda unifamiliar) con la estimación del valor del CO₂ no emitido por esta vivienda durante 40 años a un precio de 20 € tCO₂, el valor del CO₂ no emitido es el 32,8% de la inversión inicial en la provincia de Burgos, 30% en la provincia de Madrid, y el 27,4% en la provincia de Sevilla. Si el precio medio llegara a 40€ tCO₂, en Burgos por ejemplo, el aumento será del 65% de la inversión inicial. Esto representa un ahorro considerable para la Comunidad por encima del ahorro energético para el consumidor.

Ahorrar energía quiere decir reducir las necesidades de suministro, en beneficio del medio ambiente es mejor reducir el consumo energético lo más posible y a continuación trabajar en el suministro de energías renovables.

1 Modelos de edificios adoptados por el E4

1-1 Introducción

Este anexo describe los modelos de vivienda individual y bloque de viviendas usados en el documento E4.

1-2 Descripción de los modelos

En las páginas siguientes se describen las viviendas individuales y los bloques de viviendas.

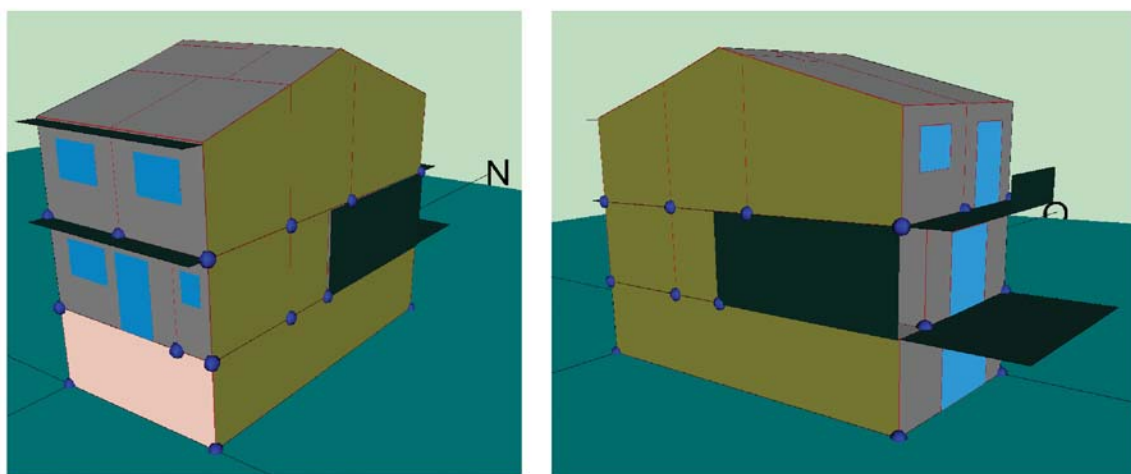
- Geometría, orientación y dimensiones
- Construcción y sombras
- Ganancias internas y ratios de ventilación
- Sistemas de calefacción y refrigeración

La única diferencia entre los dos modelos es la composición de las cubiertas.

Ambos modelos tienen las mismas ganancias internas, ratios de ventilación y sistema de refrigeración y calefacción.

1.2.1 Descripción de los modelos

Figura 6: Modelo de vivienda individual



Fachada Sur

Fachada Norte

Figura 7: Plantas

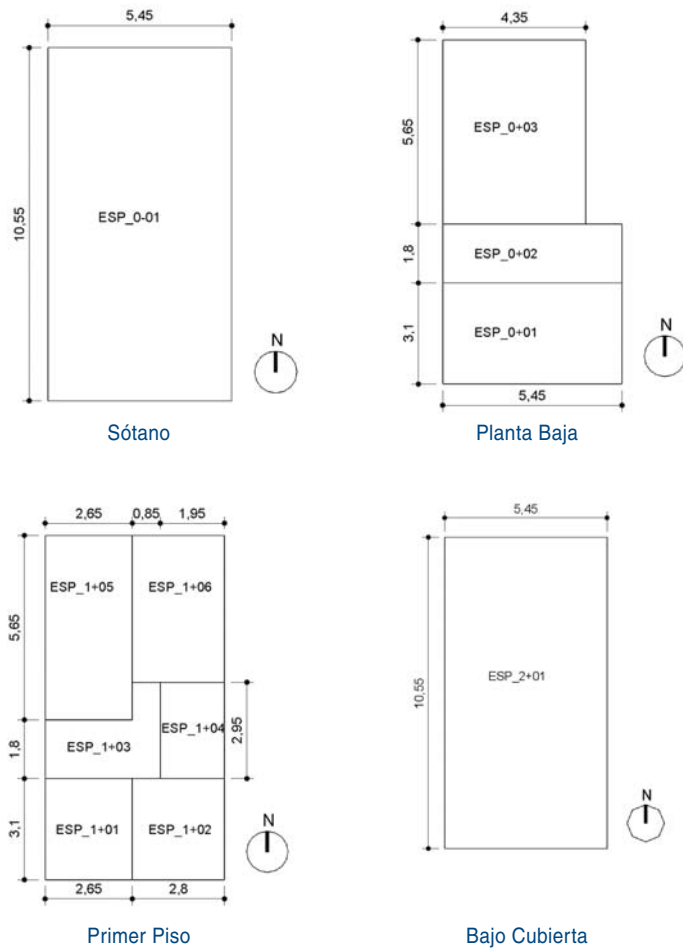
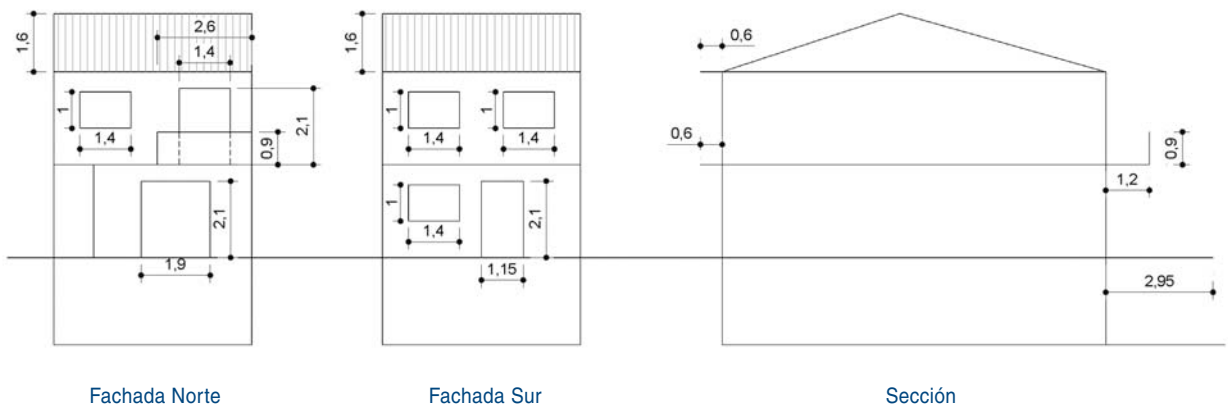


Figura 8: Fachadas

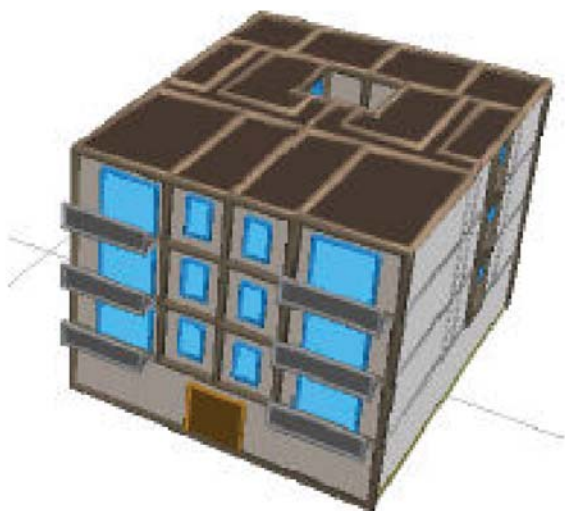


ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

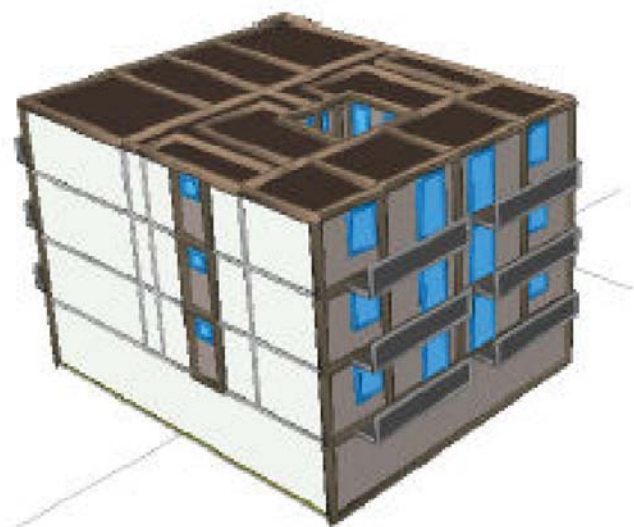
Tabla 22: Descripción de espacios en viviendas individuales

| Piso | Espacio | Área (m ²) | Altura (m) | Acondicionado No Acondicionado | Descripción |
|--------------|---------|------------------------|--|--------------------------------|---------------|
| Piso 0 - | 0-01 | 57.50 | 2.40 | NA | Sótano |
| Piso 0 + | 0+01 | 16.90 | 2.55 | NA | Cocina / Aseo |
| Piso 0 + | 0+02 | 9.81 | 2.55 | NA | Vestíbulo |
| Piso 0 + | 0+03 | 24.58 | 2.55 | A | Sala estar |
| Piso 1 + | 1+01 | 8.25 | 2.55 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+02 | 8.68 | 2.55 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+03 | 7.28 | 2.55 | NA | Distribuidor |
| Piso 1 + | 1+04 | 5.75 | 2.55 | NA | Aseo |
| Piso 1 + | 1+05 | 14.97 | 2.55 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+06 | 12.60 | 2.55 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+01 | 57.50 | 0.80 | NA | Bajo cubierta |
| TOTAL | | 166.28 | (sin tener en cuenta el bajo cubierta) | | |

1.2.2 Geometría y orientación de los bloques de viviendas



Fachada Este



Fachada Oeste

Figura 9: Planta

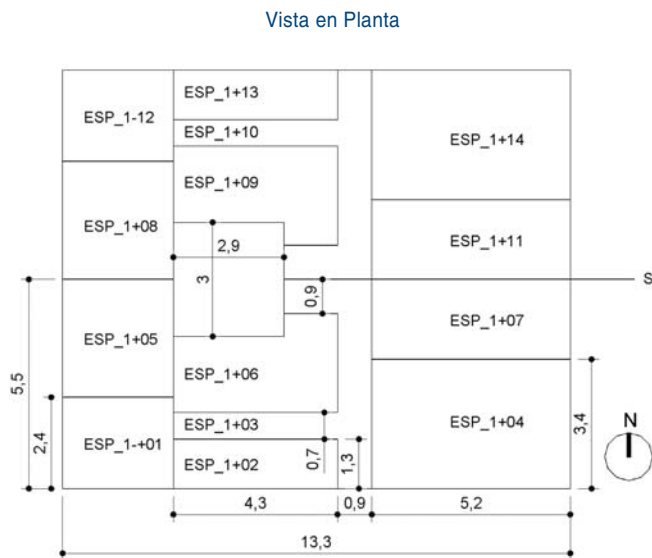
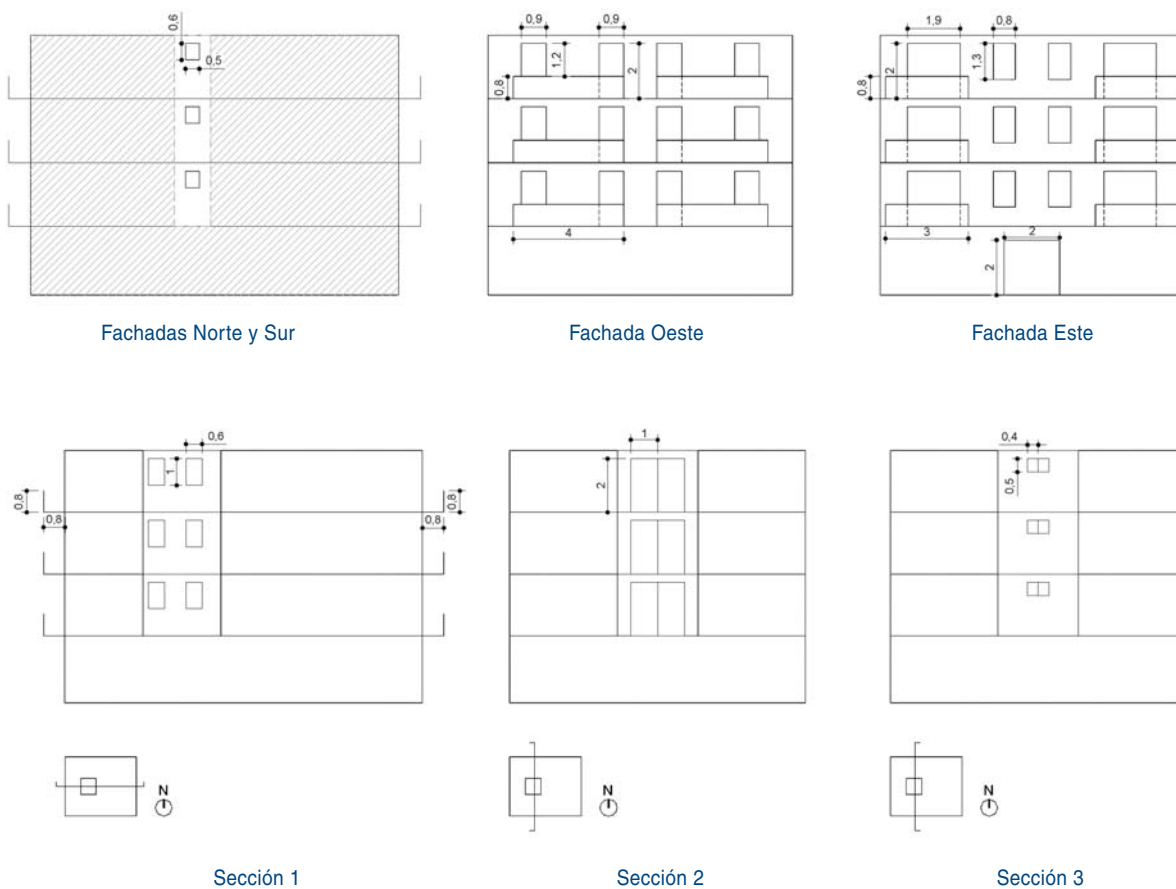


Figura 10: Fachadas y Secciones



ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

Tabla 23: Descripción de espacios en bloques de viviendas

| Piso | Espacio | Área (m ²) | Altura (m) | Acondicionado No Acondicionado | Descripción |
|--------------|---------|------------------------|------------|-----------------------------------|-------------|
| Piso 0 - | 0+01 | 146.30 | 2.50 | NA | Comercial |
| Piso 1 + | 1+01 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+02 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 1 + | 1+03 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 1 + | 1+04 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| Piso 1 + | 1+05 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+06 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+07 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 1 + | 1+08 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+09 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+10 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 1 + | 1+11 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 1 + | 1+12 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 1 + | 1+13 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 1 + | 1+14 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| Piso 2 + | 2+01 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+02 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 2 + | 2+03 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 2 + | 2+04 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| Piso 2 + | 2+05 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+06 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+07 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 2 + | 2+08 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+09 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+10 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 2 + | 2+11 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 2 + | 2+12 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 2 + | 2+13 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 2 + | 2+14 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| Piso 3 + | 3+01 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+02 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 3 + | 3+03 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 3 + | 3+04 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| Piso 3 + | 3+05 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+06 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+07 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 3 + | 3+08 | 8.99 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+09 | 9.44 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+10 | 9.22 | 2.30 | NA | Pasillo |
| Piso 3 + | 3+11 | 10.92 | 2.30 | NA | Cocina |
| Piso 3 + | 3+12 | 6.96 | 2.30 | A | Dormitorio |
| Piso 3 + | 3+13 | 5.59 | 2.30 | NA | Aseo |
| Piso 3 + | 3+14 | 17.68 | 2.30 | A | Sala estar |
| TOTAL | | 559.00 | | | |

2 Descripción de los cerramientos
Tabla 24 : Vivienda Individual - cubierta - CTE

| Capas | Material | Espesor (m) | Conduct. Térmica (W/mK) | Densidad (kg/m ³) | Calor Específico (J/kg K) | Valor-R (m ² K/W) |
|---------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1ª capa | Teja arcilla | 0.100 | 1.00 | 2000 | 800 | 0.1000 |
| 2ª capa | Impermeabilizante | 0.003 | 0.23 | 1000 | 1680 | 0.0130 |
| 3ª capa | Mortero de cemento | 0.010 | 1.4 | 2000 | 1050 | 0.0071 |
| 4ª capa | Ladrillo - 4 cm | 0.040 | 0.4900 | 1200 | 920 | 0.0816 |
| 5ª capa | Cámara de aire H>15 cm | --- | --- | --- | --- | 0.16 |
| 6ª capa | Aislamiento | (*) | 0.043 | 12.0 | 1450 | (*) |
| 7ª capa | Forjado Hormigón | 0.210 | 1.38 | 1500 | 1000 | 0.1522 |
| 8ª capa | Enlucido Yeso | 0.010 | 0.30 | 800 | 920 | 0.0333 |

Absortividad ext. (color) 0.70

(*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

Tabla 25 : Bloques de viviendas - cubierta - CTE

| Capas | Material | Espesor (m) | Conduct. Térmica (W/mK) | Densidad (kg/m ³) | Calor Específico (J/kg K) | Valor-R (m ² K/W) |
|---------|------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1ª capa | Baldosín catalán (Plaquetas) | 0.020 | 1.05 | 2000 | 880 | 0.0190 |
| 2ª capa | Mortero de cemento | 0.010 | 1.40 | 2000 | 1050 | 0.0071 |
| 3ª capa | Aislamiento | (*) | 0.043 | 12.0 | 1450 | (*) |
| 4ª capa | Láminas bituminosas | 0.003 | 0.19 | 1100 | 1680 | 0.0158 |
| 5ª capa | Mortero de cemento | 0.010 | 1.40 | 2000 | 1050 | 0.0071 |
| 6ª capa | Hormigón celular sin aridos | 0.020 | 0.09 | 305 | 1050 | 0.222 |
| 7ª capa | Forjado Hormigón | 0.210 | 1.38 | 1500 | 1000 | 0.1522 |
| 8ª capa | Enlucido Yeso | 0.010 | 0.30 | 800 | 920 | 0.0333 |

Absortividad ext. (color) 0.70

(*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

Tabla 26 : Viviendas y bloques de viviendas - fachadas - CTE

| Capas | Material | Espesor (m) | Conduct. Térmica (W/mK) | Densidad (kg/m ³) | Calor Específico (J/kg K) | Valor-R (m ² K/W) |
|---------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1ª capa | Ladrillo Macizo (11 cm) | 0.110 | 0.87 | 1800 | 1380 | 0.1264 |
| 2ª capa | Mortero de cemento | 0.010 | 1.40 | 2000 | 1050 | 0.0071 |
| 3ª capa | Aislamiento | (*) | 0.043 | 12.0 | 1450 | (*) |
| 4ª capa | Ladrillo hueco (3 cm) | 0.030 | 0.49 | 1200 | 920 | 0.0612 |
| 5ª capa | Enlucido Yeso | 0.010 | 0.30 | 800.0 | 920 | 0.0333 |

Absortividad ext. (color) 0.70

(*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

Tabla 27: Viviendas individuales y bloques de viviendas - Forjado en contacto con espacios no acondicionados - CTE

| Capas | Material | Espesor (m) | Conduct. Térmica (W/mK) | Densidad (kg/m ³) | Calor Específico (J/kg K) | Valor-R (m ² K/W) |
|---------|------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1ª capa | Terrazo (2 cm) | 0.020 | 1.16 | 2000 | 1050 | 0.017 |
| 2ª capa | Hormigón armado | 0.020 | 1.40 | 2000 | 1050 | 0.014 |
| 3ª capa | Aislamiento | (*) | 0.043 | 12.0 | 1450 | (*) |
| 4ª capa | Forjado cerámico | 0.110 | 0.40 | 1250 | 880 | 0.2750 |
| 5ª capa | Enlucido Yeso | 0.015 | 0.30 | 800 | 920 | 0.05 |

Absortividad ext. (color) 0.70

(*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

Tabla 28: Viviendas individuales y bloques de viviendas - Forjado en contacto con el terreno - CTE

| Capas | Material | Espesor (m) | Conduct. Térmica (W/mK) | Densidad (kg/m ³) | Calor Específico (J/kg K) | Valor-R (m ² K/W) |
|---------|------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1ª capa | Encachado | 0.150 | 1.4 | 2000 | 1000 | 0.1071 |
| 2ª capa | Hormigón armado | 0.020 | 1.63 | 2400 | 1050 | 0.0123 |
| 3ª capa | Mortero Cemento (2 cm) | 0.020 | 1.4 | 2000 | 1050 | 0.0143 |
| 4ª capa | Aislamiento | (*) | 0.043 | 12.0 | 1450 | (*) |
| 5ª capa | Terrazo (2 cm) | 0.020 | 1.16 | 2000 | 1050 | 0.017 |

Absortividad ext. (color) 0.70

(*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

2.1 Separación con edificios adyacentes

La separación con otros edificios se ha considerado como una capa adiabática.

- **Vivienda individual:** Las fachadas Este y Oeste han sido consideradas adiabáticas.
- **Bloque de viviendas:** Las fachadas Norte y Sur son casi totalmente adiabáticas como se muestra en los dibujos descriptivos.
- **Paredes separativas:** Las paredes separativas se han definido con un $U = 3.317 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ en todos los casos.
- **Puertas exteriores:** Las puertas exteriores se ha considerado que tienen un $U = 3.317 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ en todos los casos.
- **Vidrios:** El Valor U y el factor solar de los vidrios son los mismos usados en el documento E4.

De Junio a Septiembre se han alcanzado sombras que reducen un 30% las ganancias solares a través de ventanas.

2.2 Características del envolvente

Según los requerimientos del CTE, en cada zona climática, se aplicarán unos determinados espesores de aislamiento.

En la tabla siguiente se muestran los valores de aislamiento y de los vidrios, así como los ratios de infiltración de los modelos descritos en el documento E4 para cada zona climática en el escenario CTE.

Tabla 29: Viviendas individuales y bloques de viviendas - Parámetros térmicos

| Caso | Fachada Exterior | | Cubierta | | Muros Espacios NA | | Vidrios | | Infiltraciones | |
|----------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|----------------|-------------------------|
| | U (W/m ² K) | Espesor (cm) Aislamiento | U (W/m ² K) | Espesor (cm) Aislamiento | U (W/m ² K) | Espesor (cm) Aislamiento | U (W/m ² K) | Factor solar | Tipo de marco | Caudal (renovaciones/h) |
| Adosado CTE B4 | 0.82 | 3.5 | 0.45 | 6.6 | 0.75 | 2.8 | 3.0 | 0.72 | A1 | 1.5* |
| Adosado CTE D3 | 0.66 | 4.7 | 0.38 | 8.3 | 0.66 | 4.1 | 2.2 | 0.72 | A2 | 0.8* |
| Adosado CTE E1 | 0.57 | 5.8 | 0.35 | 9.3 | 0.57 | 5.1 | 2.2 | 0.72 | A2 | 0.8* |
| Bloque CTE B4 | 0.82 | 3.5 | 0.47 | 6.6 | 0.75 | 2.8 | 3.4 | 0.55 | A1 | 1.5* |
| Bloque CTE D3 | 0.66 | 4.7 | 0.38 | 8.3 | 0.66 | 4.1 | 2.6 | 0.72 | A2 | 0.8* |
| Bloque CTE E1 | 0.57 | 5.8 | 0.35 | 9.3 | 0.57 | 5.1 | 2.7 | 0.72 | A2 | 0.8* |

(*) Estas infiltraciones están relacionadas directamente con la calidad del marco empleado. Y la ventilación nocturna considerada para el periodo de verano.

2.3 Ganancias internas y ratios de ventilación

Tabla 30: Sumariza las cargas internas consideradas para cada zona y también el ratio de infiltración.

| Espacio | Ocupación (m ² /personas) | Sensibilidad (W/personas) | Latente (W/personas) | Equipos (W/m ²) | Densidad lumínica | Infiltración (Renovaciones/h) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Vivienda individual (Sótano) | 300 | 71.79 | 45.42 | 4.40 | 4.40 | 0.5 |
| Vivienda individual (Bajo cubierta) | --- | --- | --- | 0 | 0 | 0.5 |
| Bloque de viviendas (Comercio) | 23.23 | 71.79 | 45.42 | 4.40 | 4.40 | 0.5 |
| Resto de espacios | 23.23 | 71.79 | 45.42 | 4.40 | 4.40 | (*) |

(*) Depende de la calidad de los marcos, durante las noches del periodo de verano, se ha considerado 4 renovaciones de aire por hora.

2.4 Infiltraciones y ventilación

Las infiltraciones durante el periodo de invierno se consideran constantes. El caudal de aire se describe en las tablas siguientes:

Durante las noches de verano, se considera que las viviendas están libres de refrigeración. El caudal considerado es de 4 renovaciones por hora durante el período que va desde 1 de Junio a 30 de Septiembre y desde las 2:00h de la madrugada a las 8:00h de la mañana.

3 Sistema de Refrigeración y Calefacción

Se han considerado los siguientes equipos y sistemas de calefacción y de refrigeración.

— **Refrigeración:**

EER = 2.0

Esta es la eficiencia usada en la simulación para obtener el consumo en refrigeración de acuerdo con los valores empleados en los modelos E4.

Temperatura: 25° C

Horarios: Desde 10:00 h a 22:00 h.

Periodo de refrigeración: De Junio a Septiembre

— **Calefacción:**

Caldera-Eficiencia = 0.85

Esta es la eficiencia usada en las simulaciones para obtener el consumo de calefacción, de acuerdo con los valores empleados en los modelos E4.

Temperatura: 20° C

Horarios: Desde 10:00 h a 22:00 h.

Periodo de calefacción: Resto del año

Tabla 31: Viviendas individuales - CTE B4

| Sistema | Área (m ²) | Refrigeración Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) |
|---------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|------------------|--|
| Sistema 0+ | 24.58 | 0.99 | 1.41 | 1.41 | 0.04 | 352.03 |
| Sistema 1+ 01 | 8.21 | 0.46 | 0.66 | 0.66 | 0.02 | 164.16 |
| Sistema 1+ 02 | 8.68 | 0.47 | 0.68 | 0.68 | 0.02 | 169.09 |
| Sistema 1+ 05 | 14.97 | 0.69 | 0.99 | 0.99 | 0.02 | 247.85 |
| Sistema 1+ 06 | 12.60 | 0.68 | 0.97 | 0.97 | 0.02 | 242.03 |

Tabla 32: Viviendas individuales - CTE D3

| Sistema | Área (m ²) | Refrigeración Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) |
|---------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|------------------|--|
| Sistema 0+ | 24.58 | 0.91 | 1.30 | 1.30 | 0.03 | 352.16 |
| Sistema 1+ 01 | 8.21 | 0.35 | 0.50 | 0.50 | 0.01 | 124.19 |
| Sistema 1+ 02 | 8.68 | 0.37 | 0.52 | 0.52 | 0.01 | 130.70 |
| Sistema 1+ 05 | 14.97 | 0.62 | 0.89 | 0.89 | 0.02 | 222.11 |
| Sistema 1+ 06 | 12.60 | 0.66 | 0.94 | 0.94 | 0.02 | 235.62 |

ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

Tabla 33: Viviendas individuales - CTE E1

| Sistema | Área (m ²) | Refrigeración Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) |
|---------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|------------------|--|
| Sistema 0+ | 24.58 | 1.27 | 1.82 | 1.82 | 0.05 | 453.75 |
| Sistema 1+ 01 | 8.21 | 0.59 | 0.85 | 0.85 | 0.02 | 211.57 |
| Sistema 1+ 02 | 8.68 | 0.62 | 0.89 | 0.89 | 0.02 | 221.67 |
| Sistema 1+ 05 | 14.97 | 0.91 | 1.30 | 1.30 | 0.03 | 324.36 |
| Sistema 1+ 06 | 12.60 | 0.90 | 1.28 | 1.28 | 0.03 | 320.23 |

Tabla 34: Bloque de viviendas - CTE B4

| Sistema (m ²) | Área Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Refrigeración (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) | Ventilación |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------|--|-------------|
| Sistema 1+ 01 | 6.96 | 0.28 | 0.40 | 0.40 | 0.01 | 101.07 |
| Sistema 1+ 04 | 17.68 | 0.62 | 0.88 | 0.88 | 0.02 | 219.84 |
| Sistema 1+ 05 | 8.99 | 0.52 | 0.74 | 0.74 | 0.02 | 184.28 |
| Sistema 1+ 06 | 9.44 | 0.58 | 0.82 | 0.82 | 0.02 | 205.73 |
| Sistema 1+ 08 | 8.99 | 0.54 | 0.77 | 0.77 | 0.02 | 192.10 |
| Sistema 1+ 09 | 9.44 | 0.42 | 0.60 | 0.60 | 0.02 | 150.30 |
| Sistema 1+ 12 | 6.96 | 0.35 | 0.50 | 0.50 | 0.01 | 125.72 |
| Sistema 1+ 14 | 17.68 | 0.63 | 0.89 | 0.89 | 0.02 | 223.55 |
| Sistema 2+ 01 | 6.96 | 0.30 | 0.43 | 0.43 | 0.01 | 108.11 |
| Sistema 2+ 04 | 17.68 | 0.64 | 0.92 | 0.92 | 0.02 | 229.54 |
| Sistema 2+ 05 | 8.99 | 0.43 | 0.62 | 0.62 | 0.02 | 153.95 |
| Sistema 2+ 06 | 9.44 | 0.32 | 0.45 | 0.45 | 0.01 | 112.50 |
| Sistema 2+ 08 | 8.99 | 0.42 | 0.60 | 0.60 | 0.01 | 148.97 |
| Sistema 2+ 09 | 9.44 | 0.37 | 0.53 | 0.53 | 0.01 | 133.34 |
| Sistema 2+ 12 | 6.96 | 0.27 | 0.39 | 0.39 | 0.01 | 96.46 |
| Sistema 2+ 14 | 17.68 | 0.65 | 0.93 | 0.93 | 0.02 | 233.65 |
| Sistema 3+ 01 | 6.96 | 0.31 | 0.45 | 0.45 | 0.01 | 112.17 |
| Sistema 3+ 04 | 17.68 | 0.70 | 1.00 | 1.00 | 0.02 | 249.83 |
| Sistema 3+ 05 | 8.99 | 0.43 | 0.61 | 0.61 | 0.02 | 152.84 |
| Sistema 3+ 06 | 9.44 | 0.32 | 0.46 | 0.46 | 0.01 | 114.52 |
| Sistema 3+ 08 | 8.99 | 0.41 | 0.59 | 0.59 | 0.01 | 147.12 |
| Sistema 3+ 09 | 9.44 | 0.38 | 0.54 | 0.54 | 0.01 | 135.04 |
| Sistema 3+ 12 | 6.96 | 0.28 | 0.39 | 0.39 | 0.01 | 98.56 |
| Sistema 3+ 14 | 17.68 | 0.71 | 1.01 | 1.01 | 0.03 | 253.37 |

ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

Tabla 35: Bloque de viviendas - CTE D3

| Sistema (m ²) | Área Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Refrigeración (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) | Ventilación |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------|--|-------------|
| Sistema 1+ 01 | 6.96 | 0.25 | 0.35 | 0.35 | 0.01 | 87.85 |
| Sistema 1+ 04 | 17.68 | 0.59 | 0.84 | 0.84 | 0.02 | 210.21 |
| Sistema 1+ 05 | 8.99 | 0.44 | 0.63 | 0.63 | 0.02 | 156.28 |
| Sistema 1+ 06 | 9.44 | 0.36 | 0.52 | 0.52 | 0.01 | 130.26 |
| Sistema 1+ 08 | 8.99 | 0.44 | 0.62 | 0.62 | 0.02 | 156.22 |
| Sistema 1+ 09 | 9.44 | 0.33 | 0.47 | 0.47 | 0.01 | 117.28 |
| Sistema 1+ 12 | 6.96 | 0.25 | 0.36 | 0.36 | 0.01 | 89.69 |
| Sistema 1+ 14 | 17.68 | 0.60 | 0.85 | 0.85 | 0.02 | 212.88 |
| Sistema 2+ 01 | 6.96 | 0.25 | 0.35 | 0.35 | 0.01 | 88.42 |
| Sistema 2+ 04 | 17.68 | 0.70 | 1.00 | 1.00 | 0.02 | 249.86 |
| Sistema 2+ 05 | 8.99 | 0.38 | 0.54 | 0.54 | 0.01 | 135.59 |
| Sistema 2+ 06 | 9.44 | 0.27 | 0.38 | 0.38 | 0.01 | 95.49 |
| Sistema 2+ 08 | 8.99 | 0.38 | 0.54 | 0.54 | 0.01 | 133.93 |
| Sistema 2+ 09 | 9.44 | 0.33 | 0.47 | 0.47 | 0.01 | 117.49 |
| Sistema 2+ 12 | 6.96 | 0.23 | 0.33 | 0.33 | 0.01 | 81.49 |
| Sistema 2+ 14 | 17.68 | 0.71 | 1.01 | 1.01 | 0.03 | 252.68 |
| Sistema 3+ 01 | 6.96 | 0.29 | 0.41 | 0.41 | 0.01 | 103.15 |
| Sistema 3+ 04 | 17.68 | 0.84 | 1.20 | 1.20 | 0.03 | 299.15 |
| Sistema 3+ 05 | 8.99 | 0.40 | 0.57 | 0.57 | 0.01 | 142.41 |
| Sistema 3+ 06 | 9.44 | 0.29 | 0.42 | 0.42 | 0.01 | 104.23 |
| Sistema 3+ 08 | 8.99 | 0.39 | 0.56 | 0.56 | 0.01 | 139.86 |
| Sistema 3+ 09 | 9.44 | 0.39 | 0.55 | 0.55 | 0.01 | 138.45 |
| Sistema 3+ 12 | 6.96 | 0.25 | 0.36 | 0.36 | 0.01 | 90.08 |
| Sistema 3+ 14 | 17.68 | 0.84 | 1.20 | 1.20 | 0.03 | 299.67 |

Tabla 36: Bloque de viviendas - CTE E1

| Sistema (m ²) | Área Sensible (kW) | Refrigeración Total (kW) | Refrigeración (kW) | Calefacción (kW) | Ventilación caudal (m ³ /h) | Ventilación |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------|--|-------------|
| Sistema 1+ 01 | 6.96 | 0.55 | 0.78 | 0.78 | 0.02 | 194.81 |
| Sistema 1+ 04 | 17.68 | 1.14 | 1.63 | 1.63 | 0.04 | 407.09 |
| Sistema 1+ 05 | 8.99 | 0.96 | 1.37 | 1.37 | 0.03 | 341.39 |
| Sistema 1+ 06 | 9.44 | 1.43 | 2.04 | 2.04 | 0.05 | 508.96 |
| Sistema 1+ 08 | 8.99 | 1.02 | 1.45 | 1.45 | 0.04 | 363.15 |
| Sistema 1+ 09 | 9.44 | 0.94 | 1.34 | 1.34 | 0.03 | 335.46 |
| Sistema 1+ 12 | 6.96 | 0.80 | 1.15 | 1.15 | 0.03 | 286.51 |
| Sistema 1+ 14 | 17.68 | 1.17 | 1.67 | 1.67 | 0.04 | 417.67 |
| Sistema 2+ 01 | 6.96 | 0.55 | 0.78 | 0.78 | 0.02 | 196.02 |
| Sistema 2+ 04 | 17.68 | 1.16 | 1.66 | 1.66 | 0.04 | 415.91 |
| Sistema 2+ 05 | 8.99 | 0.71 | 1.02 | 1.02 | 0.03 | 254.10 |
| Sistema 2+ 06 | 9.44 | 0.49 | 0.70 | 0.70 | 0.02 | 175.37 |
| Sistema 2+ 08 | 8.99 | 0.71 | 1.01 | 1.01 | 0.03 | 252.26 |
| Sistema 2+ 09 | 9.44 | 0.77 | 1.10 | 1.10 | 0.03 | 274.40 |
| Sistema 2+ 12 | 6.96 | 0.45 | 0.65 | 0.65 | 0.02 | 162.47 |
| Sistema 2+ 14 | 17.68 | 1.20 | 1.71 | 1.71 | 0.04 | 428.07 |
| Sistema 3+ 01 | 6.96 | 0.55 | 0.78 | 0.78 | 0.02 | 194.96 |
| Sistema 3+ 04 | 17.68 | 1.15 | 1.64 | 1.64 | 0.04 | 409.47 |
| Sistema 3+ 05 | 8.99 | 0.69 | 0.99 | 0.99 | 0.02 | 246.91 |
| Sistema 3+ 06 | 9.44 | 0.50 | 0.71 | 0.71 | 0.02 | 177.08 |
| Sistema 3+ 08 | 8.99 | 0.68 | 0.97 | 0.97 | 0.02 | 243.37 |
| Sistema 3+ 09 | 9.44 | 0.73 | 1.04 | 1.04 | 0.03 | 260.99 |
| Sistema 3+ 12 | 6.96 | 0.46 | 0.65 | 0.65 | 0.02 | 162.80 |
| Sistema 3+ 14 | 17.68 | 1.18 | 1.68 | 1.68 | 0.04 | 420.11 |

ANEXO 2 - ZONAS CLIMÁTICAS POR PROVINCIAS

Tabla 37: Tabla de zonas climáticas por provincias

| Provincia | Capital | Altura de referencia (m) |
|------------------------------|---------|--------------------------|
| Albacete | D3 | 677 |
| Alicante | B4 | 7 |
| Almería | A4 | 0 |
| Ávila | E1 | 1054 |
| Badajoz | C4 | 168 |
| Barcelona | C2 | 1 |
| Bilbao | C1 | 214 |
| Burgos | E1 | 861 |
| Cáceres | C4 | 385 |
| Cádiz | A3 | 0 |
| Castellón de la Plana | B3 | 18 |
| Ceuta | B3 | 0 |
| Ciudad Real | D3 | 630 |
| Córdoba | B4 | 113 |
| Coruña (a) | C1 | 0 |
| Cuenca | D2 | 975 |
| Donostia - San Sebastián | C1 | 5 |
| Girona | C2 | 1353 |
| Granada | C3 | 754 |
| Guadalajara | D3 | 708 |
| Huelva | B4 | 50 |
| Huesca | D2 | 432 |
| Jaén | C4 | 436 |
| León | E1 | 346 |
| Lleida | D3 | 131 |
| Logroño | D2 | 379 |
| Lugo | D1 | 412 |
| Madrid | D3 | 589 |
| Málaga | A3 | 0 |
| Melilla | A3 | 130 |
| Murcia | B3 | 25 |
| Orense | C2 | 327 |
| Oviedo | C1 | 214 |
| Palencia | D1 | 722 |
| Palma de Mallorca | B3 | 1 |
| Palmas de Gran Canaria (las) | A3 | 114 |
| Pamplona | D1 | 456 |
| Pontevedra | C1 | 77 |
| Salamanca | D2 | 770 |
| Santa Cruz de Tenerife | A3 | 0 |
| Santander | C1 | 1 |
| Segovia | D2 | 1013 |
| Sevilla | B4 | 9 |
| Soria | E1 | 984 |
| Tarragona | B3 | 1 |
| Teruel | D2 | 995 |
| Toledo | C4 | 445 |
| Valencia | B3 | 8 |
| Valladolid | D2 | 704 |
| Vitoria - Gasteiz | D1 | 512 |
| Zamora | D2 | 617 |
| Zaragoza | D3 | 207 |

MAPA NACIONAL DE ZONAS CLIMÁTICAS

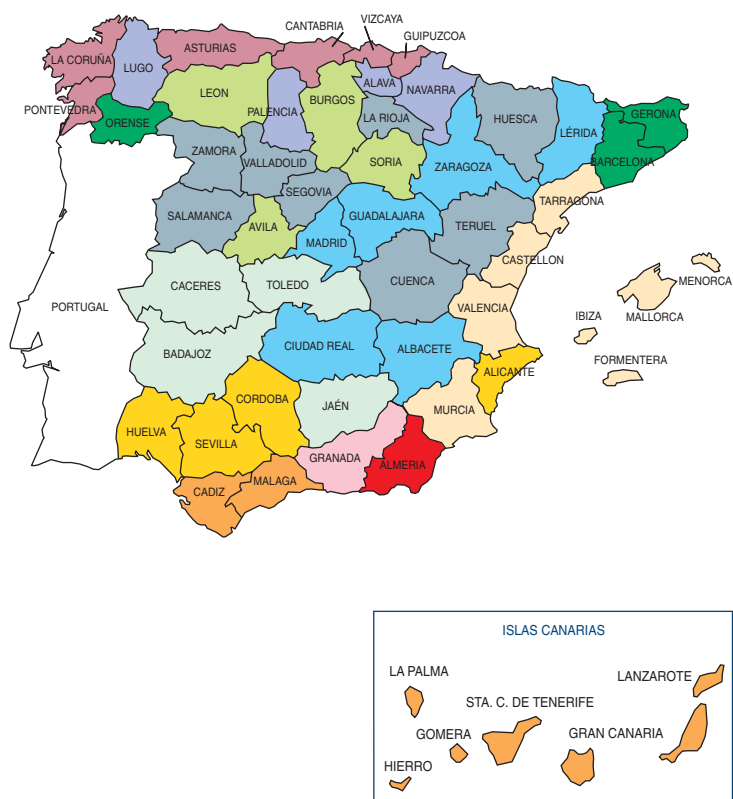


Figura 11: Mapa zonas climáticas

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

1 Listado de Tablas

| | | |
|------------------|--|---------|
| Tabla 1: | <i>Precio de la energía</i> | pág. 5 |
| Tabla 2: | <i>Valores de conversión de CO₂</i> | pág. 5 |
| Tabla 3: | <i>Estimación de edificios de viviendas a construir en el período 2005-2012</i> | pág. 6 |
| Tabla 4: | <i>Estimación de la superficie total de los edificios (m²)</i> | pág. 6 |
| Tabla 5: | <i>Valor U para cada una de las diferentes zonas climáticas</i> | pág. 9 |
| Tabla 6: | <i>Total espesor de aislamiento por zonas climáticas</i> | pág. 10 |
| Tabla 7: | <i>Valor U y factor solar para viviendas unifamiliares y en bloque</i> | pág. 10 |
| Tabla 8: | <i>Espesor óptimo de aislamiento adicional</i> | pág. 11 |
| Tabla 9: | <i>Espesor adicional</i> | pág. 11 |
| Tabla 10: | <i>Espesores adicionales y totales por zonas climáticas</i> | pág. 12 |
| Tabla 11: | <i>Valores del aislamiento utilizados en el Escenario CTE</i> | pág. 13 |
| Tabla 12: | <i>Valores del aislamiento utilizados en el Escenario CTE-PLUS</i> | pág. 14 |
| Tabla 13: | <i>Vivienda individual</i> | pág. 15 |
| Tabla 14: | <i>Ahorros energéticos entre escenarios</i> | pág. 16 |
| Tabla 15: | <i>Bloque de viviendas</i> | pág. 17 |
| Tabla 16: | <i>Ahorros energéticos entre escenarios</i> | pág. 18 |
| Tabla 17: | <i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂ Viviendas individuales</i> | pág. 19 |
| Tabla 18: | <i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂ Bloque de viviendas</i> | pág. 19 |
| Tabla 19: | <i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO₂ Total viviendas</i> | pág. 20 |
| Tabla 20: | <i>Resultados ahorros energéticos anuales y total acumulado</i> | pág. 21 |
| Tabla 21: | <i>Resultados anuales de CO₂ y total acumulado</i> | pág. 21 |
| Tabla 22: | <i>Descripción de espacios en Viviendas individuales</i> | pág. 28 |
| Tabla 23: | <i>Descripción de espacios en Bloques de viviendas</i> | pág. 30 |
| Tabla 24: | <i>Vivienda individual - cubierta - CTE</i> | pág. 31 |
| Tabla 25: | <i>Bloques de viviendas - cubierta - CTE</i> | pág. 31 |
| Tabla 26: | <i>Viviendas y Bloques de viviendas - fachadas - CTE</i> | pág. 31 |
| Tabla 27: | <i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - forjado espacios no acondicionados - CTE</i> | pág. 32 |
| Tabla 28: | <i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - forjado espacios con el terreno - CTE</i> | pág. 32 |
| Tabla 29: | <i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - parámetros térmicos</i> | pág. 33 |
| Tabla 30: | <i>Sumariza las cargas internas consideradas para cada zona y también el ratio de infiltración</i> | pág. 33 |
| Tabla 31: | <i>Viviendas individuales - CTE B4</i> | pág. 34 |
| Tabla 32: | <i>Viviendas individuales - CTE D3</i> | pág. 34 |
| Tabla 33: | <i>Viviendas individuales - CTE E1</i> | pág. 35 |
| Tabla 34: | <i>Bloque de viviendas - CTE B4</i> | pág. 35 |
| Tabla 35: | <i>Bloque de viviendas - CTE D3</i> | pág. 36 |
| Tabla 36: | <i>Bloque de viviendas - CTE E1</i> | pág. 36 |
| Tabla 37: | <i>Tabla de zonas climáticas por provincias</i> | pág. 37 |

2 Listado de Figuras

| | | |
|-------------------|--|---------|
| Figura 1: | <i>Vivienda unifamiliar</i> | pág. 4 |
| Figura 2: | <i>Bloque de viviendas</i> | pág. 4 |
| Figura 3: | <i>Factor de conversión (Fc)</i> | pág. 6 |
| Figura 4: | <i>Ideal y óptimo espesor de aislamiento</i> | pág. 8 |
| Figura 5: | <i>Amortizaciones</i> | pág. 8 |
| Figura 6: | <i>Modelo de vivienda individual</i> | pág. 26 |
| Figura 7: | <i>Plantas</i> | pág. 27 |
| Figura 8: | <i>Fachadas</i> | pág. 27 |
| Figura 9: | <i>Plantas</i> | pág. 29 |
| Figura 10: | <i>Fachadas y Secciones</i> | pág. 29 |
| Figura 11: | <i>Mapa zonas climáticas</i> | pág. 37 |

IDAE

Eficiencia Energética y Energías Renovables. Boletín 6. IDAE, Marzo 2004.

EURIMA

Mitigation of CO₂, Emissions from the Building Stock. Ecofys 2004.

Ministerio de Fomento

CTE - Documento Básico HE sección 1. Limitación de demanda energética (borrador) Abril 2005.

Ministerio de Economía y Hacienda

E4 Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, sector Edificación, Noviembre 2003.

PricewaterhouseCoopers

Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española.- 2004

ROCKWOOL®
LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

www.rockwool.es