



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

Análisis energético de acristalamientos y sistemas de ventilación en edificación residencial

Autor:

Francesc Pascual Delgado

Director:

Enrique Cano Suñen

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería de la Construcción

Junio 2015

RESUMEN

La finalidad de este proyecto consiste en analizar los sistemas de acristalamiento y ventilación de una vivienda con el objetivo de modificarlos y obtener una reducción del consumo energético. Teniendo en cuenta la normativa española y el concepto de casa pasiva, mediante el programa informático Design Builder se realizarán simulaciones para poder obtener una configuración que cumpla con los requisitos mínimos y a la vez sea eficiente en términos energéticos.

El análisis de las ventanas y sistemas de ventilación surge por distintos motivos. El principal motivo para el estudio de las ventanas es el resultado de analizar la envolvente del edificio y observar que son uno de los elementos más débiles, es decir, las ventanas tienen pérdidas energéticas muy elevadas y al mismo tiempo son las encargadas de dejar pasar gran parte de la luz solar. Por otro lado tenemos el sistema de ventilación, al revisar el CTE y concretamente el apartado de la calidad del aire se observa que el sistema de ventilación impuesto por la normativa española es poco eficiente y con unas mejoras los resultados serían notables.

A partir de este punto, podemos definir el proyecto como un conjunto de simulaciones en varias ubicaciones donde se modifican las ventanas o los sistemas de ventilación de una vivienda modelo, con el fin de obtener datos acerca de las ganancias, pérdidas y consumos. Los dos principales puntos de partida consistirán en los requisitos impuestos por el CTE y el Passivhaus Institut. Con ello también se pretende conocer cómo trabajan las casas pasivas y cómo podemos empezar a implantar estos conceptos en España y de esta forma poder llegar a obtener consumos 0 de energía auxiliar.

En conclusión, este es un proyecto donde se analiza la normativa española y al mismo tiempo intenta dar un paso hacia adelante para poder aprender la forma de construir o diseñar viviendas de otros países en fases de desarrollo más avanzadas. El resultado consistirá en mostrar la importancia de las ventanas y de la ventilación dentro de una vivienda cuando hablamos de eficiencia energética.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS	6
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Eficiencia energética en los edificios	7
2.2. Importancia del Código técnico de la edificación (CTE)	9
2.3. Plan renove	11
2.4. Resumen	11
3. ENVOLVENTE DEL EDIFICIO	12
3.1. Transferencia de calor en la envolvente	13
3.1.1. Tipos de transmisión de calor	14
3.2. Propiedades térmicas de los materiales	16
3.3. Balance térmico	17
4. CONCEPTO DE CASA PASIVA	24
4.1. Relación casa pasiva y consumo 0	26
4.2. Relación casa pasiva y CTE	27
4.3. Requisitos mínimos	28
5. VENTANAS	29
5.1. Definición	29
5.2. Clasificación	31
5.2.1. Tipo de marco	31
5.2.2. Sistema de apertura	34
5.2.3. Tipo de vidrio	34
5.3. Conceptos y propiedades	37
5.3.1. Parámetros del marco	37
5.3.2. Parámetros del vidrio	39
5.3.3. Parámetros del hueco	40
6. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	42
6.1. Fuentes de contaminación	42
6.2. Relación entre renovación y calidad del aire	43
6.3. Sistemas de renovación del aire	45
6.4. Elección del sistema de ventilación	47
6.5. Conclusiones	48

7. RECUPERADOR DE CALOR	50
7.1. Concepto	50
7.2. Rendimiento en función del sentido del flujo	53
8. NORMATIVA	55
8.1. Código técnico de la edificación (CTE)	56
8.1.1. Documento básico HE – 1	57
8.1.2. Documento básico HS – 1	64
8.1.3. Documento básico HS – 3	67
9. PROGRAMA INFORMÁTICO	70
10. ANÁLISIS DE VENTANAS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN	72
10.1 Estudio previo	74
10.1.1. Importancia de la cámara aislante en el doble acristalamiento	74
10.1.2. Influencia de la orientación solar	80
10.2. Análisis con requisitos del CTE	86
10.2.1. Metodología	86
10.2.2. Influencia del marco	88
10.2.3. Influencia del vidrio	90
10.2.4. Comparación de ventana sencilla y superior	94
10.2.5. Comparación de sistemas de ventilación	96
10.2.6. Comparación de sistemas de ventilación y ventanas	100
10.3. Análisis con requisitos de casa pasiva	103
10.4. Comparativa de casa pasiva y CTE	105
10.4.1. Orientación	105
10.4.2. Dimensiones de la ventana	107
10.4.3. Pérdidas y consumo	110
10.4.4. Refrigeración	115
11. CONCLUSIONES	118
12. BIBLIOGRAFÍA	124
13. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	125

1. OBJETIVOS.

Actualmente la eficiencia energética es uno de los temas más relacionados con la edificación y las viviendas en general. Apostar por la reducción de los consumos e intentar ser lo más cuidadosos con el medio ambiente siempre es una apuesta segura. En la actualidad el sector de la construcción trabaja de forma constante para reducir los consumos energéticos de las viviendas y de esta forma hacerlas más eficientes.

En España existe una normativa (CTE) que regula todo el proceso de la edificación y que al mismo tiempo establece una serie de requisitos mínimos para poder garantizar la seguridad y el bienestar de los ocupantes. También establece una normativa especial dedicada a la eficiencia energética. Es en este punto donde se define el principal objetivo de este proyecto, analizar los requisitos mínimos del código técnico de la edificación y determinar si son suficientes o si se podrían mejorar algunos aspectos.

Teniendo en cuenta que el CTE es muy extenso y que abarca todos los elementos de una vivienda, será muy importante delimitar los elementos a estudiar, concretamente se analizarán los sistemas de ventilación y acristalamiento. Los sistemas de ventilación se analizarán debido a que la vigente normativa no desarrolla con mucha eficiencia estos sistemas de renovación del aire y sus pérdidas constantes. Los acristalamientos se analizarán porque a día de hoy siguen siendo uno de los elementos más débiles de la envolvente del edificio, si nos referimos a temas de aislamiento.

Para poder analizar de forma coherente los requisitos mínimos del CTE es necesario tener algún modelo de referencia con el cual realizar todo tipo de comparaciones. A partir de aquí surge la necesidad de trabajar con el modelo de “casa pasiva”. Una corriente muy desarrollada en el norte de Europa y que busca un consumo de energía auxiliar nulo para las viviendas. Entonces se define el siguiente objetivo de este proyecto, verificar la eficiencia de la casa pasiva.

En resumen, en este proyecto se analizarán los sistemas de ventilación y acristalamientos impuestos por el CTE al mismo tiempo que se comparan las exigencias de una casa pasiva. Al final la intención de este proyecto es determinar las carencias del CTE y observar cómo se reducen los consumos cuando mejoramos algunos elementos de la envolvente del edificio.

2. ANTECEDENTES.

2.1. Eficiencia energética en los edificios

No podemos hablar de los cerramientos acristalados y sistemas de ventilación, sin dejar de lado el comienzo de la preocupación social por la eficiencia energética a nivel internacional, e incluso hoy en día a nivel nacional, gracias a la aprobación de la Certificación Energética de los edificios.

Esta preocupación se inicia en la década de los setenta, donde surge una creciente demanda social por un crecimiento sostenible, originado por una parte por la crisis energética iniciada por la subida del precio del petróleo, y por otra parte porque cada vez existía un mayor y mejor análisis de la repercusión en el medio ambiente de nuestras actividades. A partir de este momento empieza todo un proceso por intentar reducir el consumo energético y de esta forma poder cuidar el medioambiente emitiendo menores cantidades de CO₂.

Aunque en las últimas décadas se han producido algunas mejoras en los vidrios para acristalamientos exteriores, tales como el doble acristalamiento, los vidrios de baja emisividad o de control solar, la realidad es que el vidrio sigue siendo energéticamente menos eficiente que el resto de la envolvente opaca (muros exteriores, cubiertas y suelos). Hoy día el acristalamiento usado convencionalmente en viviendas no alcanza las cotas de eficiencia energética deseables en un edificio de máximo ahorro energético. Si consideramos a la ventana como unidad de obra nueva convencional, podemos decir que actualmente lo ideal sería utilizar una ventana formada por un doble acristalamiento, con carpintería de aluminio o PVC con o sin rotura del puente térmico y protección solar exterior o interior. Pero por desgracia no siempre es así y no siempre se construye con los elementos adecuados para los cerramientos acristalados.

Por otra parte los consumos generados como resultado de la ventilación constituyen una gran parte del consumo total de una vivienda, por este motivo desde hace un tiempo se han introducido nuevos sistemas de ventilación para poder mantener el confort dentro de las viviendas.

Según un estudio de ANDIMA (Asociación Nacional de fabricantes de Materiales Aislantes) realizado en el 2007, tal y como muestra las siguientes gráficas, una tercera parte de la energía se consume en los edificios, seguida muy de cerca por el consumo del transporte.

Si se estudia más concretamente el consumo energético en las edificaciones de viviendas residenciales, se puede observar que el mayor consumo se genera en climatización con un 46%, luego el agua caliente sanitaria con 21%, electrodomésticos 16%, cocina 10% e iluminación 7%.

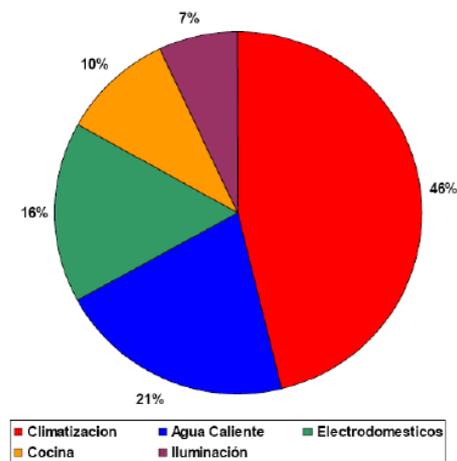


Figura 1. Grafica consumo energético en España (2007)

Teniendo en cuenta la gráfica anterior se observa que el mayor consumo se realiza en la parte de climatización de los edificios, por este motivo se intenta reducir el gasto energético en climatización mediante equipos más eficientes y reduciendo pérdidas energéticas en la envolvente del edificio. Llegados a este punto resulta lógico que nos centremos en mejorar el aislamiento térmico de los cerramientos exteriores, acristalamientos y en general todo lo que separe el interior del edificio del exterior.

Por tanto y según datos de ANDIMA, si por falta de aislamiento en cerramientos opacos estamos perdiendo hasta un 60% de energía, podemos decir que el 40% de energía restante se nos pierde mediante los cerramientos acristalados. Por este motivo podemos afirmar componentes que constituyen la piel del edificio.

A continuación se muestra una tabla donde queda reflejado el porcentaje de utilización de vidrios sencillos en Europa en 1999:

País	% Vidrios Sencillos
Bélgica	57
Dinamarca	51
Alemania	43
España	92
Francia	53
Italia	84
Holanda	52
Inglaterra	65

Tabla 1. % vidrios sencillos en Europa (1999)

2.2. Importancia del código técnico de la edificación (CTE)

El 6 de mayo de 2000 entró en vigor la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). En su Disposición final, la LOE autoriza al Gobierno para la aprobación de un Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE), que establezca las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. Para fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico, el CTE, aprobado finalmente el 17 de Marzo de 2006, adopta un enfoque internacional más moderno en materia de normativa de edificación, son los llamados Códigos. Basados en prestaciones u objetivos, que son las exigencias que ha de cumplir el edificio y las características de sus materiales, productos o sistemas.

El último documento del CTE referente a las exigencias de demanda energética fue emitido en Septiembre del 2013. Con este documento lo que intenta el Ministerio de vivienda es reducir la utilización de sistemas poco eficientes (en el caso de los cerramientos y ventilación) y favorecer el ahorro energético.

Otro factor muy importante es la elaboración de un certificado por parte del CTE para poder verificar el estado energético de los edificios. El procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios se ha presentado con el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico —Ahorro de Energía y Real Decreto 47/2007 por el que se aprueba la calificación energética de los edificios. Este certificado deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alto rendimiento energético.

Por ello, desde el pasado 31 de Enero de 2007, fecha de publicación en el BOE, los nuevos edificios deberán disponer de la correspondiente certificación energética. Con ello el usuario dispondrá de información sobre el comportamiento térmico de cada oficina o vivienda. La clasificación de las oficinas o viviendas se realiza siguiendo una escala de letras (de la A a la G en orden decreciente de eficiencia energética) y de colores, tal y como explica la figura adjunta. Para cumplir con lo exigido por el CTE la oficina o vivienda debe tener como mínimo una clasificación G. Para determinar la clase que le corresponde a un edificio concreto, se valorará el CO2 emitido por el consumo de energía del global de sus instalaciones.



Figura 2. Certificado energético del edificio

2.3. Plan Renove

Otra forma de introducir el ahorro energético en la sociedad de una forma más rápida fueron las subvenciones. El Gobierno facilitada ayudas económicas a aquellas personas que estuvieran interesadas en sustituir sus ventanas antiguas por ventanas más eficientes. Establecían unos requisitos mínimos como que fuesen un tipo de ventana en concreto, que no se ampliarán el tamaño de las ventanas o simplemente que tuviesen un máximo de pérdidas en concreto. Todo ello supuso un fuerte impulso para este sector y realmente incentivo y facilito la introducción de ventanas de “nueva generación”.

Por ejemplo en el País vasco desde el año 2008, el Plan Renove de Ventanas ha otorgado más de 20 millones de euros en ayudas que han movilizado inversiones por 104 millones de euros. Desde el comienzo de estos planes de ayuda, se han sustituido cerca de 103.000 ventanas antiguas por otras altamente eficientes, repartidos en una media superior a los 860 euros por vivienda. Estos datos nos reflejan el efecto que han tenido las subvenciones en la renovación de ventanas.

2.4. Resumen

Gracias a todas estas medidas tomadas en España hoy día se están reduciendo de forma considerable las pérdidas energéticas generadas por las ventanas y los sistemas de ventilación. Este hecho es el resultado de introducir las normativas más restrictivas y de las múltiples ayudas que el Gobierno ofrece para la renovación de las ventanas antiguas con otras más eficientes. Pero realmente no es suficiente, el problema reside en la falta de información y concienciación del ciudadano. Prácticamente no existen resultados concretos (de zonas particulares) sino que existen estudios muy genéricos acerca de la eficiencia de las ventanas y su correspondiente ahorro energético. Lo mismo sucede con los sistemas de ventilación y su papel fundamental dentro del ahorro energético.

Es a partir de este punto donde empieza el motivo de este proyecto, elaborar toda una serie de criterios en función de distintas zonas geográficas españolas para poder determinar de forma concreta que tipo de ventana y sistema de ventilación nos aporta un mayor ahorro energético.

3. ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

La envolvente del edificio es una capa que separa el mundo interior del mundo exterior, que comprende las paredes exteriores, los suelos, los cristales y las cubiertas. Es al mismo tiempo perteneciente al edificio y al espacio urbano; tiene la función de protección; regula el balance de humedad, temperatura y aire, estando en constante cambio energético con el ambiente exterior; aporta seguridad, resistencia y rigidez al edificio.



Figura 3. Envolvente del edificio

La principal función de los muros exteriores junto a las cubiertas y acristalamientos es establecer una barrera entre el ambiente exterior e interior, de modo que el interior pueda ser ajustado y esté en determinadas condiciones térmicas, lumínicas y acústicas.

Es a través de las envolventes que se procesan la mayor parte de los intercambios térmicos entre exterior e interior, por lo tanto su estudio es fundamental para que se reduzca el consumo de energía de las edificaciones. Llegados a este punto se debe prestar mucha importancia al aislamiento térmico del edificio.

Podríamos definir el aislamiento térmico como la resistencia que opone la piel del edificio al paso del calor. Consiste en que un edificio muy aislado tiene poco intercambio de energía interior-exterior y esto significa que no pierde calor en condiciones de invierno. La eficacia del aislamiento depende mucho de las orientaciones donde se disponga, siendo recomendable reforzar aquellas donde las condiciones exteriores sean más extremas. En general se necesita un buen aislamiento en climas fríos y es bueno tenerlo en los cálidos secos.

Teniendo en cuenta que la envolvente la forman los cerramientos exteriores, cubiertas y acristalamientos es necesario que cada uno de estos elementos disponga de un buen aislamiento térmico, de esta forma se evitarán las pérdidas de energía. No serviría de nada que los muros dispusieran de un buen aislamiento y los acristalamientos no tuviesen ningún sistema aislante. Es por ello que el CTE define el nivel de aislamiento mínimo de cada elemento constructivo que define la envolvente.

3.1. Transferencia de calor en la envolvente

Las pérdidas energéticas se producen debido a la transferencia de calor y la principal condición para la transmisión de calor es que los distintos cuerpos tengan temperaturas diferentes. Entonces el sentido del flujo es siempre del cuerpo más cálido hacia el cuerpo más frío.

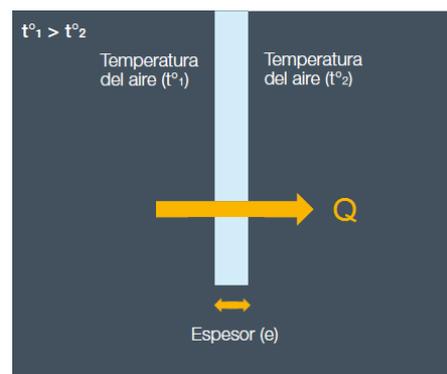


Figura 4. Transferencia de calor

Se define que cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas mayor será la transmisión de calor del cuerpo más cálido hacia el cuerpo más frío. Por este motivo en los climas adversos es donde se produce una mayor diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior, este hecho conlleva a la conclusión de que en climas adversos el aislante térmico tiene un papel fundamental.

En climas más suaves también se le asigna una gran importancia pero al tener diferencias de temperaturas más reducidas no se produce una transmisión de calor tan elevada por lo que las exigencias aislantes pueden ser menores.

3.1.1. Tipos de transmisión de calor

- Radiación:

La radiación ocurre mediante una dupla transformación de la energía: una parte del calor del cuerpo con mayor temperatura se convierte en energía radiante que llega hasta el cuerpo con menor temperatura, donde es absorbida en una proporción que depende de las propiedades de la superficie receptora, tornándose de nuevo calor.

- Conducción:

La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

- Convección:

La convección se verifica cuando los cuerpos están en contacto molecular y uno de ellos, por lo menos, es un fluido. Cuando un fluido está en contacto con un cuerpo a diferente temperatura, una parte de aquél, intercambiando calor con el cuerpo, adquiere una temperatura superior o inferior a la del resto del fluido. Esta diferencia de temperatura produce variaciones en la densidad del fluido, las cuales son causa de movimientos que tienden a restablecer el equilibrio térmico, mediante el desplazamiento del fluido desde las partes más calientes, que son las menos densas, hacia las más frías y más densas; este fenómeno constituye la llamada convección natural. En cambio, si al fluido se le imprime un movimiento, obtenido por diferencia de presiones, se produce la convección forzada.

En el estudio de la envolvente se debe considerar, simultáneamente, todos los factores que intervienen en el problema. Uno de ellos es la radiación solar, frente al cual los materiales de construcción se comportan de forma diferente, por lo tanto es conveniente distinguir la envolvente constructiva en dos partes: los cerramientos opacos (muros, cubierta y puertas) y los transparentes (acristalamientos).

La principal diferencia entre los dos cerramientos es justamente su capacidad (transparentes) o incapacidad (opacos) de transmitir la radiación solar para el ambiente interno directamente. La parte de la radiación transmitida para el interior actuará en las condiciones de confort de forma instantánea, siendo por lo tanto la principal porción de ganancias térmicas en ambientes. Este hecho nos muestra una de las principales ventajas de las ventanas, la ganancia solar.

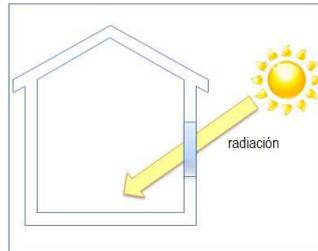


Figura 5. Radiación solar

Una vez definidos los tres tipos principales de transferencia de calor se tienen que asociar a cada elemento que compone la envolvente del edificio:

1. Radiación y convección exterior del edificio: dependen de la cantidad de radiación incidente y de la ventilación exterior. Estas propiedades varían en función de la zona climática, estación del año y la orientación. Cuanta más radiación exterior tengamos más energía incidirá en el interior y respecto al viento cuanto menor sea su incidencia mejor.
2. Radiación y convección interior del edificio: dependen de la ocupación, iluminación, electrodomésticos y todo tipo de objetos que puedan desprender calor por mínimo que sea. Esto se basa en el principio del calor latente, es decir, las persona desprendemos calor al igual que una máquina desprende calor debido a su funcionamiento.
3. Conducción por el interior del cerramiento: varía en función del espesor, conductividad, calor específico, efusividad y difusividad de los materiales que componen el cerramiento. Cuanta menor conducción tengamos a través de los cerramientos más facilidad tendremos para mantener la temperatura interior y menos pérdidas energéticas.

En este proyecto se analizarán los acristalamientos de las viviendas, por este motivo será imprescindible trabajar con el concepto de radiación solar, es decir, la energía que absorberán las ventanas gracias a las horas de sol. La zona climática también tendrá una gran importancia porque nos afectará a las condiciones exteriores de los acristalamientos. Y otro de los factores más importantes será la conductividad térmica de las ventanas. Más adelante en este proyecto se explica de forma detallada cada propiedad de las ventanas y se la relaciona con cada concepto de transmisión de calor.

3.2. Propiedades térmicas de los materiales

Para poder cumplir con las exigencias del CTE sobre ahorro energético, se establecen unas condiciones mínimas para la utilización de ventanas (marco y vidrio). Nos delimitan el uso de ventanas mediante tres parámetros (permeabilidad, factor solar y transmitancia térmica), de todos ellos el que tiene una relación directa con las propiedades térmicas de los materiales es la transmitancia térmica.

La transmitancia térmica (U) es la cantidad de energía que atraviesa la ventana en una unidad de tiempo y a través de una unidad de superficie. Siempre en caras plano-paralelas y debido al gradiente térmico entre la superficie exterior e interior. También se podría definir como la facilidad para que atravesase el calor a través de la ventana, cuanto mayor sea el valor de la transmitancia más pérdidas de calor se producirán en la ventana. Se mide en ($W/m^2 \cdot K$). Tendremos que distinguir la transmitancia térmica del marco y el del vidrio, pero se pueden obtener transmitancias genéricas del conjunto.

$$U = 1/R_T$$

Donde R_T es la resistencia térmica total, que consiste en la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. Se obtiene calculando la resistencia de cada material que compone el cerramiento y después se suman los resultados a la resistencia superficial externa e interna.

Estas últimas resistencias son las correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla del CTE de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio ($m^2 \cdot K/W$).

$$R_T = \left(\frac{e}{\lambda}\right)_1 + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_2 + \dots + \left(\frac{e}{\lambda}\right)_i + R_{SE} + R_{SI}$$

Donde:

e: espesor de la capa (m).

Rse: resistencia superficial externa ($m^2 \cdot K/W$).

Rsi: resistencia superficial interna ($m^2 \cdot K/W$).

λ : conductividad térmica ($W/m \cdot K$).

La conductividad térmica (λ) expresa la capacidad del material para conducir el calor, y es por definición, el cociente de la densidad del flujo térmico y del gradiente de temperatura ($W/m \cdot K$). El rango de los valores de conductividad en los materiales es muy amplio. Entre los menos conductores o aislantes, como la espuma de poliuretano ($0,026 W/m \cdot K$), y los más conductores, como el cobre ($389 W/m \cdot K$).

Este sería el procedimiento completo para evaluar la Transmitancia térmica de nuestra ventana y de esta forma poder comprobar si cumple con los mínimos del CTE. Teniendo en cuenta que se realizarán infinidad de simulaciones con distintas ventanas cogeremos los valores de U directamente facilitados por la base de datos de Designbuilder. De esta forma nos aseguraremos que los valores estén correctamente calculados y no haya ningún impedimento para trabajar con ellos.

3.3. Balance térmico

En el apartado anterior hemos hablado de los sistemas de transferencia de calor que se producen en una vivienda, estos sistemas pueden producir ganancias o pérdidas de calor en función de su origen y de donde se produzcan.

En términos generales, las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que está teniendo en un momento dado. El edificio tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria. En cualquiera de los dos casos se puede llegar

fácilmente a condiciones interiores de discomfort, las cuales, en situaciones extremas, exigirán sistemas de climatización artificial (refrigeración y/o calefacción) para ser contrarrestadas. De acuerdo al método de la ecuación del balance térmico el equilibrio térmico de un edificio ocurre cuando la suma de las pérdidas y ganancias de calor es igual a cero, llegando a un punto neutral que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

Los seis valores en el lado izquierdo de la ecuación se refieren a las principales fuentes de ganancias y pérdidas de calor de un edificio: internas, solares, conducción, ventilación, evaporación y sistemas mecánicos de climatización. Cuando esta ecuación no está en equilibrio es necesario el aporte de un sistema de climatización artificial para que equilibre el sistema y se llegue a una situación de confort. A continuación se describen cada una de estas fuentes y su procedimiento de cálculo:

- Ganancias internas (Q_i):

Las ganancias internas representan fuentes de calor al interior del edificio e incluyen personas, estufas, focos y prácticamente todos los aparatos que consumen energía. Una persona desarrollando actividades ligeras puede añadir unos 180W de energía calorífica al espacio, mientras que una televisión puede añadir más de 300W, dependiendo de su tamaño. Para estimar las ganancias internas de calor es recomendable calcular los aportes que se pueden dar en un momento dado. Esto significa que no deben considerarse encendidos todos los aparatos al mismo tiempo, sino que es necesario establecer un promedio razonable.

- Ganancias solares (Q_s):

La radiación solar que incide sobre el edificio puede generar importantes ganancias de calor. Cuando éstas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas, por ejemplo) se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman directas. En el método del balance térmico se recomienda calcular las ganancias indirectas por medio del parámetro temperatura sol-

aire (ver Ganancias por conducción). Sin embargo en ocasiones puede resultar útil conocer las ganancias solares indirectas independientemente de la temperatura del aire exterior. Las ganancias solares directas (a través de los elementos transparentes) se dan como sigue:

$$Q_s(\text{directa}) = G \cdot A \cdot g^{\perp}$$

Donde:

Q_s = Ganancia directa (W).

G = Radiación solar total incidente sobre la superficie transparente (W/m²).

A = Área de la superficie transparente en m².

g^{\perp} = Factor de ganancia solar del vidrio. (después se concretan estos parámetros)

Las ganancias solares indirectas implican un proceso en el que la radiación solar incidente primero aumenta la temperatura de la superficie exterior de los cerramientos, para después generar un flujo de calor por conducción a través de éstos. Para calcular las ganancias solares indirectas, independientemente de la temperatura del aire exterior, se puede recurrir a la siguiente fórmula:

$$Q_s(\text{indirectas}) = U \cdot A \cdot G \cdot \alpha \cdot R_{SE}$$

Donde:

Q_s = Ganancia indirecta (W).

U = Transmitancia del elemento (W/m²·K)

G = Radiación solar total incidente sobre el elemento opaco (W/m²).

A = Área del componente opaco en (m²).

α = Absorvidad de la superficie.

R_{SE} = Resistencia superficial externa (m²·K/W).

- Pérdidas o ganancias por conducción (Q_c):

Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente del edificio (muros, cubiertas y suelos, por ejemplo) tenemos, dependiendo del sentido de dichos flujos, pérdidas o ganancias por conducción; La cantidad de calor ganado o perdido dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la diferencia de temperatura interior-exterior y de la superficie total expuesta.

Mediante la siguiente ecuación podemos calcular las pérdidas o ganancias de calor en un momento dado:

$$Q_c = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q_c = Flujo de calor (W).

ΔT = Diferencia entre la temperatura del aire interior y el exterior (K).

A = Área de la superficie del componente (m²).

U = transmitancia del elemento (W/m²·K).

- Pérdidas o ganancias por ventilación - convección (Q_v):

Las pérdidas y ganancias por ventilación ocurren cuando el aire exterior ingresa y circula a través del edificio, lo cual implica también que el aire interior sea expulsado hacia afuera. La ventilación se puede dar de manera intencional, a través de rejillas, ventanas y puertas, o bien en forma involuntaria, mediante la infiltración a través de los componentes constructivos. Cuando la temperatura del aire exterior es mayor que la del aire interior se tienen ganancias, y viceversa.

$$Q_v = 1300 \cdot V \cdot \Delta T$$

Donde:

Q_v = Pérdida o ganancia por ventilación (W).

1300 = Calor específico volumétrico del aire (J/m³·K).

V = Tasa de ventilación (m³/s).

ΔT = Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (K).

En este caso el CTE nos determina (más adelante) el número de renovaciones por hora, entonces la tasa de ventilación se obtiene de la siguiente manera:

$$V = N \cdot Vol / 3600$$

Donde:

V = Tasa de ventilación (m³/s).

N = Número de renovaciones de aire por hora.

$Vol.$ = Volumen total del espacio interior (m³).

3600 = Segundos en una hora (s).

- Pérdidas por evaporación (Q_e):

Las pérdidas de calor por evaporación ocurren cuando el agua se evapora y se incorpora al aire del espacio interior. Si se conoce la tasa de evaporación (ev), en kilogramos por hora (kg/h), la pérdida total de calor por evaporación se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_e = 666'66 \cdot ev$$

Donde:

Q_e = Pérdida por evaporación (W).

ev = Tasa de evaporación (kg/h).

Nota: El factor 666.66 se obtiene del calor latente del vapor de agua (2,400,000 J/kg), considerando que la tasa de evaporación se da por hora (3600 segundos), de tal manera que $2400000 / 3600 = 666'66$.

- Pérdidas y ganancias por sistemas mecánicos de climatización (Q_m):

El flujo calorífico debido a los sistemas mecánicos de climatización está sujeto a la voluntad del proyectista y pueden controlarse deliberadamente. Debido a ello generalmente se considera como una variable independiente, es decir, que se puede ajustar de acuerdo al balance de los demás factores. Recordemos la ecuación del balance térmico:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

Si:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e > 0$$

Entonces el valor Q_m tendría que ser igual al valor de la suma, pero con valor negativo, para lograr el equilibrio. Estaríamos ante la necesidad de un sistema mecánico de refrigeración.

Si:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e < 0$$

Entonces el valor Q_m tendría que se igual a la suma pero con valor positivo, lo que indicaría la necesidad de un sistema mecánico de calefacción.

Los sistemas mecánicos de climatización, además de costosos, suponen un gasto energético extra en los edificios, el cual puede llegar a alcanzar niveles excesivos. En ese sentido el diseñador siempre debería tratar de reducir los requerimientos de climatización mecánica al mínimo aplicando estrategias de diseño pasivas, empleando los materiales y sistemas constructivos más adecuados, y aprovechando al máximo los recursos naturales disponibles.

Concretamente en este proyecto intentaremos reducir el aporte de energético de los sistemas de climatización, es decir, reducir al máximo el valor de Q_m. Esto se consigue minimizando el valor absoluto de la suma de:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e$$

Reducir esta suma conllevará a decir que la diferencia entre ganancias y pérdidas es mínima, y por lo tanto que prácticamente el edificio no requiere energía auxiliar. Esto es el resultado de un proceso de evaluación de cada uno de los factores que intervienen, pero en nuestro caso nos centraremos en aquellos que intervengan con el sistema de acristalamientos.

Si consideramos los acristalamientos como el conjunto de marco y vidrio sus elementos se ven relacionados con los siguientes factores:

- Marco ventana: Pérdidas o ganancias por ventilación – convección (Q_V).
Pérdidas o ganancias por conducción (Q_C).
Ganancias solares (Q_S indirectas).
- Vidrio ventana: Pérdidas o ganancias por conducción (Q_C).
Ganancias solares (Q_S directas).

4. CONCEPTO DE CASA PASIVA

Se habla de casa pasiva cuando se consigue una edificación que no necesita energía para mantener el confort interior (temperatura, calidad y renovación del aire...) o que tiene unos consumos de energía mínimos. El concepto, históricamente, nace en países como Islandia, donde se sufren unas temperaturas de frío extremo y no se disponía del combustible para calentar las casas. Era necesario entonces mantener la vivienda en una temperatura constante sin poder depender de una fuente de energía externa.

Actualmente, se considera casa pasiva el edificio que cumpla los requisitos marcados por el "Passiv Haus Institut" de Alemania (www.passiv.de), encargado de cuantificar y valorar los principios que se han de cumplir para considerar que una casa es pasiva energéticamente hablando. Los preceptos a cumplir serían básicamente: la minimización de pérdidas del edificio, la optimización al máximo del rendimiento de la energía solar pasiva y disponer de un sistema de ventilación constante con reaprovechamiento de la energía del aire (recuperación de calor).

Propiedades:

1. El aislamiento térmico. Un buen aislamiento significa la reducción directa de las pérdidas de calor: es beneficioso tanto en invierno como en verano.
2. Puentes Térmicos. La capa de aislamiento tiene que ser continua y sin interrupciones.
3. Estanqueidad de la envolvente. La envolvente tiene que ser lo más estanca posible, sellando todas las uniones de materiales del edificio, para garantizar que no se produzcan fugas no deseadas de calor / frío.
4. Ventanas de alta calidad. Las carpinterías son el elemento más "débil" de la envolvente. Tienen una doble función: reducir pérdidas al máximo y permitir ganancias solares, sobre todo en invierno.

5. Ventilación mecánica. La introducción de sistemas de renovación de aire aprovechando la temperatura del aire interior es de vital importancia para una casa pasiva.

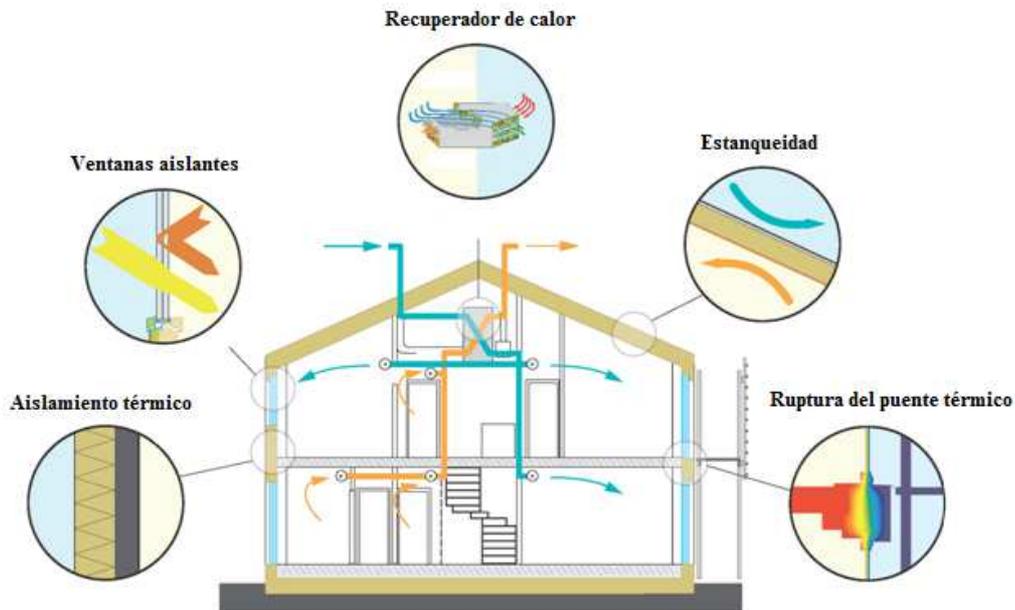


Figura 6. Esquema casa pasiva

Con los materiales y técnicas de construcción que existen actualmente es relativamente sencillo conseguir que una edificación cumpla los parámetros de una casa pasiva. Hay que entender que el sello de casa pasiva no tiene ninguna clase de restricciones constructivas o de material. Por ello, estas casas no tienen ninguna limitación de diseño pero sí que hay ciertas recomendaciones de forma que ayudan a conseguir el objetivo de un nulo consumo energético, las formas simples, compactas y la utilización de tipologías adosadas en vez de casas aisladas ayudan pero no son indispensables.

El principal concepto que consigue los requerimientos energéticos es el de una casa aislada lo máximo posible del exterior y que aprovecha las fuentes de calor permanente incluso en invierno, es decir, el calor de personas y electrodomésticos o el aporte de energía solar pasiva.

4.1. Relación casa pasiva y consumo 0.

La casa pasiva ideal es aquella que no requiere ningún consumo de energía adicional para poder mantener el confort en el interior de la vivienda, por este motivo entra en juego el balance térmico. En el proyecto se ha expresado la ecuación del balance térmico, donde se definen cada uno de los factores y uno de ellos es la demanda de energía auxiliar Q_m . El objetivo de la casa pasiva consiste en eliminar este factor simplemente con el equilibrio de las pérdidas y ganancias.

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v - Q_e \pm Q_m = 0$$

No resulta fácil poder mantener el confort de una vivienda simplemente con el equilibrio entre pérdidas y ganancias pasivas. Por este motivo también se acepta que la vivienda tenga un mínimo de aporte energético auxiliar.

En este proyecto se intentarán buscar soluciones para reducir de forma considerable el consumo de energía auxiliar al mismo tiempo que se busca el equilibrio entre ganancias y pérdidas. Por este motivo buscaremos obtener respuestas entre los requisitos establecidos por el CTE y las recomendaciones del Passiv Haus Institut.

Se analizarán de forma concreta dos elementos indispensables para el ahorro energético y se buscará su mejora para poder llegar a un consumo prácticamente nulo de energía auxiliar.

1. Acristalamientos (mejorar aislamiento térmico)
2. Sistemas de recuperación de calor (aprovechar la energía del aire interior para calentar el aire exterior).

Para valorar la influencia de estos dos elementos, se realizarán distintas simulaciones con varias configuraciones y de esta forma poder determinar su importancia, optimización y el ahorro energético como consecuencia de su implantación.

4.2. Relación casa pasiva y CTE

El principal problema que surge para implantar en España los conceptos de casa pasiva reside en la falta de restricciones en nuestra normativa de la edificación. El CTE establece muchos requisitos mínimos para reducir el consumo energético pero todavía se encuentra lejos del consumo 0 de energía auxiliar.

Aquí es donde entra en juego este proyecto, es decir, el objetivo principal de este proyecto consiste en cumplir los mínimos requisitos del CTE al mismo tiempo que se introducen los conceptos de casa pasiva. El resultado consistirá en una mezcla de requisitos para cumplir la normativa establecida al mismo tiempo que se intenta acercar a la vivienda española al concepto de casa pasiva.

De esta forma se quiere concienciar a la población de que cumplir el CTE es importante pero que el ahorro energético también juega un papel vital en la sociedad. No es un objetivo sencillo teniendo en cuenta que intentar un consumo 0 de energía auxiliar puede conllevar a un aumento del coste de la inversión inicial.

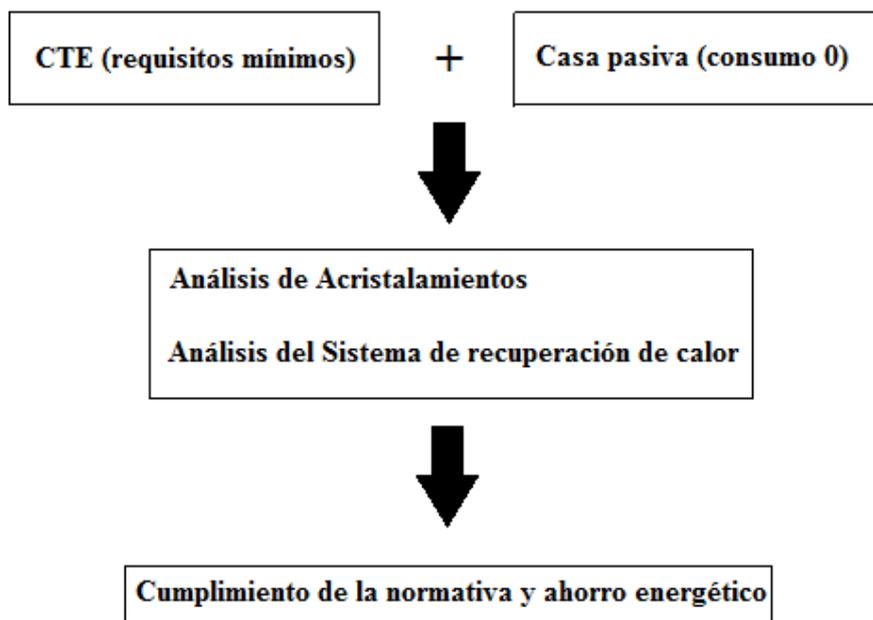


Figura 7. Esquema objetivo proyecto

4.3. Requisitos mínimos.

Para disponer del certificado de casa pasiva se tienen que cumplir toda una serie de requisitos mínimos, este no será el objetivo en nuestro proyecto, sino que cogemos los requisitos mínimos de aquellos elementos analizados en el CTE. Por este motivo escogeremos los valores de cerramientos y acristalamientos.

Es importante conocer que valores de transmitancias máximas me permite la normativa de casa pasiva introducir en mi vivienda a simular, más adelante se especificarán en qué consisten estos valores, simplemente en este apartado queda reflejados cuales son. A diferencia del CTE que me establece unos valores de transmitancias distintos para cada ubicación, estos elementos son tan eficientes que me sirven para cada ubicación.

Transmitancias U(W/m²·K)			
Cubierta	Muros exteriores	Suelo	Hueco
0,15	0,15	0,15	0,9

Tabla 2. Valores transmitancias casa pasiva

5. VENTANAS

5.1. Definición

Podríamos definir la ventana como un hueco que se abre en una pared con la finalidad de proporcionar luz solar y ventilación a la estancia correspondiente. Algunos tipos de edificios, por diversas razones no poseen ventana alguna. Por el contrario, en edificios de oficinas, por ejemplo, es habitual que toda su fachada se convierta en una pura ventana. Para el caso de las viviendas, la dotación de ventanas en las zonas habitables es obligada por disposición del CTE.

Los reglamentos de habitabilidad suelen imponer no sólo su uso sino también sus dimensiones mínimas y otros parámetros. En general, gracias a este tipo de elemento constructivo, hoy día podemos disponer de luz solar en el interior de las edificaciones al mismo tiempo que nos permite tener un contacto con el medio exterior.

Como una de las principales misiones que cumple la ventana es la de ventilación, esto requiere una comunicación directa con el exterior. Pero teniendo en cuenta su utilización en las viviendas, por razones climatológicas la exposición al exterior no puede ser permanente. Por este último motivo se requiere que la ventana tenga un sistema de cierre eficaz que nos permita disponer al mismo tiempo del paso de la luz solar. Si tenemos en cuenta que la ventana está formada por el conjunto marco-vidrio, podríamos definir el marco como el elemento que proporciona el cierre hermético, por otro lado el vidrio sería el elemento que nos proporciona el paso de la luz solar.

En los últimos años a parte de todas estas propiedades imprescindibles para las ventanas, se ha unido el concepto de pérdida de energía. Se conoce que a través de los cerramientos exteriores, en este caso las ventanas se pierden grandes cantidades de energía. Esto conlleva a que tengamos que aumentar el aporte de energía mediante sistemas de calefacción o refrigeración. Por este motivo a las ventanas se les exige una propiedad más: el aislamiento térmico.

Cuanto mayor sea la capacidad de aislamiento térmico de una ventana mayor será el ahorro energético debido a que se reducirán las pérdidas energéticas en la vivienda. A partir de este punto asignamos el concepto de transmitancia térmica a las ventanas, con esta propiedad el CTE delimitará el correcto uso de las ventanas.

En conclusión una ventana para una vivienda debe de disponer:

- Superficie semitransparente (para dejar paso a la luz solar).
- Practicable (para poder acceder al exterior y tener ventilación natural).
- Cierre eficaz (sistema que nos permite aislar el medio exterior de nuestra estancia).
- Aislamiento térmico (capacidad reducida para dejar pasar la energía).

Este sistema de cierre eficaz se consigue con el conjunto marco-vidrio:

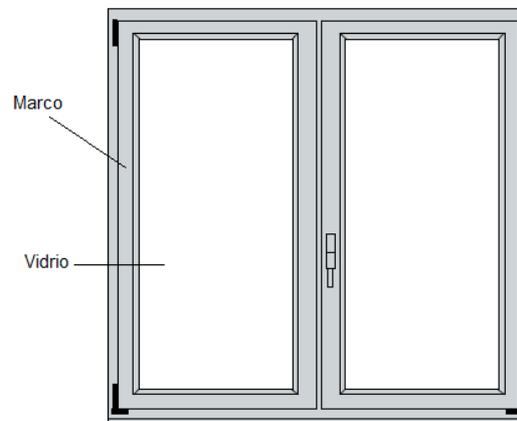


Figura 8. Conjunto marco-vidrio

5.2. Clasificación

Debido a su elevada importancia en el sector de la edificación, este elemento constructivo ha evolucionado mucho en los últimos tiempos. De tal forma que en el mercado actual podemos encontrar cientos de ventanas distintas entre sí y que además cada una nos ofrece unas prestaciones distintas. Podemos clasificar las ventanas según el material del marco, tipo de vidrio y el sistema de apertura.

5.2.1. Tipo de marco

Es el elemento que realiza la función de sujetar el vidrio, al mismo tiempo que proporciona estanqueidad al hueco. El marco representa habitualmente entre el 20% y el 25% de la superficie total de la ventana. Los marcos pueden clasificarse de varias formas pero la principal es en función del material utilizado.

- Madera:

Hasta hace unos años era la única opción. Hoy en día se utiliza sobre todo para casas rurales. Requiere un mayor mantenimiento, es muy sensible al sol y a los microorganismos, por esta razón se aconseja barnizarlas periódicamente. Por el contrario, su aspecto es más cálido y acogedor que el de las ventanas de otros materiales. Se trata de perfiles macizos que proporcionan niveles importantes de aislamiento. Sus propiedades varían en función del tipo de madera utilizado.



Figura 9. Ventana de madera

- Metálico (con o sin RPT):

Antes se utilizaban de acero, pero con el paso del tiempo y la evolución de la industria el aluminio se ha convertido en el material más utilizado. El aluminio es un metal más ligero que el acero y que no se oxida ante la acción de los agentes atmosféricos y tampoco necesita mantenimiento alguno.

Últimamente va en aumento la utilización de perfiles de aluminio con ruptura del puente térmico R.P.T. La ruptura del puente térmico consiste en la incorporación de uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica para separar los componentes interiores y exteriores del marco. De esta forma se logra reducir de forma considerable la transmitancia térmica del marco.



Figura 10. Ventana de aluminio

- PVC (con cámara de aire)

Es el que más fuerza está ganando en los últimos años, por su fuerte capacidad de insonorización y aislamiento. Su mantenimiento es muy sencillo, el pvc es lavable y solo se necesita agua y jabón. Respecto a su estilo, las ventanas de este material se adaptan a cualquier espacio ya que el pvc se fabrica en una amplia gama de colores, e incluso puede imitar la madera. Los perfiles normalmente son huecos o pueden disponer de varias cámaras que favorecen el aislamiento térmico



Figura 11. Ventana de PVC

En la siguiente tabla podemos observar un breve resumen de las propiedades más relevantes de cada tipo de marco y de esta forma tener una mínima idea de las ventajas e inconvenientes de cada tipo.

Características	Madera	Aluminio	Aluminio +RPT	PVC
mantenimiento	deficiente	excelente	excelente	excelente
seguridad frente incendios	deficiente	excelente	excelente	deficiente
asilamiento térmico	medio	deficiente	medio	excelente
aislamiento acústico	excelente	deficiente	medio	medio
durabilidad	medio	excelente	excelente	excelente

Tabla 3. Propiedades generales de los marcos de las ventanas

5.2.2. Sistema de apertura

Existen una infinidad de sistemas de apertura para las ventanas, no afectan al consumo energético de forma directa pero es necesario conocerlos. Algunos de los más utilizados en la construcción son los siguientes:

- Apertura practicable
- Abatible de giro horizontal
- Oscilo batiente
- Pivotante
- Guillotina
- Corredera

5.2.3. Tipo de vidrio

El vidrio es el elemento fundamental en el cerramiento, teniendo en cuenta que normalmente ocupa entre un 75% y 80% del total de la superficie de la ventana. En el mercado existen múltiples tipologías de vidrio pero en este proyecto se escogerán los vidrios que se consideran más comunes en el entorno de la edificación.

- Vidrio sencillo (monolítico):

Este tipo de vidrio agrupa aquellas tipologías formadas por una única hoja de vidrio y también aquellas que están formadas por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie (vidrios laminares). Dentro del vidrio monolítico podemos encontrar vidrios incoloros, de color, impresos, y de seguridad. Así como distintos tratamientos que modifican las propiedades mecánicas, térmicas y espectrofotométricas de los mismos. Las prestaciones térmicas de un vidrio monolítico pueden considerarse bastante mínimas y a diferencia de otros vidrios su aislamiento no aumenta mucho a medida que se aumenta el espesor del vidrio.

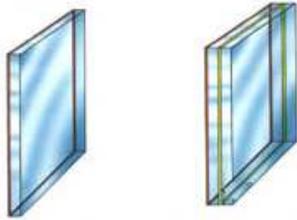


Figura 12. Vidrio monolítico

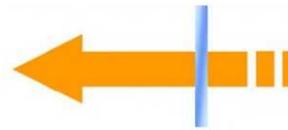


Figura 13. Vidrio monolítico 2

- Unidad de Vidrio Aislante (UVA):

Conocido anteriormente como doble acristalamiento o vidrio de cámara hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro.

Las unidades de vidrio aislante o doble acristalamiento, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción.

La principal consecuencia es un fuerte aumento de su capacidad aislante reflejado en la drástica reducción de su transmitancia. El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la Transmitancia térmica.



Figura 14. Vidrio UVA

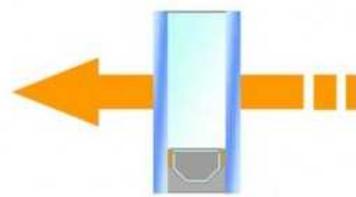


Figura 15. Vidrio UVA 2

- Vidrio de baja emisividad (low-e):

Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de nanómetros proporcionando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Normalmente estos vidrios deben ir ensamblados en UVA (doble acristalamiento) ofreciendo así sus máximas prestaciones de aislamiento térmico.

Es un tipo de vidrio diseñado especialmente para reducir las pérdidas de calor desde el interior de la vivienda, es muy recomendado en zonas donde se quiera aprovechar al máximo el calor generado en el interior.

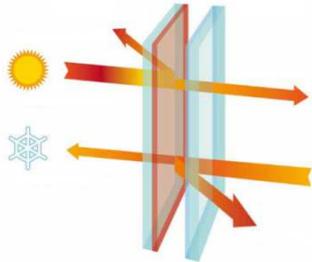


Figura 16. Vidrio low-e

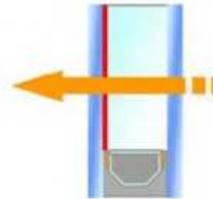


Figura 17. Vidrio low-e 2

Según las necesidades de aislamiento existen dos tipos de vidrios bajo emisivos:

- A) Zonas frías, el vidrio tratado se sitúa hacia el interior del edificio con la cara especial hacia la cámara de aire del Doble Acristalamiento. De esta forma, las radiaciones de larga longitud de onda (procedentes de la calefacción) reflejan en el acristalamiento, retornando hacia el interior y reduciendo las pérdidas energéticas.

- B) Zonas cálidas, el vidrio tratado se sitúa hacia el exterior del edificio, con la cara tratada hacia la cámara de aire del Doble Acristalamiento. De esta manera se consigue reducir la transmisión energética procedente del sol al interior de la estancia, reduciendo el gasto de aire acondicionado, climatizador, etc.

- Otros tipos:

Existen otros tipos de vidrios como el polarizado, control solar, templado, reflectante etc. Pero no son vidrios muy utilizados en la edificación de viviendas y por este motivo no se tendrán en cuenta en las simulaciones realizadas en este proyecto. Simplemente no se utilizan demasiado en las viviendas, porque estos vidrios aportan propiedades que no son muy útiles en lo que respecta la eficiencia energética. Por ejemplo algunos de estos vidrios se destinan a la seguridad de comercios, otros evitan que incida la luz del sol dentro del recinto y en general disponen de propiedades destinadas a otros usos que no sea el residencial.

5.3. Conceptos y propiedades

Es imprescindible conocer los parámetros que definen las propiedades de los huecos (marco y vidrio), de esta forma podremos conocer la eficiencia de las ventanas al mismo tiempo que cumplimos con la normativa establecida por el CTE.

5.3.1. Parámetros del marco:

- Absorvidad (α):

Fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma. La absorvidad va de 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%). Cuanto más bajo sea el valor, menos calor absorberá el marco. Se obtiene de las tablas del CTE donde especifican las propiedades de los marcos y ventanas.

- Transmitancia (U_m):

Es la cantidad de energía que atraviesa el marco en una unidad de tiempo y a través de una unidad de superficie. Siempre en caras plano-paralelas y debido al gradiente térmico entre la superficie exterior e interior. También se podría definir como la facilidad para que el calor atraviese el marco, cuanto mayor sea el valor de la transmitancia más pérdidas de calor se producirán en el marco. Se mide en ($W/m^2 \cdot K$).

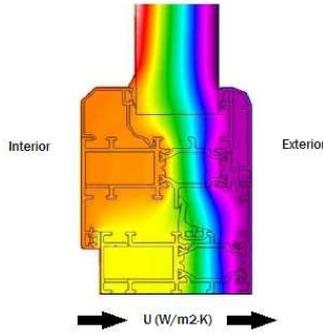


Figura 18. Transmitancia del marco

- Fracción del marco (Fm):

Es la fracción del hueco que es ocupada por el marco de la ventana.

$$F_m = 1 - F_v$$

- Rotura del puente térmico (RPT):

Es un sistema que consiste en evitar que la cara interior y exterior del marco de la ventana tengan contacto entre sí. Esto se consigue intercalando un mal conductor, con lo que se reducen de forma considerable las pérdidas. Para el caso de ventanas de aluminio suele utilizarse un perfil separador de plástico embutido en el propio perfil de aluminio que conforma la ventana.

Entre las ventajas de la rotura de puente térmico está el ahorro de energía y la limitación de la condensación. El Código Técnico de la Edificación Española exige que los cerramientos de aluminio sean con rotura de puente térmico en la mayoría de las comunidades.

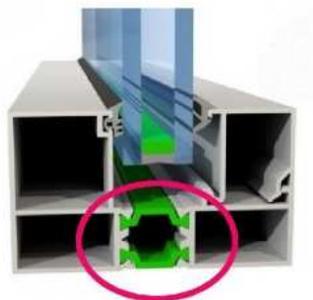


Figura 19. Marco con RPT

5.3.2. *Parámetros del vidrio:*

- Transmitancia (Uv):

Es la cantidad de energía que atraviesa el vidrio en una unidad de tiempo y a través de una unidad de superficie. Siempre en caras plano-paralelas y debido al gradiente térmico entre la superficie exterior e interior. También se podría definir como la facilidad para que atravesase el calor a través del marco, cuanto mayor sea más pérdidas de calor se producirán en el vidrio. Se mide en $(W/m^2 \cdot K)$.

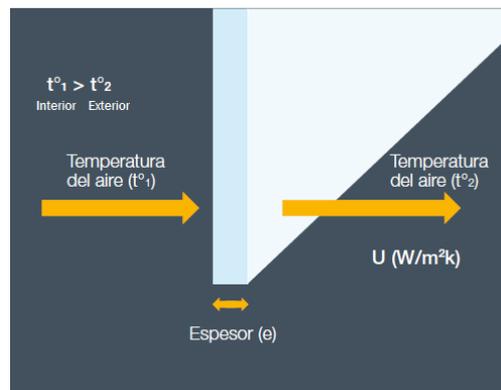


Figura 20. Transmitancia del vidrio

- Fracción del vidrio (Fv):

Es la fracción del hueco que es ocupada por el vidrio de la ventana

$$F_v = \frac{\text{Superficie vidrio}(m^2)}{\text{Superficie hueco}(m^2)}$$

- Factor solar (g_{\perp}):

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. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco. En otras palabras, es el cociente entre lo que entra y lo que podría entrar si no hubiese vidrio.

5.3.3. *Parámetros del hueco:*

- Permeabilidad:

Capacidad de una ventana de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire, expresada en $m^3/h \cdot m^2$. El CTE establece distintas clases en función del paso de aire. El programa utilizado para realizar las simulaciones no tiene en cuenta la permeabilidad de los huecos, por este motivo simplemente se tiene que asegurar que el fabricante cumple con el requisito establecido por el CTE.

- Transmitancia del hueco (U_H):

Una vez tengamos definidas las transmitancias del marco y vidrio, mediante la fórmula correspondiente calcularemos la Transmitancia general de la ventana, donde se tienen en cuenta la superficie ocupada por el marco y la ventana. Obtendremos una transmitancia general del hueco que nos permitirá conocer si esta dentro de los parámetros exigidos por el CTE.

$$U_H = F_m \cdot U_m + F_v \cdot U_v$$

- Factor de sombra (F_s):

Fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada, tales como: retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros. En el CTE establecen una serie de valores en función de las dimensiones del hueco.

- Factor solar modificado (F):

Fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por el efecto de obstáculos de fachada y las partes opacas del hueco. Se calcula a partir del factor de sombra del hueco (F_s), el factor solar de la parte semitransparente del hueco (g^\perp), la absortividad de la parte opaca (α) (normalmente el marco), su transmitancia térmica (U_m), y la fracción de la parte opaca (F_m), según la siguiente expresión.

$$F = F_s \cdot [(1 - F_m) \cdot g^\perp + F_m \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

En la siguiente imagen podemos observar cómo se relaciona cada parámetro con los elementos de la ventana:

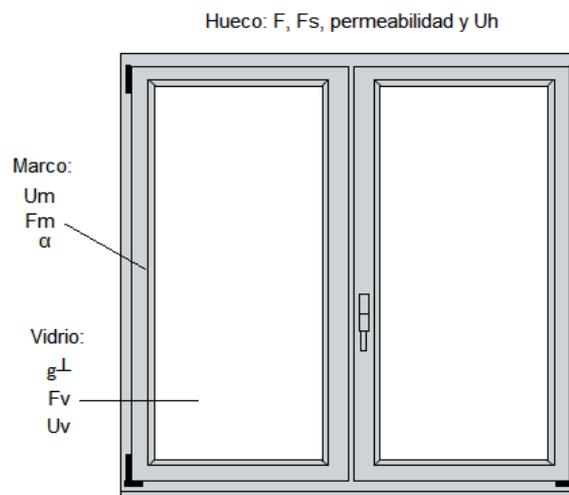


Figura 21. Parámetros de la ventana

6. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

6.1. Fuentes de contaminación

La calidad del aire en una vivienda es muy importante, el aire dispone de unas propiedades que pueden verse alteradas por distintas causas, pueden ser muy distintas y pueden variar mucho en función del tipo de vivienda. Los distintos estudios realizados hasta la fecha establecen las siguientes fuentes como las principales causas de la contaminación del aire en viviendas:

- Número de personas (fumadores o no fumadores)
- Frecuencia de limpieza personal
- Tipo de actividad desarrollada
- El volumen del espacio interior
- Calidad del aire exterior
- Emisiones volátiles provenientes de materiales y mobiliario

Algunas de estas fuentes no se pueden medir de una forma eficaz pero se conocen algunos valores de referencia que sirven para poder establecer el nivel de contaminación. De otras se sabe además cual ha sido su evolución en los últimos años. Es el caso de la contaminación aromática debida a los materiales que forman la vivienda y el mobiliario, que en la actualidad se rigen por normas más estrictas que han reducido las emisiones volátiles de aglomerados, colas, barnices y pinturas. El uso del agua como disolvente de pinturas, barnices y en general el uso de productos ecológicos puede disminuir aún más este tipo de contaminación ambiental.

La contaminación principal, proviene de las personas y de su actividad. Depende del número de ocupantes, del tiempo que permanecen en la vivienda, del tipo de actividad, de la higiene personal, del grado de limpieza e incluso de la época del año.

En cualquier caso, en una vivienda, a diferencia de lo que sucede en oficinas y en espacios públicos en los que el régimen de uso, la contaminación y la renovación de aire necesaria son previsibles, la oscilación entre la contaminación ambiental mínima y máxima puede llegar a ser muy grande en términos de confort ambiental.

Todas estas fuentes contaminantes conllevan a que se tenga que renovar el aire del interior de la vivienda, por este motivo será tan importante el concepto de “renovación hora” y “aire fresco mínimo”.

6.2. Relación entre renovación y calidad del aire

La renovación de aire tiene por objetivo barrer, o diluir suficientemente, los contaminantes aéreos para incrementar la calidad del aire. Para un nivel de contaminación ambiental determinado, si se renueva poco disminuye el confort; si se renueva en exceso y no se dispone de recuperadores térmicos, en invierno y en verano aumenta la demanda de calor o de frío. La solución de renovación idónea es aquella que la modula en función del nivel de contaminación real que se produce en cada momento.

El nivel de contaminación ambiental en una vivienda puede variar en un rango muy amplio, aproximadamente de uno a sesenta: una vivienda puede estar ocupada por una única persona y requerir una renovación de aire realmente mínima, o en el extremo opuesto, puede acoger una fiesta numerosa con fumadores y necesitar una renovación hasta sesenta veces superior durante un corto periodo de tiempo.

El CTE no considera estas variaciones y establece un caudal permanente y constante. Es un valor superior al necesario en muchas ocasiones, lo que aumenta inútilmente la carga térmica asociada por entrada de aire frío en invierno y caliente en verano. A partir de este punto podemos diferenciar tres formas distintas para establecer la renovación del aire:

1. Por aproximación a las condiciones de vida usuales de cada vivienda.

Puede establecerse, de forma rápida, adecuando la formulación del CTE al número de personas y a su permanencia real. Si examinamos la formulación que da el CTE en la sección HS 3, vemos que determina una exigencia mínima que no es tal, ya que prevé una ocupación de la vivienda igual al número de camas posibles, cuando la realidad es que la vivienda puede estar ocupada, en muchos casos, por un número menor de personas y su permanencia no superar en mucho las 12 horas al día.

Teniendo en cuenta las exigencias mínimas del CTE, las renovaciones necesarias oscilan entre valores mínimos comprendidos entre 0,15 y 0,33 volúmenes hora, en función de que el número de ocupantes sean 1 o 5, si se establece una permanencia entorno a las 12 horas / día para una calidad del aire aceptable. En el extremo opuesto se requerirán entre 0,76 y 1, 55 renovaciones hora, si manteniendo el mismo número de ocupantes y permanencia, se pretende alcanzar una calidad de aire buena.

2. El olfato de los propios usuarios:

Tal como entiende el RITE al referirse al sistema olfativo para definir la calidad del aire, debe ser considerado como una sonda natural de gran eficacia. Se trata de la forma tradicional, directa y personal, de evaluar la calidad del aire de una vivienda, que no debe ser menospreciada, especialmente si se considera el principio de subsidiariedad: en ausencia de contaminantes inodoros o dañinos, y dado que la apreciación olfativa es subjetiva, serán los propios interesados los que mejor podrán valorar la calidad del aire de sus viviendas e inducir la renovación.

Si al olfato de los usuarios se une la información comparada que puede proporcionárseles, y se tiene en cuenta que los ocupantes son los únicos que tienen conocimiento de las circunstancias precisas que se dan en cada momento en la vivienda, como pueden ser el número de personas, la presencia de enfermos, la temperatura exterior o el coste energético asociado a la renovación, cabe concluir que su criterio debe considerarse válido.

3. Mediante sondas de gases para detectar la contaminación del aire:

Básicamente para detectar compuestos orgánicos volátiles, anhídrido carbónico y vapor de agua, y que, de acuerdo a un programa, de forma automática modulen la renovación necesaria. Se trata de la solución técnica para adecuar la renovación a la contaminación real de una vivienda sin requerir la voluntad de los ocupantes.

6.3. Sistemas de renovación del aire

1. Opción detallada por el CTE

Solución de caudal constante, que cubre diversas situaciones, con entrada de aire directa mediante aireadores en fachada y salida por conductos verticales de extracción.

Se trata de una solución basada en un criterio discutible: las necesidades de renovación pueden ser tan variadas que conviene asegurar un caudal entre bajo y medio, fijo y continuo, que cubra las situaciones más usuales sin que tenga que intervenir la voluntad de los ocupantes.

Los inconvenientes son:

El caudal fijo y permanente de aire que penetrará será frecuentemente excesivo. En invierno ese aire puede estar a menos de cero grados, producir corrientes desagradables e incrementar el consumo energético de calefacción hasta doblarlo respecto al de una vivienda que no disponga del sistema que exige el CTE. En verano, durante el día el efecto contrario producirá asimismo un incremento de la demanda de frío.

Por otra parte, si el aire exterior está más contaminado que el interior, caso frecuente en las viviendas de plantas inferiores situadas en calles con mucho tráfico, la entrada de aire directa por fachada prácticamente impide la realización de un filtrado adecuado.

2. Opciones mecánicas de caudal variable

Pueden disponer de una renovación mínima y la regulación puede ser manual o automática. Opción con un número considerable de soluciones. Desde aquellas que mediante la modulación manual evitan algunos de los inconvenientes del sistema que indica el CTE, hasta las más complejas basadas en automatismos, sondas de calidad, recuperadores de calor, motores de frecuencia variable auto regulables, compuertas automáticas, doble conducto comunitario de entrada y salida, filtrado de aire y ventilación nocturna o free cooling.

Las soluciones mecánicas más sofisticadas tienen la ventaja de su automatismo, que, salvo en situaciones excepcionales, no requiere el control directo de los usuarios, y asimismo, la de ajustar al mínimo el coste energético de la renovación. Adquieren pleno sentido cuando forman parte de un sistema de climatización integral y comunitaria.

Cuando, por el contrario, se plantean como un sistema exclusivamente destinado a la renovación de aire, el costo directo y el indirecto, por ejemplo, el requerir falso techo en todas las dependencias de la vivienda, la hacen económicamente inconveniente. Las opciones mecánicas más simples, básicamente la modulación manual, no suponen un incremento apreciable del coste de ejecución y aunque su operatividad es muy discutible, limitan los inconvenientes más graves de la opción del CTE actual.

3. Opción mediante ventanas.

La ventilación voluntaria por medio de las ventanas es una solución que el CTE debería reconsiderar. El simple hecho de ser accionable a voluntad, y permitir, por tanto, adaptar la renovación a circunstancias muy diversas la hace versátil y adaptable a múltiples circunstancias. A favor de esta ventilación juegan tanto el clima benigno como las costumbres sociales, circunstancias que, al contrario que en climas de inviernos fríos, hacen que sea una solución práctica y culturalmente aceptada.

Usando la ventilación mediante ventanas no tiene sentido hablar de un cierto número de renovaciones hora, lo que no significa que la renovación sea menos efectiva.

Si observamos que sucede en invierno, en que las ventilaciones por las ventanas son más problemáticas, vemos que debido a que la temperatura interior de una vivienda es más elevada que la exterior, es suficiente abrir las ventanas pocos minutos para que se produzcan corrientes de convección que renueven el aire. En otras épocas del año el clima y las costumbres sociales facilitan la ventilación espontánea.

Como complemento a esta ventilación, hay que tener en cuenta que en la mayor parte de viviendas, existe una cierta renovación, que depende de la menor o mayor estanqueidad al aire de la carpintería, de las aberturas obligatorias cuando hay instalación de gas y de las chimeneas de ventilación existentes, como son las del extractor de cocina y, en su caso, las de baños.

6.4. Elección del sistema de ventilación

La elección correcta debe tener en cuenta el sistema de climatización, la capacidad de adaptación del sistema a situaciones diversas y el coste de la instalación. El uso de las ventanas tiene la ventaja, que el CTE y algunas otras normativas europeas consideran inconveniente, de dejar en manos de los propios usuarios el control de la ventilación para el confort ambiental.

Los sistemas mecánicos complejos, si están bien proyectados, aprovechan mejor la energía sin exigir la intervención de los usuarios. Ambos deben ser considerados aceptables. Las soluciones no aceptables son aquellas que imponen caudales fijos no mínimos, sin disponer de recuperadores de calor, o que pueden desequilibrarse fácilmente.

En las viviendas con climatización comunitaria de frío y calor y distribución final interior por aire, los sistemas complejos de ventilación mecánica forman parte del sistema de clima y son la solución de referencia.

En las viviendas de presupuesto limitado, con calefacción convencional, incluso si disponen de refrigeración individual proporcionada por pequeños equipos, la ventilación mediante las ventanas es la solución ideal. La alternativa más costosa es la renovación mecánica, siempre que sea modulable y automática. El sistema, para ser efectivo, requiere un proyecto específico.

Con independencia del sistema de ventilación debe asegurarse una renovación que cubra las condiciones de salud, de rango inferior en cuanto a caudal, a las de confort. Esta renovación es mínima y queda plenamente cubierta con 0,1 renovaciones hora, con las aberturas y chimeneas usuales, o con la abertura ocasional de ventanas.

En conclusión, la mejor opción es la instalación de un sistema de ventilación mecánico con recuperador de calor y la apertura manual de las ventanas, el único inconveniente es que el primero requiere un proyecto realizado a medida y la segunda solución se deja en manos del usuario por lo que no siempre es efectivo. En este proyecto se analizarán las opciones del CTE, recuperador de calor y apertura de ventanas. De esta forma obtendremos resultados más concretos y veremos cómo afecta cada solución al consumo energético.

6.5. Conclusiones

El sistema de renovación de aire prescrito por el CTE proporciona un caudal fijo y continuo, y no tiene en cuenta las diversas condiciones que pueden aconsejar disminuir o aumentar dicho caudal. Por otra parte la renovación prescrita por el código tiene repercusiones importantes en la demanda de calefacción que se ve notablemente incrementada.

Si se comparan dos viviendas idénticas situadas en el entorno de Barcelona, sin tener en cuenta el aprovechamiento solar, una de ellas anterior al CTE y la otra con la renovación de aire que prescribe el código, resulta que esta última tiene un consumo de calefacción, causado por la entrada continua de aire frío, que dobla al de la primera.

Hay tres formas de determinar el nivel de concentración de contaminantes presente en una vivienda: mediante criterios comparados, mediante el olfato y mediante sondas. Cualquiera de los tres es suficientemente válido si, como es normal en una vivienda, no hay focos extraordinarios de contaminación, y los habituales se cubren mediante una renovación de aire mínima.

Los caudales adecuados para la renovación de aire no deben ser fijos. Deben variar en función de la actividad que se desarrolle en una vivienda. Los usuarios deben de disponer de información que les permita conocer la relación entre actividad y renovación.

La solución óptima en las viviendas carentes de climatización integral consiste en garantizar una renovación mínima, a efectos de salud, entorno a 0,1 renovaciones hora, lo que equivale a abrir las ventanas entre dos y tres veces al día cinco o diez minutos, y confiar a elementos automáticos, o a la voluntad de los usuarios, el incremento de esta renovación cuando por la actividad que se desarrolle en la vivienda resulte necesario.

La renovación de aire puede resolverse manualmente, usando las ventanas, o mediante sistemas modulables. Deben descartarse las soluciones de caudal fijo, como la que define el CTE, y aquellas que no sean capaces de responder adecuadamente a las exigencias variables de renovación de aire y de aprovechamiento energético.

El CTE ha restado a la ventana su papel básico en la renovación del aire de las viviendas, que ha sustituido por sistemas específicos energéticamente poco eficaces. Aunque los sistemas de renovación mecánica bien diseñados son adecuados, no es fácil cumplir esa condición ni afrontar su coste. Por otra parte, es bueno preservar el papel de la ventana en las rutinas de ventilación de las viviendas.

7. RECUPERADOR DE CALOR

7.1. Concepto

Los recuperadores de calor son aparatos de ventilación mecánica cuya función es extraer el aire viciado del interior de recintos, viviendas, oficinas, instalaciones comerciales, instalaciones deportivas, etc. y sustituirlo por aire limpio impulsado del exterior, aprovechando la temperatura y humedad del aire que extraemos de interior del local e intercambiarlas con el aire que impulsamos del exterior. En definitiva, nos beneficiamos de las propiedades térmicas del aire de extracción a la vez que ventilamos adecuadamente el local con aire nuevo.

En palabras más simples se podría definir como un sistema de renovación del aire interior pero que no solo extrae e impulsa el aire sino que aprovecha la temperatura del aire interior y de esta forma evita la aportación extra de energía para obtener una temperatura de confort.

Sistema de ventilación convencional:

A continuación podemos observar un sistema clásico de renovación del aire interior, donde simplemente se extrae el aire viciado del interior para sustituirlo por aire fresco del exterior mediante el sistema de impulsión. El problema de este sistema es que el aire exterior puede estar a una diferencia muy elevada de temperatura y entonces se tiene que obtener la temperatura de confort mediante la aportación de energía auxiliar y como consecuencia se produce un coste extra de energía.



Figura 22. Sistema ventilación convencional

Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor:

En un sistema de ventilación con recuperador de calor, el aire viciado (antes de ser expulsado) se hace pasar por un intercambiador de calor en el cual cede gran parte de su energía al aire fresco que introducimos. En este proceso de intercambio no hay mezcla entre el aire del exterior y el aire del interior, evitando así cualquier tipo de contaminación y la consecuente pérdida de calidad en el aire.

Aire viciado ► Intercambiador (cede energía calorífica) ► Sale al exterior

Aire exterior ► Intercambiador (absorbe energía calorífica) ► Entra en la vivienda

A continuación se muestra un esquema sobre el funcionamiento del intercambiador:

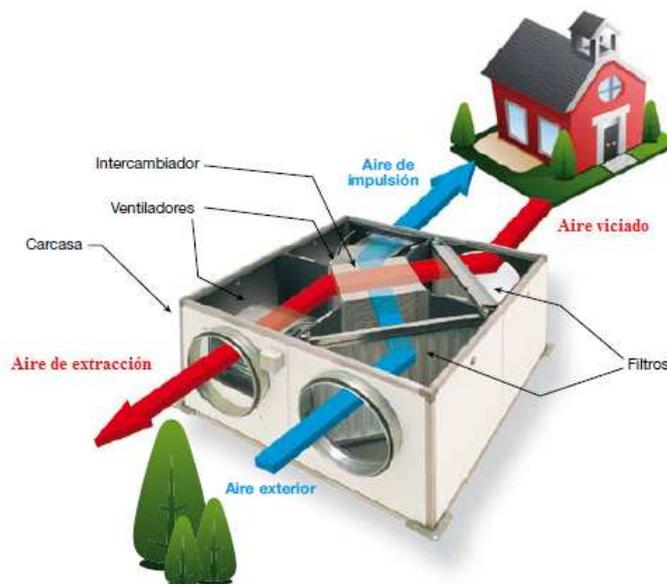


Figura 23. Esquema recuperador de calor

Podemos observar en la figura anterior como el aire viciado pasa por el intercambiador cediendo energía y luego sale hacia el exterior. Durante el mismo período el aire del exterior entra dentro del intercambiador y coge la energía cedida por el aire viciado, entonces entra al interior con una temperatura más cercana a la del aire viciado.

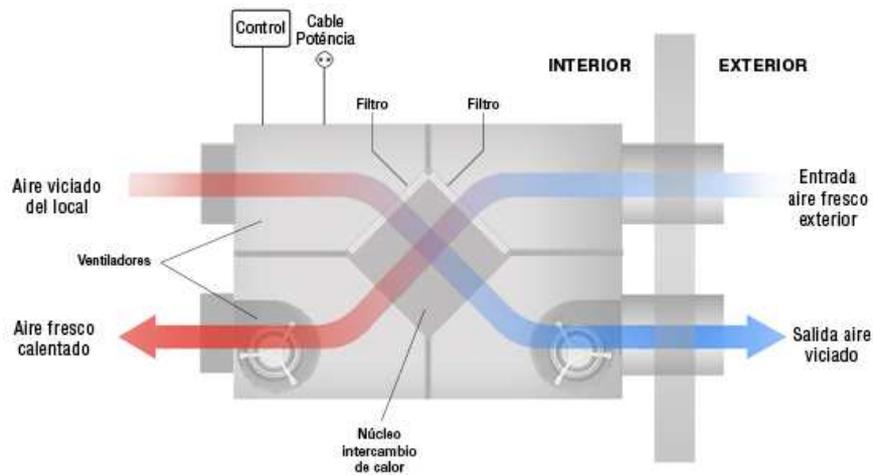


Figura 24. Esquema recuperador de calor 2

Ventajas:

- Óptima renovación del aire interior
- Confort y aire limpio
- Mejor control de la temperatura
- Ahorro energético
- Reducción de la contaminación acústica
- Protección del medio ambiente

Al mismo tiempo son un medio excelente de ventilación mecánica controlada en viviendas, donde permiten extraer el aire, recuperando el calor (o frío) del aire saliente. Esto supone un importante ahorro energético permitiendo así la instalación de aparatos de climatización de menor capacidad y consumo.

Tanto el intercambiador como los ventiladores son las partes más importantes que componen un recuperador de calor. Las características técnicas de los ventiladores necesarios en cada instalación se calculan en función del volumen de aire a mover y el número de renovaciones necesarias.

El rendimiento del recuperador de calor también irá en función del tipo de ventiladores que lleve:

- Ventiladores centrífugos de baja presión de doble oído
- Ventiladores centrífugos de baja presión de doble oído con motor de rotor externo.
- Ventiladores centrífugos a acción de presión media de doble oído a transmisión
- Moto turbinas con palas hacia atrás de alto rendimiento
- Moto turbinas EC con palas hacia atrás de alto rendimiento (más eficaces).

7.2. Rendimiento en función del sentido del flujo.

El sentido del flujo se define en función de las geometrías del intercambiador, a continuación se muestran las diferencias de rendimiento entre los dos tipos de flujo, estos datos han sido tomados del fabricante Zehnder Group Ibérica IC.

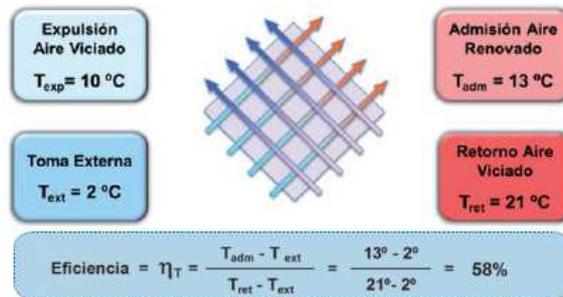


Figura 25. Rendimiento flujo cruzado

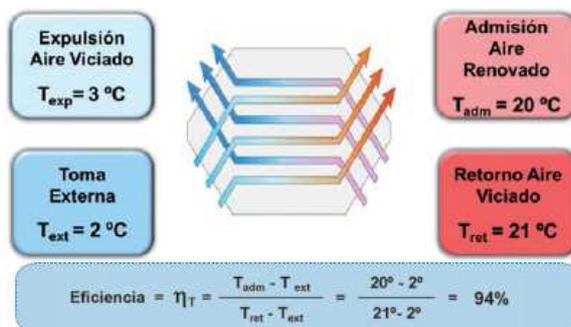


Figura 26. Rendimiento flujo contracorriente

A continuación se muestra una tabla resumen de la comparación:

η_t	Toma Externa	Expulsión Aire Viciado	Admisión Aire Renovado	Retorno Aire Viciado	Δt renovación
%	T_{ext} [°C]	T_{exp} [°C]	T_{adm} [°C]	T_{ret} [°C]	$T_{ret} - T_{adm}$ [K]
94%	2	3	20	21	1
58%	2	10	13	21	8

Figura 27. Rendimiento flujo contracorriente

Mediante las figuras anteriores podemos observar las diferencias entre el rendimiento del intercambiador con un flujo a contracorriente y con un flujo cruzado. Se observa claramente que con el flujo cruzado obtenemos un rendimiento muy superior y además la temperatura del aire renovado es muy superior, 20°C para el de contracorriente y 13°C para el de flujo cruzado. Este nos muestra que con un recuperador de flujo a contracorriente se requiere menos aporte energético para mantener el confort.

Otro dato muy importante es el diferencial de temperaturas entre el aire viciado que expulsamos de la vivienda y el aire renovado que introducimos, en caso del flujo cruzado tenemos una diferencia de 8°C que tendríamos que compensar con aporte energético auxiliar. Para el recuperador de flujo a contracorriente la diferencia es de 1°C por este motivo prácticamente no requiere aporte energético auxiliar.

Estos datos son simplemente una referencia de cómo trabajan los intercambiadores de calor aire-aire en una vivienda, a partir de esta información realizaremos todas las simulaciones pertinentes para poder conocer con más profundidad los beneficios de estos sistemas.

8. NORMATIVA

El Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la disposición final segunda de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, en adelante LOE.

Teniendo en cuenta el contexto de este proyecto el CTE establece las exigencias básicas de la utilización de acristalamientos en los siguientes documentos, es decir, en los documentos que se nombran a continuación se definen todos los parámetros básicos para poder diseñar de forma correcta nuestros acristalamientos.

Documentos del CTE a tener en cuenta:

- DB HE Ahorro de energía (HE-1)

- DB HS Salubridad (HS-1 y HS-3)

Mediante los criterios establecidos en el CTE se obtendrán los requisitos mínimos para cumplir la ley establecida, en el caso del documento del ahorro energético la última modificación data del septiembre del 2013. Esta reciente modificación permite tener una normativa adecuada a la actualidad y a la nueva visión de los cerramientos acristalados que se tiene hoy día. Además corrige algunos errores anteriores y tienen más exigencias sobre la eficiencia energética de las ventanas.

La normativa UNE es una legislación a nivel europeo, esta normativa regula la fabricación y establece distintos ensayos para la comprobación del perfecto funcionamiento de las ventanas. Al mismo tiempo nos sirve para poder calcular parámetros de las ventanas que están limitados en el CTE.

En este proyecto no se pretende realizar la fabricación de las ventanas, el objetivo consiste en conocer sus propiedades y poder realizar una correcta elección en base a

distintos criterios. Por este motivo solo nombrare las normativas que me sirvan de referencia para interpretar mejor el CTE y no tendré en cuenta las normativas que me definan la realización de los ensayos para determinar sus propiedades.

- UNE-EN ISO 10077-1:2010 y 10077-2:2008 Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas – Cálculo del coeficiente de transmisión térmica.
- UNE-EN 12207:2000 Puertas y ventanas - Permeabilidad al aire – Clasificación
- UNE-EN 12208:2000 Puertas y ventanas - Estanquidad al agua – Clasificación

8.1. Código Técnico de la edificación (CTE)

En este apartado se interpreta la normativa del CTE dirigida a los acristalamientos. La interpretación se realizará en base a las características establecidas en este proyecto y todos los parámetros introducidos para las simulaciones

Parámetros previos:

- Edificio de nueva construcción
- Superficie útil de 40 m² (6'5 m x 6'5 m)
- Ubicación: Barcelona y Oviedo
- Uso residencial y zona de salón-comedor
- Espacio habitable
- Altura de una sola planta

8.1.1. Documento básico HE – 1: Limitación de la demanda energética

Zona climática:

En el apéndice B del CTE concretamente en la tabla B.1 (zonas climáticas de la Península Ibérica) se especifica la zona climática en función de cada ubicación, por lo tanto:

Barcelona: zona C2 (donde C es zona invierno y 2 zona verano)

Oviedo (h>550m): zona E1

Clima de referencia:

La Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, del Ministerio de Fomento, publicará en formato informático los datos que definen el clima de referencia de cada zona climática, que establece las condiciones exteriores de cálculo.

El clima de referencia define las solicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar...), representativos de una zona climática.

Los datos climáticos correspondientes a los climas de referencia se publican en formato .MET. Este formato se estructura en líneas de texto con campos separados por espacios y su organización es la siguiente:

1. Primera línea con una cadena de texto identificativa del archivo de datos.
2. Segunda línea con datos de: latitud, longitud, altitud y longitud de referencia para el cálculo de la hora oficial.

3. Siguen 8760 líneas con datos horarios formados por los campos siguientes:

- | | |
|---|--|
| a) Mes (1 a 12) | b) Día (1 a 31) |
| c) Hora (1 a 24) | d) Temperatura seca (°C) |
| e) Temperatura efectiva del cielo (°C) | f) Irradiación solar directa (W/m ²) |
| g) Irradiación solar difusa (W/m ²) | h) Humedad específica |
| i) Humedad relativa (%) | j) Velocidad del viento (m/s) |
| k) Dirección del | l) Azimut solar (grados) |

En nuestro caso, todos los datos referentes al clima están definidos dentro del software informático Design Builder, de esta forma nos aseguramos que cuando se realicen las simulaciones se tengan en cuenta las peculiaridades de cada clima, teniendo en cuenta que este aspecto es fundamental en nuestro proyecto.

Orientación:

Para la orientación utilizaremos valores de 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 y 315 grados. En función de la orientación que escojamos tendremos unas limitaciones u otras.

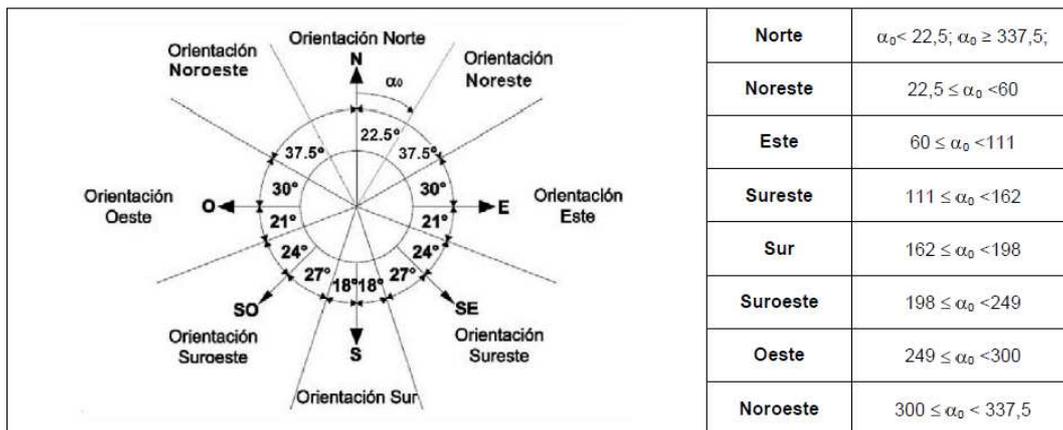


Figura 28. Orientación del DB HE-1 Apéndice B figura A.1

Demandas límite de calefacción y refrigeración:

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$ [Kw·h/m ² ·año]	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

Tabla 4. Tabla 2.1 del DB HE-1

Con las siguientes fórmulas obtenemos la demanda de calefacción:

$$D_{cal, lim} = D_{cal, base} + F_{cal, sup} / Superficie$$

$$\text{Barcelona} \quad D_{cal, lim} = 20 + \frac{1000}{40m^2} = 45 \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot K}$$

$$\text{Oviedo} \quad D_{cal, lim} = 40 + \frac{3000}{40m^2} = 115 \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot K}$$

Para las zonas climáticas de verano 1, 2, 3 el valor límite de refrigeración equivale a $D_{ref,lim} = 15 \text{ Kw} \cdot \text{h/m}^2$ y para la zona 4 equivale a $D_{ref,lim} = 20 \text{ Kw} \cdot \text{h/m}^2$. Entonces se obtiene lo siguiente:

$$\text{Barcelona} \quad D_{ref, lim} = 15 \text{ Kw} \cdot \text{h/m}^2$$

$$\text{Oviedo} \quad D_{ref, lim} = 15 \text{ Kw} \cdot \text{h/m}^2$$

Mediante la siguiente fórmula obtenemos el valor de la demanda general:

$$D_G = D_{cal, lim} + 0,7 \cdot D_{ref, lim}$$

$$\text{Barcelona} \quad D_G = 45 + 0,7 \cdot 15 = 55,5 \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot K}$$

$$\text{Oviedo} \quad D_G = 115 + 0,7 \cdot 15 = 125,5 \frac{Kw \cdot h}{m^2 \cdot K}$$

Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los distintos elementos:

Tabla 2.3 Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² •K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² •K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² •K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h•m ²]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

Tabla 5. Tabla 2.3 del DB HE-1

Esta tabla me limita los valores máximos de cada elemento de mi edificio. En el caso de la transmitancia esto significa que no se deben superar y en caso de la permeabilidad también me obliga a obtener valores inferiores a los de la tabla.

Tener en cuenta que son valores orientativos y que para realizar las simulaciones de la vivienda escogeremos los valores del edificio de referencia que establece el CTE.

Solicitaciones exteriores:

Las solicitaciones exteriores se definen en función de la Zona climática.
(Radiación solar, temperatura, clima)

Solicitaciones interiores:

Son las cargas térmicas generadas en el interior del edificio debido a los ocupantes, equipos e iluminación. En el apéndice C encontramos los distintos valores en función de los perfiles de uso, en nuestro caso el uso es residencial, por este motivo la densidad de las fuentes es baja y el periodo de utilización es de 24 horas.

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	-	-	-	-	-
Junio a Septiembre	27	-	-	25	27
Octubre a Diciembre	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	-	-	-	-	-
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano¹					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno²					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB

² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS.

Figura 29. Tabla C.1 del DB HE-1

Para realizar el cálculo de las cargas internas:

Simplemente escogeremos una carga interna media para poder tener una referencia en nuestras simulaciones, al no introducir equipos en el interior de la vivienda a simular no se realizará ningún cálculo previo para obtener la carga interna.

Tabla A.1 Carga interna en función de la densidad de las fuentes internas

Carga interna	Densidad de las fuentes internas, C_{FI} [W/m ²]
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	9 – 12
Muy alta	> 12

Tabla 6. Tabla A.1 del DB HE-1

Envolvente del edificio - Huecos:

- Deben considerarse las características geométricas de los huecos y el espacio al que pertenecen, al igual que las protecciones solares, sean fijas o móviles, y otros elementos que puedan producir sombras o disminuir la captación solar de los huecos.
- Para los huecos, es necesario definir la transmitancia térmica del vidrio y el marco, la superficie de ambos, el factor solar del vidrio y la absorptividad de la cara exterior del marco. En el caso de puertas cuya superficie semitransparente sea inferior al 50% es necesario considerar exclusivamente la transmitancia térmica y, cuando sea preciso, la absorptividad.
- Debe considerarse la permeabilidad al aire de los huecos para el conjunto marco vidrio incluyendo el efecto de aireadores de ventilación en su caso.
- Deben tenerse en cuenta las sombras que puedan arrojar los obstáculos de fachada, incluyendo retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales y cualquier otro elemento de control solar exterior que figure explícitamente en la memoria del proyecto y con efecto de sombra sobre los huecos.

Envolvente del edificio – Puentes térmicos:

Generan una disminución de la resistencia térmica del envolvente del edificio, esto nos puede generar grandes pérdidas de energía. Los puentes térmicos más comunes referentes a este proyecto son:

- a) Puentes térmicos integrados en los cerramientos
- b) Contorno de huecos y lucernarios
- c) Cajas de persianas

Por este motivo es necesario intentar evitar que se produzcan grandes variaciones en la uniformidad de la construcción. Ya sea por conductividad, variación del área, cambio de

espesor etc. Teniendo en cuenta que el proyecto se centra básicamente en los huecos, existen marcos de ventanas que disponen de la ruptura del puente térmico y de esta forma se soluciona el problema.

Edificio de referencia:

El DB HS-1 establece los valores de referencia límites para simular el edificio objeto. Estos valores son los mínimos que se debe de utilizar para realizar cualquier simulación donde se tengan que introducir datos respecto los cerramientos.

D.2.10 ZONA CLIMATICA C2										
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno										$U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos										$U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas										$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios										$F_{Lim}: 0,32$
% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	2,6	3,0	3,9	3,9	-	-	-	0,47	-	0,51
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38

Tabla 7. Tabla D.2.10 del DB HE-1

D.2.16 ZONA CLIMÁTICA E1										
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno										$U_{Mlim}: 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos										$U_{Slim}: 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas										$U_{Clim}: 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios										$F_{Lim}: 0,36$
% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6	3,0	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2	2,7	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0	2,4	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Tabla 8. Tabla D.2.16 del DB HE-1

A continuación se muestran los valores de referencia para los marcos de las ventanas:

	Tipos de marcos	U.max . Vertical (W/k·m ²)
PVC	2 cámaras	2,2
	3 cámaras	1,8
De Madera	Madera alta densidad	2
	Madera baja densidad	2,2
Metálicos	sin RTP	5,7
	con RTP 4-12 mm	4
	con RTP >12 mm	3,2

Tabla 9. Transmitancias marcos de ventanas

8.1.2. Documento básico HS – 1: Protección frente a la humedad

El proyecto se centra en los huecos acristalados por este motivo nos concierne el apartado donde se especifica la protección frente a la humedad de las ventanas. Cuando se refiere a las ventanas en este apartado del CTE quiere decir los marcos de estas, que es el elemento que puede generar problemas.

Grado de impermeabilidad en fachadas:

A continuación se muestra el proceso para conocer el grado de impermeabilidad:



Figura 2.5 Zonas eólicas

Figura 30. Zonas eólicas del DB HS-1

Por lo tanto nuestras zonas eólicas son:

Barcelona: zona C

Oviedo: zona C

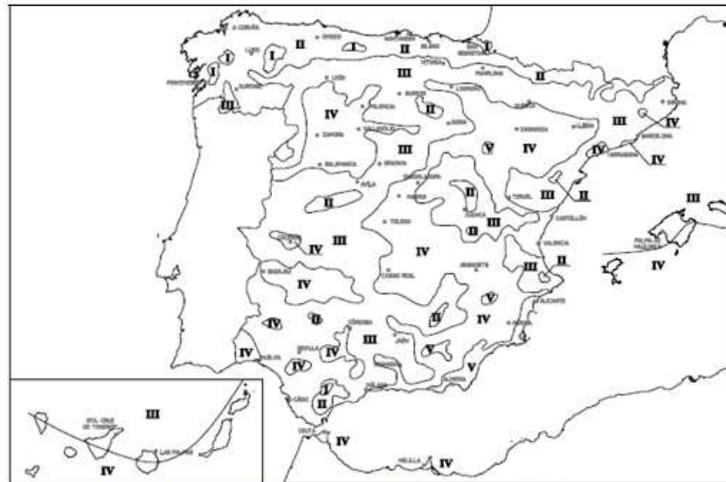


Figura 2.4 Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual

Figura 31. Zonas pluviométricas del DB HS-1

Por lo tanto nuestras zonas pluviométricas son:

Barcelona: zona IV

Oviedo: zona II

Tabla 2.6 Grado de exposición al viento

		Clase del entorno del edificio					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
Altura del edificio en m		A	B	C	A	B	C
≤15		V3	V3	V3	V2	V2	V2
16 - 40		V3	V2	V2	V2	V2	V1
41 - 100 ⁽¹⁾		V2	V2	V2	V1	V1	V1

⁽¹⁾ Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB-SE-AE.

Tabla 10. Grado exposición viento del DB HS-1

Por lo tanto nuestros grados de exposición al viento en entorno E1 (aislado) son:

Barcelona: grado V3

Oviedo: grado V3

Ahora mediante el grado de exposición y la zona pluviométrica de cada ubicación obtendremos el grado de impermeabilidad mínimo exigido en las fachadas:

Tabla 2.5 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas

		Zona pluviométrica de promedios				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

Tabla 11. Grado impermeabilidad del DB HS-1

Barcelona: grado 2

Oviedo: grado 4

Encuentro fachada con la carpintería:

- a) Teniendo en cuenta que nuestro grado de impermeabilidad no llega a 5, no se requiere colocar precerco.
- b) Tampoco es necesario una barrera impermeable en las jambas entre la hoja principal del muro y el precerco.
- c) Es imprescindible colocar un vierteaguas cuando la carpintería este retranqueada respecto la fachada. Este vierteaguas debe de tener un mínimo de 10° de inclinación, además debe de disponer de un goterón y salir 2 cm respecto la fachada. Para fijarlo de forma correcta a los laterales debe introducirse 2 cm como mínimo.

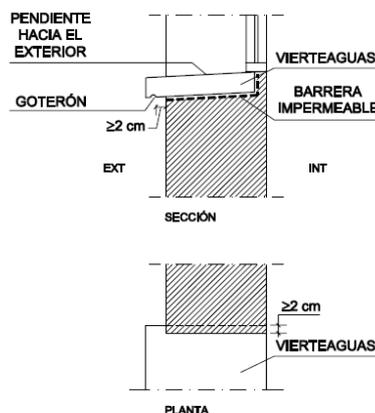


Figura 2.12 Ejemplo de vierteaguas

Figura 32. Esquema del vierteaguas del DB HS-1

8.1.3. Documento básico HS – 3: Calidad del aire interior

En este apartado se obtienen las condiciones mínimas de ventilación de mi edificio teniendo en cuenta que la simplificación de este se reducirá a una “caja”.

Dimensionado aberturas de ventilación:

Teniendo en cuenta que el uso del espacio será un comedor, la normativa establece que debe de disponer de aberturas de admisión, es decir, aberturas para que pueda entrar el aire exterior.

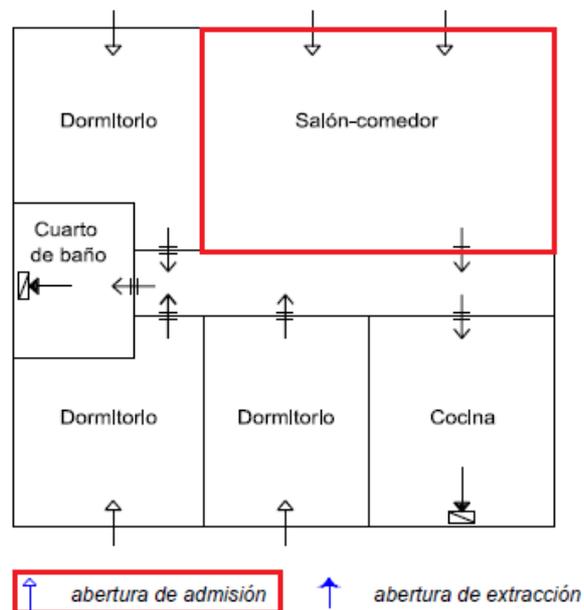


Figura 33. Apertura admisión del DB HS-3

Caudal de ventilación mínimo:

En función del tipo de uso y el número de ocupantes obtendremos el caudal mínimo de ventilación.

Tabla 2.1 Caudales de ventilación mínimos exigidos

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

⁽¹⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Tabla 12. caudal de ventilación mínimo del DB HS-3

Obtendremos el caudal q_v para un solo ocupante, entonces con la siguiente operación obtenemos el caudal total:

$$q_v = 3(l/s) \cdot 4 \text{ ocupantes} = 12(l/s)$$

Aperturas de ventilación:

Tabla 4.1 Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm²

Aberturas de ventilación	Aberturas de admisión	4· q_v ó 4· q_{va}
	Aberturas de extracción	4· q_v ó 4· q_{ve}
	Aberturas de paso	70 cm ² ó 8· q_{vp}
	Aberturas mixtas ⁽¹⁾	8· q_v

Tabla 13. aérea aperturas del DB HS-3

$$\text{Área total (cm}^2\text{)} = 4 \cdot q_v = 4 \cdot 12 = 48 \text{ cm}^2$$

Otras exigencias:

Las aperturas de admisión deben de cumplir:

- a) Se deben colocar mediante aireadores o aperturas fijas (UNE EN 12207:2000).
- b) No debe de entrar agua en el interior de la apertura.
- c) Es necesario que comuniquen directamente con el exterior.

Ventilación natural:

- a) Es imprescindible que en la vivienda existan ventanas practicables para poder realizar una correcta renovación del aire interior.
- b) La superficie de las ventanas debe de ser: $Sup. \text{ventanas} = \frac{1}{20} \cdot Sup. \text{comedor}$
Ejemplo: Superficie del comedor es de $40m^2$, la superficie de las ventanas será de $2m^2$.
- c) El mínimo de renovaciones por hora queda establecido en la Figura 29. (Tabla C.1 del DB HE-1).

9. PROGRAMA INFORMÁTICO

La simulación energética avanzada de edificios permite calcular el comportamiento del edificio a través de la evolución de las principales variables de clima, energía y habitabilidad, considerando todos los parámetros físicos que lo componen (forma y orientación, fachada, cerramiento, etc.).

La simulación permite también tener en cuenta aspectos como la ocupación, el tipo uso de cada espacio o los datos climáticos específicos del lugar. De esta forma podremos evaluar y optimizar múltiples aspectos constructivos como:

- .Los niveles de bienestar térmico (temperatura radiante, operativa) y bienestar lumínico (factor de luz diurna, riesgo de deslumbramiento...)
- El comportamiento de las características constructivas de la envolvente térmica del edificio (geometría, orientaciones, inercia térmica, aislamiento, acristalamiento, protecciones solares).
- Las instalaciones de climatización, iluminación, ACS, energías renovables, etc.
- El cumplimiento normativo y la certificación de eficiencia energética de los edificios.
- El aprovechamiento de la ventilación natural, la disposición de aperturas, el efecto chimenea, la ventilación cruzada, la iluminación artificial, la ventilación, la climatización, etc.

La simulación del comportamiento térmico del edificio es una forma muy importante de evaluación de proyectos y de verificación de distintas soluciones para un mismo proyecto. En conclusión, la utilización de un software informático para realizar las simulaciones necesarias de este proyecto es beneficiosa. Debido al ahorro de tiempo en los cálculos, facilidad para cambiar parámetros y la rapidez en obtener resultados.

En este proyecto se utilizará el software EnergyPlus, con la interface de DesignBuilder. De forma más vulgar podríamos decir que EnergyPlus será el cerebro y DesignBuilder el cuerpo. Se han encontrado investigaciones que determinan que este software es uno

de los más fiables actualmente. Es reconocido a nivel mundial y se actualiza constantemente. Las versiones utilizadas para la realización del proyecto serán la 4.0 para EnergyPlus y la 2.2.5 para DesignBuilder.

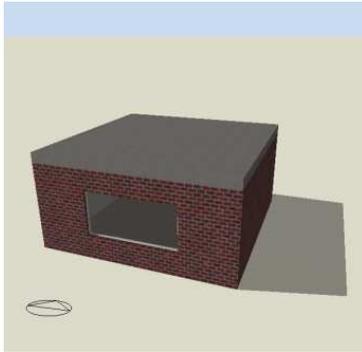


Figura 34. Edificio DesignBuilder



Figura 35. Gráfica DesignBuilder

El objetivo final de utilizar esta herramienta de cálculo informático es llevar a cabo simulaciones dinámicas del comportamiento térmico del edificio. Evaluando la influencia de los materiales de los acristalamientos teniendo en cuenta todos los parámetros que influyen en el. Llegados a este punto podremos comparar diferentes estrategias para las ventanas en distintos climas y observar su eficiencia energética.

También nos permitirá poder analizar los sistemas de ventilación y finalmente realizar todo tipo de comparaciones. Las simulaciones de podrán definir en distintos espacios de tiempo como: diario, semanal, mensual o simplemente todo el invierno/verano.

10. ANÁLISIS DE VENTANAS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Una vez definidas las normativas del CTE y los requisitos de la casa pasiva, realizaremos varias simulaciones en Barcelona y Oviedo para poder observar el comportamiento de los acristalamientos y sistemas de ventilación.

El espacio a simular consistirá en una casa de 40 m² con una sola habitación, un espacio con uso residencial y concretamente de salón-comedor. Analizaremos los elementos a estudiar (ventanas y ventilación) con la normativa del CTE y el mismo proceso se aplicará a los requisitos de casa pasiva. Posteriormente compararemos los valores obtenidos por cada “normativa” y obtendremos las conclusiones sobre cada simulación.

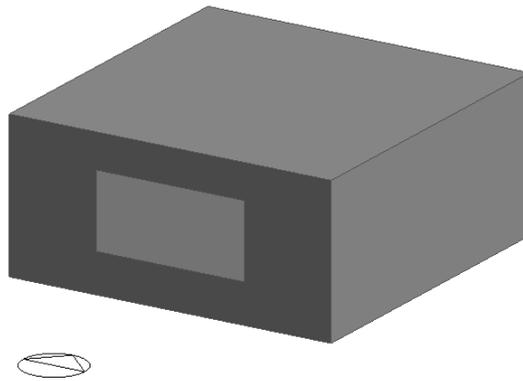


Figura 36. Edificio a simular

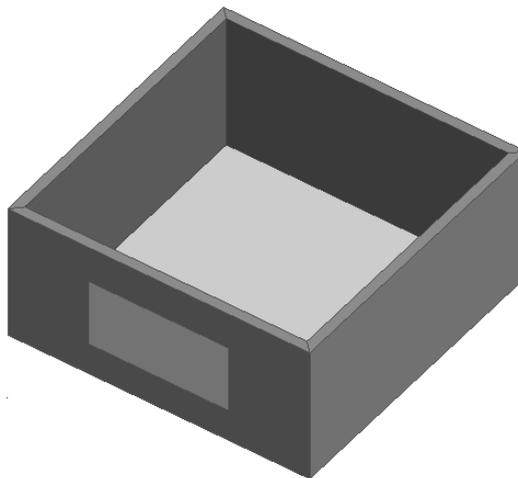


Figura 37. Edificio a simular 2

En el programa Design Builder se tienen que introducir todo tipo de datos, existen unos valores que se mantendrán fijos en todas las simulaciones y otros valores que variarán en función del tipo de estudio a realizar.

Para poder tener claro cuáles son las variables a modificar en las simulaciones a realizar, en primer lugar es importante definir todos aquellos datos que no se modificarán a lo largo de todo el proyecto.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros fijos más relevantes:

Datos fijos en las simulaciones	
Horarios de utilización	7:00 - 23:30
Densidad ocupación	0,02 pers/m ²
temperatura calefacción	22 °C
temperatura refrigeración	25°C
Aire fresco mínimo	3 l/persona
Consumo ACS	inexistente
Iluminación	inexistente
Carga interna	9 w/m ²
COP generación calor	0,62
COP generación frío	1,32
Funcionamiento calefacción	Gas natural
Funcionamiento refrigeración	Electricidad
Simulaciones diseño invierno	6-12 enero / 15-21 enero
Simulaciones diseño verano	29 julio -4 agosto
Simulaciones todo el invierno	1 octubre - 31 marzo
Ubicaciones	Barcelona y Oviedo
Dimensiones vivienda	6'5 x 6'5 m = 40m ²
Dimensiones ventana	3 X 1,5 m

Tabla 14. Parámetros fijos de las simulaciones

Todos los parámetros son elegidos de forma coherente o simplemente los facilita el programa, el único que es un requisito impuesto por el CTE es el caudal de aire fresco mínimo.

Teniendo en cuenta que la calidad del aire y el bienestar de los ocupantes es el objetivo más importante, se establece el aire fresco mínimo que nos obliga el CTE como un valor inamovible. De esta forma nos aseguramos que en el interior de la vivienda siempre exista la cantidad de aire fresco adecuada.

10.1 Estudio previo

Antes de realizar ninguna simulación, tendremos que conocer el efecto que producen las cámaras de aire en las ventanas con doble acristalamiento y también verificar los conocimientos que disponemos sobre la orientación de las viviendas en España.

10.1.1 Importancia de la cámara aislante en el doble acristalamiento.

Uno de los tipos de ventanas más utilizados en el proceso de la construcción es la unidad de vidrio aislante “UVA”, es decir, el doble acristalamiento. Son muy eficaces y combinados con vidrios de baja emisividad forman un conjunto muy eficiente para la reducción de pérdidas energéticas. Teniendo en cuenta la importancia del doble acristalamiento, uno de los principales puntos de estudio consistirá en conocer los efectos de la cámara aislante que se coloca entre un vidrio y el otro.

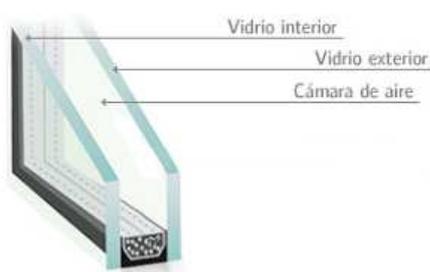


Figura 38. Cámara de gas en UVA



Figura 39. Doble acristalamiento (UVA)

El funcionamiento de la cámara de gas es bastante simple, se colocan dos vidrios en paralelo separados por una cámara de gas deshidratado sellada herméticamente. Una vez sellada la cámara se impedirá el paso de la humedad y suciedad al interior de esta. Su objetivo principal consiste en reducir la transferencia de calor entre el interior y exterior. Para que el doble acristalamiento funcione es importante que el gas del interior de la cámara tenga baja conductividad porque de esta manera reducirá la transferencia de calor por conducción y convección. Los gases más frecuentes utilizados para las cámaras de aire son aire y argón. El aire es el más utilizado con diferencia, debido a que un conjunto de doble vidrio no es estanco al 100% y el argón acaba desapareciendo.

Para poder determinar su importancia se realizarán distintas simulaciones con y sin cámara, pero primero es esencial tener conocimientos sobre qué efecto causa y cómo podemos variar sus propiedades. Para ello se estudiará el espesor y capacidad de aislamiento de esta cámara respecto vidrio convencional.

Cogeremos un vidrio sencillo monolítico y lo compararemos con un doble vidrio con cámara aislante de aire. Entonces podremos ver como varía la transmitancia del acristalamiento.

Tipo acristalamiento	número de capas	espesor vidrio (mm)	espesor cámara (mm)	U (W/m ² ·k)
monolítico	1	4	-	5,806
doble (UVA)	2	4	6	3,299
doble (UVA) low-e	2	4	6	2,377

Tabla 15. Comparación transmitancia vidrio sencillo y UVA

En la siguiente gráfica se observa de forma más clara como se reduce la pérdida de energía con la instalación de un doble acristalamiento y un vidrio bajo emisivo. Prácticamente se reduce más del 50% la transmitancia del vidrio.

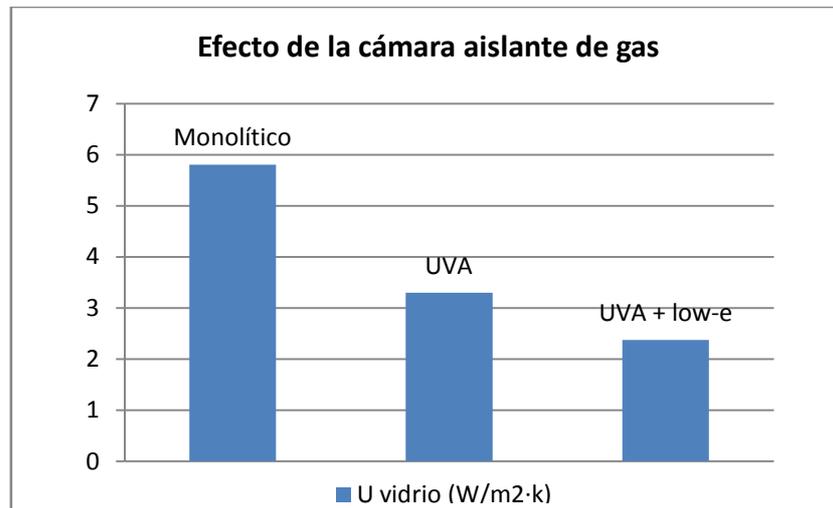


Figura 40. Efecto de la cámara aislante de gas

Espesor de la cámara

Se conoce que al aumentar el espesor de la cámara se reducen de forma considerable las pérdidas energéticas, es decir, la transmitancia del doble acristalamiento disminuye. Este factor es la principal ventaja de la cámara de gas pero es importante conocer cuando es beneficiosa y cuando resulta ser una desventaja.

Para poder tener más información respecto a la cámara aislante se realizarán simulaciones con distintos tipos de vidrios y con cada uno se modificara el espesor de la cámara. El objetivo consistirá en observar cómo cambian las propiedades aislantes a medida que aumenta el espesor de la cámara.

Simulaciones:

- Espesor de cámara: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 y 32 mm.
- Vidrio de 4 mm: doble sencillo y doble de baja emisividad (interior y exterior).
- Tipo de gas: aire.

Calcularemos la transmitancia de cada acristalamiento y comprobaremos como varía está en función del espesor de la cámara de aire.

Tipo ventana UVA	Tipo de Gas	Espesor cámara	Transmitancia acristalamiento
doble 4 mm	Aire	6	3,299
doble 4 mm	Aire	8	3,102
doble 4 mm	Aire	10	2,967
doble 4 mm	Aire	12	2,869
doble 4 mm	Aire	14	2,794
doble 4 mm	Aire	16	2,75
doble 4 mm	Aire	18	2,757
doble 4 mm	Aire	20	2,764
doble 4 mm	Aire	22	2,769
doble 4 mm	Aire	24	2,775
doble 4 mm	Aire	26	2,78
doble 4 mm	Aire	28	2,785
doble 4 mm	Aire	30	2,789
doble 4 mm	Aire	32	2,793

Tabla 16. Transmitancia en función del espesor de cámara con doble 4 mm

Tipo ventana UVA	Tipo de Gas	Espesor cámara	Transmitancia acristalamiento
doble 4 mm con low-e interior	Aire	6	2,377
doble 4 mm con low-e interior	Aire	8	2,273
doble 4 mm con low-e interior	Aire	10	2,199
doble 4 mm con low-e interior	Aire	12	2,145
doble 4 mm con low-e interior	Aire	14	2,103
doble 4 mm con low-e interior	Aire	16	2,078
doble 4 mm con low-e interior	Aire	18	2,082
doble 4 mm con low-e interior	Aire	20	2,086
doble 4 mm con low-e interior	Aire	22	2,089
doble 4 mm con low-e interior	Aire	24	2,092
doble 4 mm con low-e interior	Aire	26	2,095
doble 4 mm con low-e interior	Aire	28	2,097
doble 4 mm con low-e interior	Aire	30	2,1
doble 4 mm con low-e interior	Aire	32	2,102

Tabla 17. Transmitancia en función del espesor de cámara con low-e interior

Tipo ventana UVA	Tipo de Gas	Espesor cámara	Transmitancia acristalamiento
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	6	2,56
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	8	2,212
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	10	1,963
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	12	1,776
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	14	1,63
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	16	1,542
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	18	1,557
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	20	1,569
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	22	1,581
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	24	1,592
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	26	1,602
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	28	1,611
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	30	1,62
doble 4 mm con low-e exterior	Aire	32	1,628

Tabla 18. Transmitancia en función del espesor de cámara con low-e exterior

A partir de las tres tablas anteriores podemos realizar la siguiente gráfica:

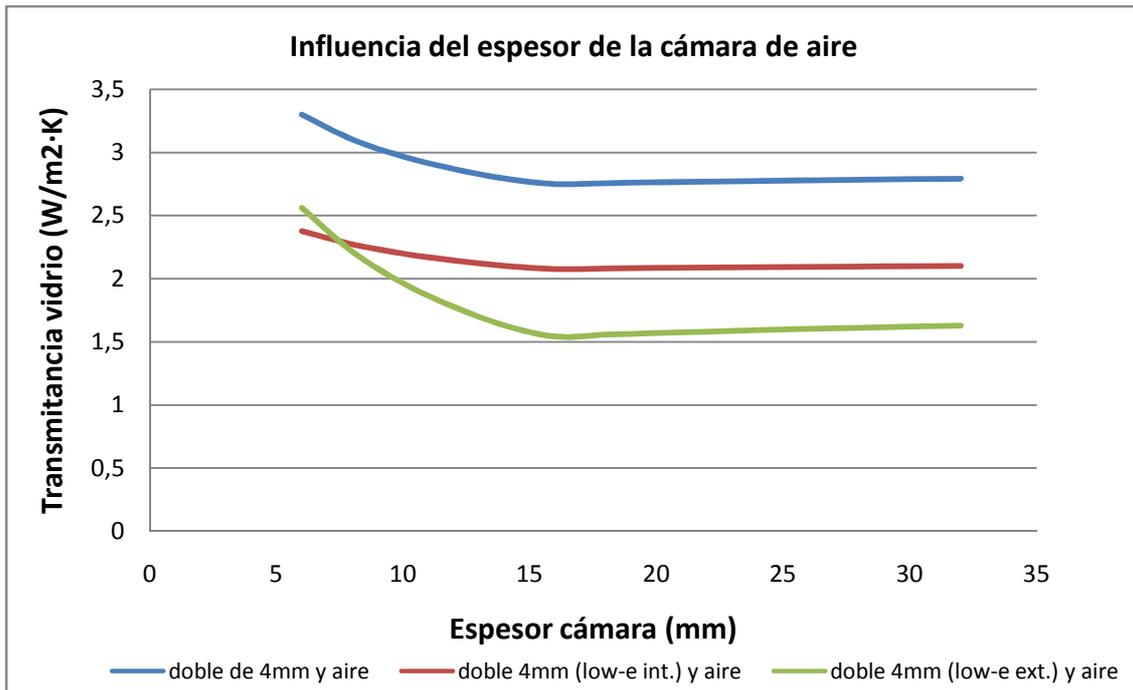


Figura 41. Influencia del espesor de la cámara de aire

- Desde el principio observamos que los valores de transmitancia obtenidos con un sistema de doble acristalamiento son notablemente inferiores a los valores de un vidrio sencillo. Obtenemos una transmitancia máxima inferior a $3,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ mientras que el valor medio de un vidrio sencillo es de $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Si vemos el recorrido que realiza cada línea de la grafica, observamos que con el aumento del espesor de la cámara de aire, la transmitancia del acristalamiento se reduce. Entonces podemos afirmar que cuanto mayor sea el espesor de cámara mejor.
- La conclusión anterior se cumple siempre y cuando nos encontremos en intervalos de 6 a 16 mm. Si superamos este rango de espesor de cámara entonces observamos como la transmitancia no se reduce, sino que se mantiene constante. En algunos casos el valor de la transmitancia puede llegar a aumentar levemente si se excede de los 16 mm de espesor.

El motivo por el cual no podemos superar los 16 mm de espesor de la cámara de aire es el siguiente: Si se coloca una cámara de aire superior a 16 mm se generan en el interior de esta unas corrientes de aire que facilitan la transmisión energética y como resultado aumenta la transmitancia del acristalamiento. En otros estudios afirman que el valor oscila entre 15 y 18 mm, podría ser válido pero en las simulaciones realizadas para este proyecto queda bastante claro que el valor máximo sería de 16 mm.

10.1.2 Influencia de la orientación solar.

Uno de los principales factores que afectan a la eficiencia energética en el proceso de la edificación, es la correcta orientación de la vivienda. Teniendo en cuenta que no todas las fachadas pueden estar orientadas en la misma dirección, se tiene que definir que fachada es la más importante (mayor número de ventanas o estancia con más uso) y de esta forma orientarla hacia la dirección que nos proporcione mayor ganancia solar.

La ganancia solar define la cantidad de energía recibida por el sol, en invierno tiene una importancia muy elevada debido a que una correcta orientación nos supone un elevado ahorro energético. Por otra parte si se dispone de una ganancia solar muy elevada en verano puede requerir un consumo excesivo del sistema de refrigeración.

Existen estudios que certifican que las orientaciones Sur o Este de las fachadas principales son las más adecuadas para el ahorro energético. Esto es debido a que reciben más horas de sol a lo largo del día y como resultado una mayor ganancia solar. Esta conclusión no quiere decir que no podamos ubicar ventanas en fachadas orientadas al norte, pero si queremos tener una vivienda con cierta eficiencia energética, tendremos que ubicar el mayor número posible de ventanas en las fachadas con mayor ganancia solar. Si no fuese posible se tiene que compensar esta falta de ganancia solar mejorando el aislamiento y de esta forma aprovechar la poca energía solar recibida.

A continuación se muestran dos imágenes de la orientación solar en invierno y en verano:

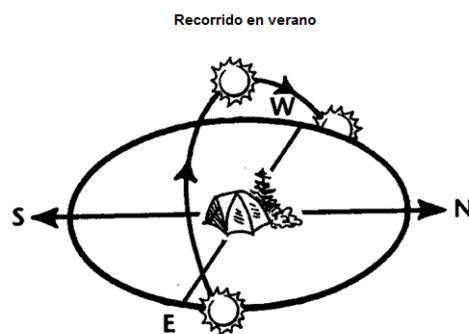
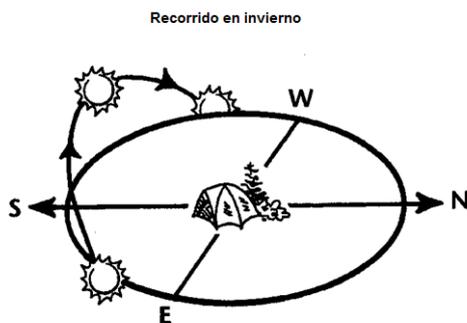


Figura 42. Orientación solar invierno

Figura 43. Orientación solar verano

Valores de ganancia solar en función de la Orientación:

EL CTE establece un intervalo de grados para cada orientación. Para realizar las simulaciones escogeremos los ángulos que aparecen en la siguiente tabla.

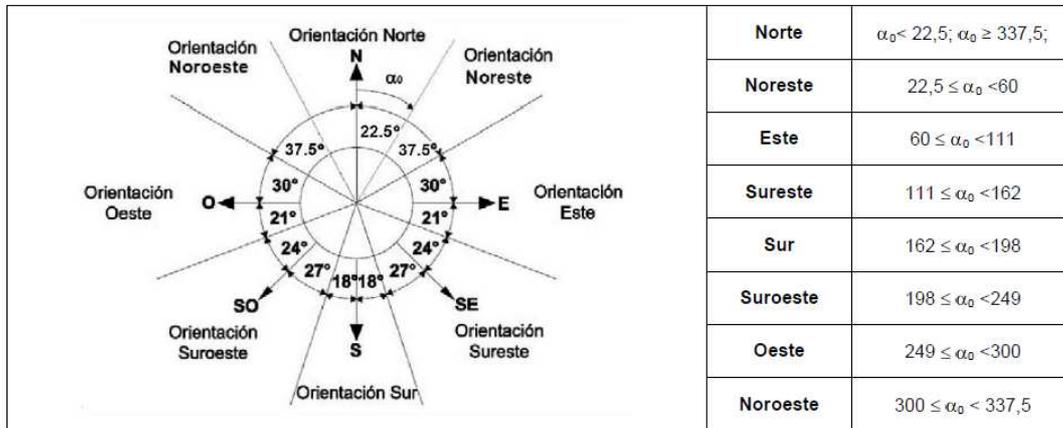


Figura 44. Grados orientación del DB HE-1 Apéndice B figura A.1

Para disponer de más información sobre los estudios previos sobre la orientación de las ventanas se realizarán simulaciones en las 2 ubicaciones (Barcelona y Oviedo). Para ello se simulará una ventana en todas las orientaciones posibles y se evaluará el valor de ganancia solar. Mediante este proceso podremos obtener una idea muy aproximada de que orientación produce una mayor ganancia solar, lo que se traducirá en un ahorro energético.

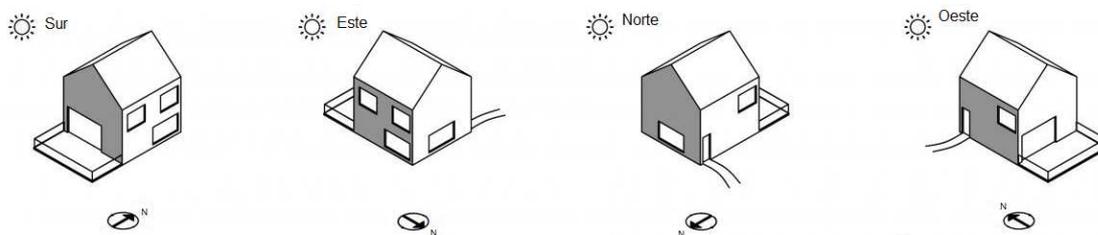


Figura 45. Orientación de fachadas

La simulación se realizará en las siguientes condiciones:

- Semana típica de invierno (del 6 hasta el 12 de enero).
- Marco de aluminio con RPT (valor del CTE).
- Vidrio doble capa de 3 mm de grosor con 12 mm de aire (3-12-3).
- Variación de la orientación en función de la ubicación (0°,45°,90°...).
- Obtención de la ganancia solar semanal en Kwh.
- 2 ubicaciones distintas

Se realizará la simulación en un período invernal debido a que las exigencias de las ventanas son más elevadas y la ganancia solar en invierno toma mayor importancia. El objetivo de estas simulaciones consiste en determinar que orientación obtiene más energía solar, por este motivo se comparan resultados a lo largo de una semana.

De esta forma se tienen en cuenta la cantidad de horas de sol, porque en determinadas ocasiones importa más tener incidencia solar baja durante muchas horas, que una incidencia solar muy elevada durante un breve período.

Resulta muy importante tener en cuenta que estas simulaciones son genéricas, debido a que en la realidad cada edificio es un mundo distinto. Existen infinidad de elementos y factores que pueden hacer variar la ganancia solar, por ejemplo, si en una fachada incide la sombra de otro edificio, si hay árboles delante de la fachada o simplemente si se colocan elementos que impidan aprovechar la ganancia solar. Por este motivo este estudio simplemente nos servirá de guía para determinar en qué orientaciones hay más exigencias para nuestras ventanas.

Simulación en Barcelona:

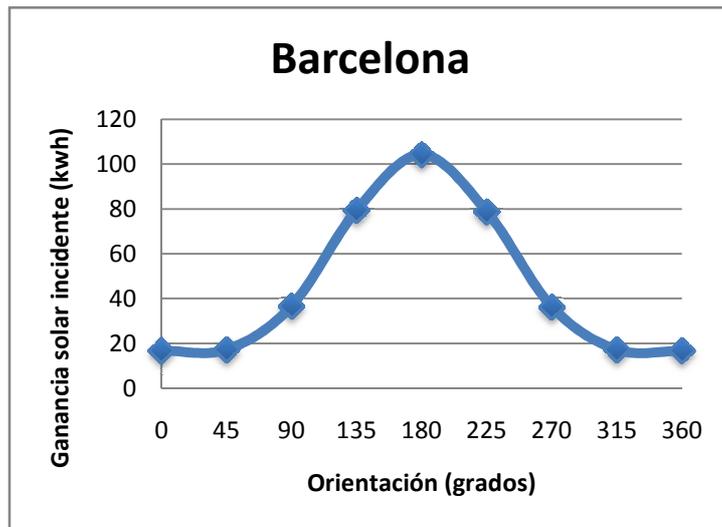


Figura 46. Gráfica de ganancia solar en Barcelona

La mayor ganancia solar se produce en la posición de 180°, concretamente la orientación Sur. Por otra parte en las orientaciones de 135 y 225 grados también se obtienen ganancias solares muy aceptables. A simple vista también se deduce que la orientación Norte tiene unas ganancias solares muy reducidas.

Simulación en Oviedo:

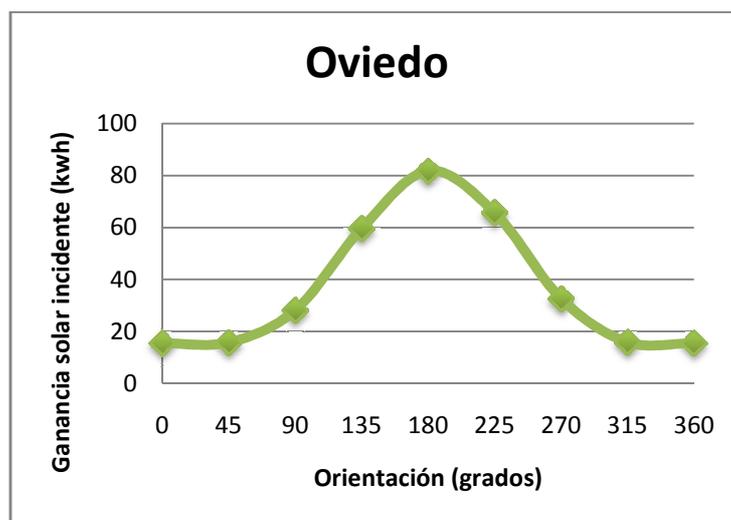


Figura 47. Gráfica de ganancia solar en Oviedo

Con esta segunda simulación queda reflejado lo que hemos visto en la grafica anterior, la orientación Sur es la que produce mayor ganancia solar mientras que la orientación Norte es la que dispone de menos sol. Es importante decir que por muy bajos que sean los valores en la fachada orientada hacia el Norte siguen siendo valores de energía solar que podemos aprovechar y sacarles rendimiento.

Conclusiones:

Después de las simulaciones podemos determinar que las orientaciones con mayor ganancia solar son las siguientes:

Sur ($162^\circ \leq \alpha < 198^\circ$)

Sur-Oeste ($198^\circ \leq \alpha < 249^\circ$)

Sur-Este ($111^\circ \leq \alpha < 162^\circ$)

Si hablamos en términos de grados la mejor orientación para nuestra vivienda tendrá el siguiente intervalo:

$$111 \leq \alpha < 249^\circ$$

De esta forma podremos obtener la mayor ganancia solar, o dicho de otra forma, en la fachada orientada hacia el Sur debería de ubicar el mayor número de ventanas.

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta será que en la fachada de máxima ganancia solar, las ventanas no tendrán que ser tan exigentes, sino que serán en la fachada norte donde las ventanas deberán ser más aislantes.

Podemos llegar a la conclusión de que toda ventana orientada en el Sur recibirá una gran radiación solar y que toda ventana orientada en el Norte deberá de disponer de un buen aislante, debido a que sus ganancias solares son muy inferiores y siempre se desea mantener la temperatura interior.

A partir de este estudio:

- Siempre buscaré ubicar el máximo número de ventanas en la fachada Sur y en esa fachada deberán de estar también las habitaciones más frecuentadas de la casa.
- En la fachada norte tengo que vigilar que las ventanas no tengan pérdidas excesivas.

Es importante conocer que las ganancias solares son muy beneficiosas en invierno pero en verano son todo lo contrario, porque se traducen en un aumento de consumo de energía de refrigeración. Por lo cual tampoco es muy beneficioso orientar una fachada hacia el Sur si solo se tiene en cuenta el verano. Pero llegados a este punto podemos decir que es mejor realizar una ubicación para ahorrar energía de calefacción, debido a que el invierno es más largo que el verano y que en una vivienda siempre se dispone de calefacción y no siempre se tiene aire acondicionado.

10.2 Análisis con requisitos del CTE

En este apartado es donde se obtendrán las ganancias, pérdidas y consumos de nuestra vivienda con los requisitos mínimos que establece CTE. Las distintas simulaciones realizadas tendrán como objetivo evaluar:

- Influencia del marco y del vidrio.
- Efecto de colocar una ventana superior a los requisitos mínimos
- Modificar el sistema de ventilación
- Realizar una comparación de una vivienda con requisitos mínimos del CTE y una vivienda con mejores prestaciones (en ventanas y ventilación).

10.2.1 Metodología

Una vez tengamos los valores del proyecto que no varían introducidos en el programa, iremos modificando los demás parámetros para poder obtener las simulaciones deseadas y con ellas realizar las conclusiones pertinentes.

A continuación se muestran los valores que modificaremos para poder realizar el estudio con los requisitos mínimos del CTE. A partir de este apartado siempre se realizarán las mismas simulaciones para Barcelona y Oviedo.

Entonces una vez realizados los cálculos de cada caso a estudiar, se recogerán todos los datos para su posterior interpretación, finalmente se establecerán una serie de conclusiones para poder justificar cada modificación realizada.

El objetivo final es obtener la configuración ideal para una vivienda y reducir el consumo de energía auxiliar lo máximo posible.

Oviedo:

Transmitancia U(W/m²·K)			
Cubierta	Muros exteriores	Suelo	Hueco
0,35	0,57	0,48	1,9-3

Tabla 19. Transmitancias Oviedo

Acristalamiento		
Composición (mm)	Dimensiones (m)	Marco
4-10-4	3x1,5	aluminio RPT >12mm

Tabla 20. Acristalamiento Oviedo

Barcelona:

transmitancias U(W/m²·K)			
Cubierta	Muros exteriores	Suelo	Hueco
0,41	0,73	0,5	3,314

Tabla 21. Transmitancias Barcelona

Acristalamiento		
Composición (mm)	Dimensiones (m)	Marco
3-6-3	3x1,5	aluminio sin RPT / RPT 4-12 mm

Tabla 22. Acristalamiento Barcelona

En algún apartado se modificará la composición del vidrio o el tipo de marco, pero en general estos valores serán los introducidos para cumplir con los requisitos mínimos que establece el CTE.

10.2.2 Influencia del marco

Para poder determinar la influencia del marco en las pérdidas de la ventana, realizaremos varias simulaciones manteniendo el mismo vidrio y modificando el tipo de marco.

Barcelona (6-12 enero):

La ventana será de doble vidrio de 4 mm con cámara aislante de aire de 6mm.

Material Marco	Transmitancias (W/m ² ·K)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
aluminio sin RPT	5,7	3,299	3,755	-18,63	7,6
aluminio RPT 4-12mm	4	3,299	3,432	-18,51	7,53
aluminio >12mm	3,2	3,299	3,28	-18,44	7,5
madera baja densidad	2,2	3,299	3,052	-17,95	7,3
madera alta densidad	2	3,299	3,09	-17,91	7,3
PVC 2 cámaras	2,2	3,299	3,09019	-17,95	7,3
PVC 3 cámaras	1,8	3,299	3,0141	-17,87	7,28

Tabla 23. influencia marco en Barcelona

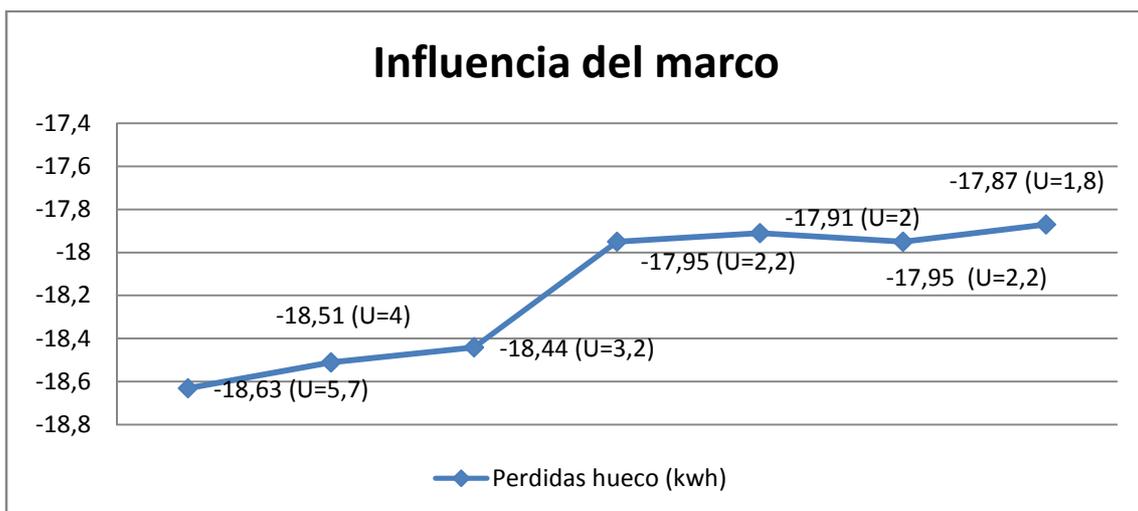


Figura 48. influencia marco en Barcelona

Oviedo (6-12 enero):

La ventana será de doble vidrio de 4 mm con cámara aislante de aire de 6mm.

Material Marco	Transmitancias (W/m ² ·K)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
aluminio sin RPT	5,7	2,805	3,355	-12,91	4,96
aluminio RPT 4-12mm	4	2,805	3,032	-12,79	4,91
aluminio >12mm	3,2	2,805	2,88	-12,73	4,82
madera baja densidad	2,2	2,805	2,69	-12,45	4,79
madera alta densidad	2	2,805	2,652	-12,42	4,78
PVC 2 cámaras	2,2	2,805	2,69	-12,46	4,79
PVC 3 cámaras	1,8	2,805	2,61	-12,38	4,77

Tabla 24. influencia marco en Oviedo

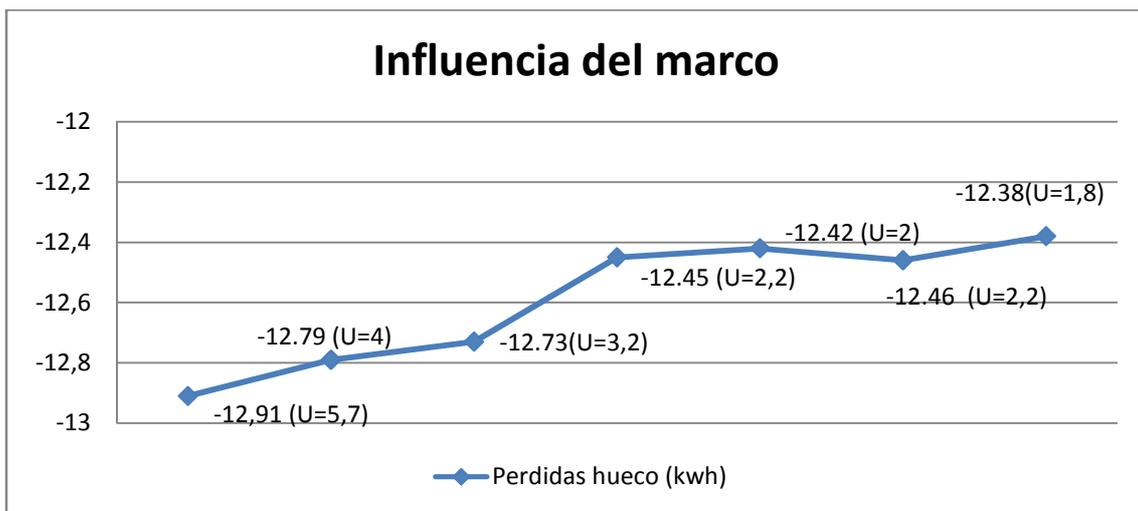


Figura 49. influencia marco en Oviedo

Observamos que si solamente modificamos el marco no influye demasiado en la reducción de las pérdidas del acristalamiento, este hecho va relacionado con la poca superficie que tiene el marco respecto a la ventana (un 19-20 % de la superficie total).

Otra conclusión que obtenemos es que en una ventana no sirve de nada poner un buen marco si no colocamos un vidrio de prestaciones similares para poder obtener una transmitancia del hueco lo más reducida posible.

10.2.3 Influencia del vidrio

Realizaremos distintas simulaciones con el mismo marco y modificaremos el vidrio, primero utilizaremos vidrios sencillos y cada vez colocaremos un vidrio que tenga menos pérdidas de calor.

Barcelona (6-12 enero):

El marco introducido será de aluminio con RPT de 4-12mm.

Composición (mm)	Transmitancias (W/m ² ·k)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
Sencillo 4	4	5,806	5,46286	-37,53	14,18
4.6.4	4	3,299	3,43219	-18,51	7,536
6.6.6	4	3,256	3,39736	-14,58	6,05
8.6.8	4	3,214	3,36721	-12,18	5,53
10.6.10	4	3,174	3,33094	-11,91	5,02

Tabla 25. influencia vidrio en Barcelona

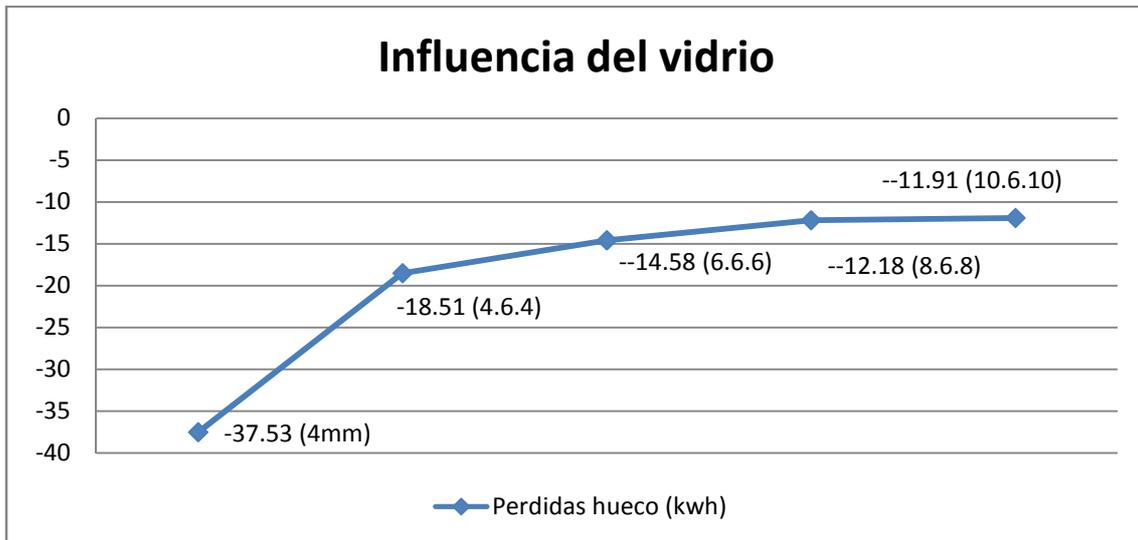


Figura 50. influencia vidrio en Barcelona

Oviedo (6-12 enero):

El marco introducido será de aluminio con RPT de 4-12mm.

Composición (mm)	Transmitancias (W/m ² ·k)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
Sencillo 4	4	5,806	5,46286	-30,35	10,83
3.6.3	4	3,314	3,443	-15,92	6,03
6.6.6	4	3,256	3,39736	-12,62	4,87
4.10.4	4	2,805	3,03205	-12,73	4,89
10.6.10	4	3,174	3,33094	-9,37	3,68

Tabla 26. influencia vidrio en Oviedo

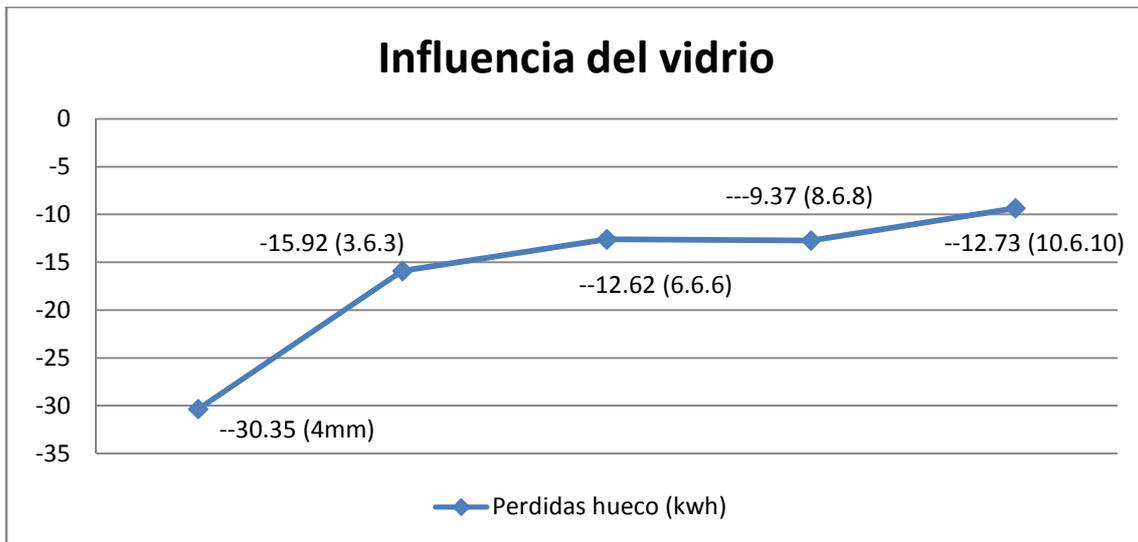


Figura 51. influencia vidrio en Oviedo

A diferencia del apartado anterior, en este observamos que al modificar el vidrio el efecto es muy notable. Al inicio con un vidrio sencillo de 4 mm tenemos pérdidas bastante elevadas y a medida que mejoramos el vidrio se reducen más del 50%.

Podemos afirmar que la influencia del vidrio es mucho mayor que la influencia del marco en la ventana, por este motivo una mejora del vidrio supone un ahorro energético significativo.

Otro factor importante es que la mayor reducción se produce cuando pasamos de un vidrio sencillo de 4 mm a un doble acristalamiento de 3 mm y cámara de aire de 6 mm. Es decir sustituyendo un vidrio sencillo por un UVA el efecto es muy notable, pero a medida que mejoramos este UVA también se nota la reducción de pérdidas pero de forma más reducida.

Barcelona “low-e” (6-12 enero):

El marco introducido será de aluminio con RPT de 4-12mm.

Composición (mm)	Transmitancias (W/m2·k)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
Sencillo 4	4	5,806	5,46286	-37,53	14,18
4.6.4 low-e	4	2,377	2,68537	-6,95	2,9
6.6.6 low-e	4	2,354	2,66674	-5,81	2,519
8.6.8 low-e	4	2,328	2,64568	-4,32	1,81
10.6.10 low-e	4	2,311	2,63191	-3,76	1,653

Tabla 27. influencia vidrio low-e en Barcelona

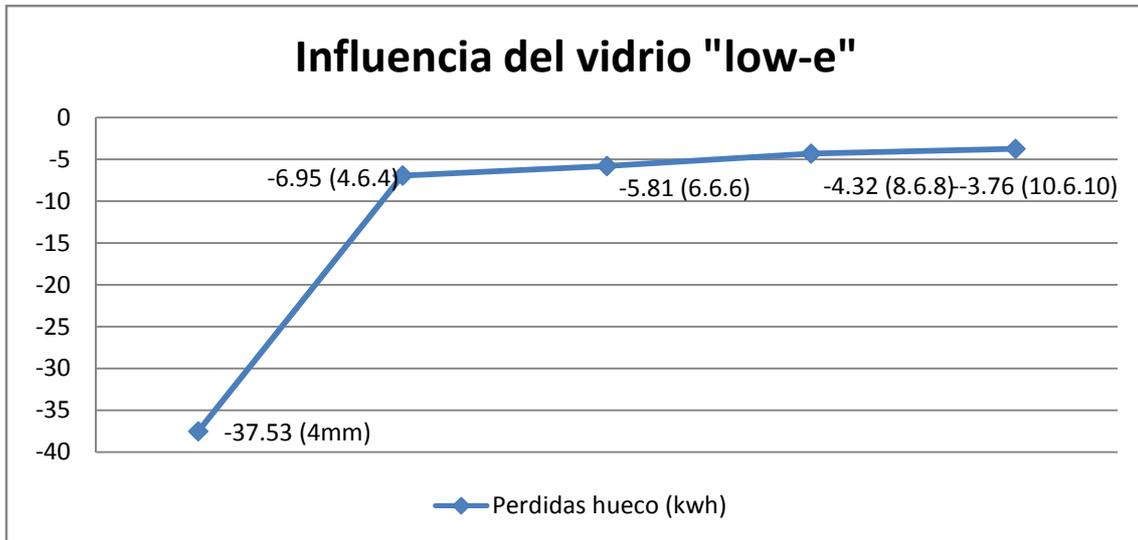


Figura 52. influencia vidrio low-e en Barcelona

Oviedo "low-e"(6-12 enero):

El marco introducido será de aluminio con RPT de 4-12mm.

Composición (mm)	Transmitancia (W/m ² ·k)			Pérdidas (kwh)	% de pérdidas totales
	Marco	Vidrio	Hueco		
Sencillo 4	4	5,806	5,46286	-30,35	10,83
6.6.6 low-e	4	2,354	2,66674	-3,94	1,61
4.10.4 low-e	4	2,199	2,54119	-3,66	3,46
10.6.10 low-e	4	2,311	2,63191	-2,75	1,251

Tabla 28. influencia vidrio low-e en Oviedo

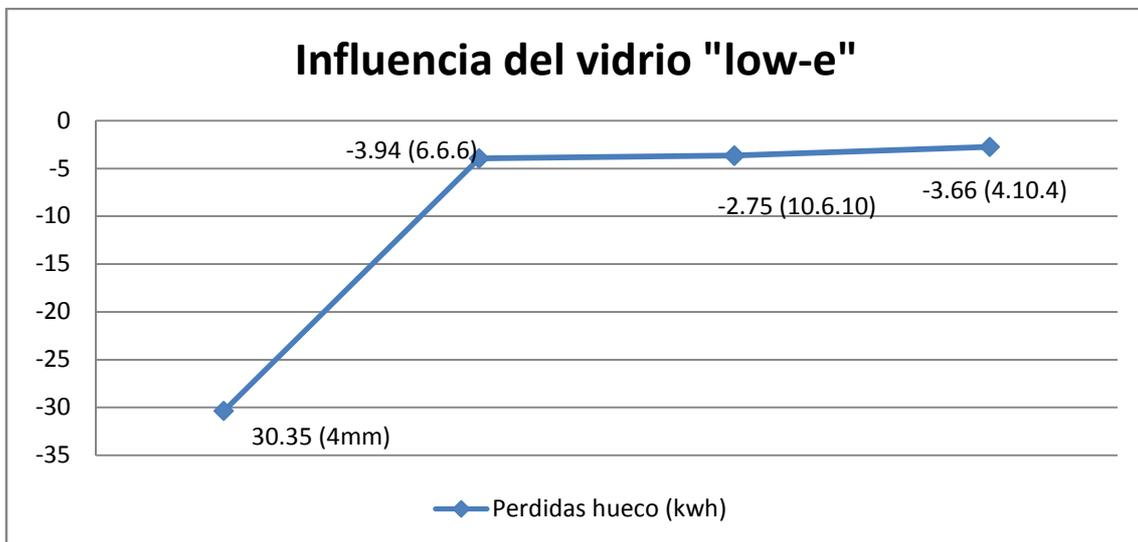


Figura 53. influencia vidrio low-e en Oviedo

Con el vidrio bajo emisivo "low-e" se reducen mucho más las pérdidas, debido a que este tipo de vidrio tiene una transmitancia muy baja. Por este último motivo observamos que cuando pasamos de un vidrio sencillo a un doble acristalamiento con vidrio low-e las pérdidas se reducen más del 80%.

Si en el apartado anterior se obtiene que colocar un UVA es muy eficaz, en este podemos observar que colocar un UVA con vidrios low-e es casi dos veces más efectivo.

10.2.4 Comparación de ventana sencilla y superior

En este punto se realizará una comparación entre una ventana sencilla que prácticamente no cumple con el CTE y una ventana que cumple con creces los requisitos mínimos. Se valorarán las pérdidas generadas, los consumos de combustible y electricidad durante todo el invierno (1 octubre - 31 marzo).

En este caso se colocarán 4 ventanas iguales de 3x1'5 m, para poder observar con más claridad el efecto de la sustitución de estas.

Barcelona (1 octubre – 31 marzo):

Material Marco	Composición vidrio	Transmitancia (W/m2·k)	
		Hueco	Pérdidas ventanas (kwh)
aluminio sin RPT	3 mm	5,819	-2545,88
PVC 2 cámaras	6/10 air/6 mm (low-e int.)	2,1838	-385,06
Gas (kwh)	Dif. Consumo (%)		
22294,29	-		
19022,75	14,67		

Tabla 29. comparación ventanas en Barcelona

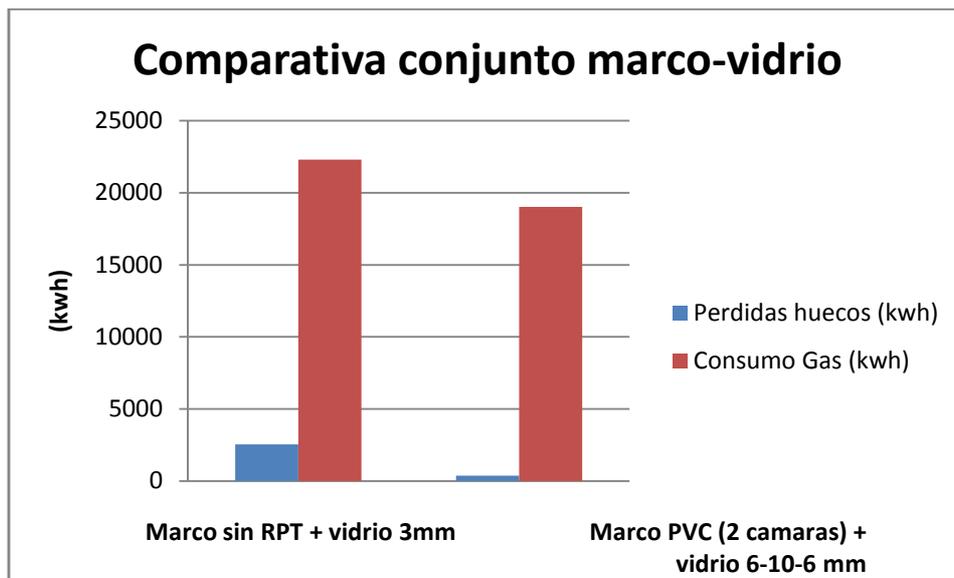


Figura 54. comparación ventanas en Barcelona

Oviedo (1 octubre – 31 marzo):

Material Marco	Composición vidrio	Transmitancia (W/m ² ·k)	
		Hueco	Pérdidas ventanas (kwh)
aluminio sin RPT	3 mm	5,819	-2856,19
PVC 2 cámaras	6/10 air/6 mm (low-e int.)	2,1838	-1594,23
Gas (kwh)	Dif. Consumo (%)		
26266,95	-		
22298,07	15,11		

Tabla 30. comparación ventanas en Oviedo

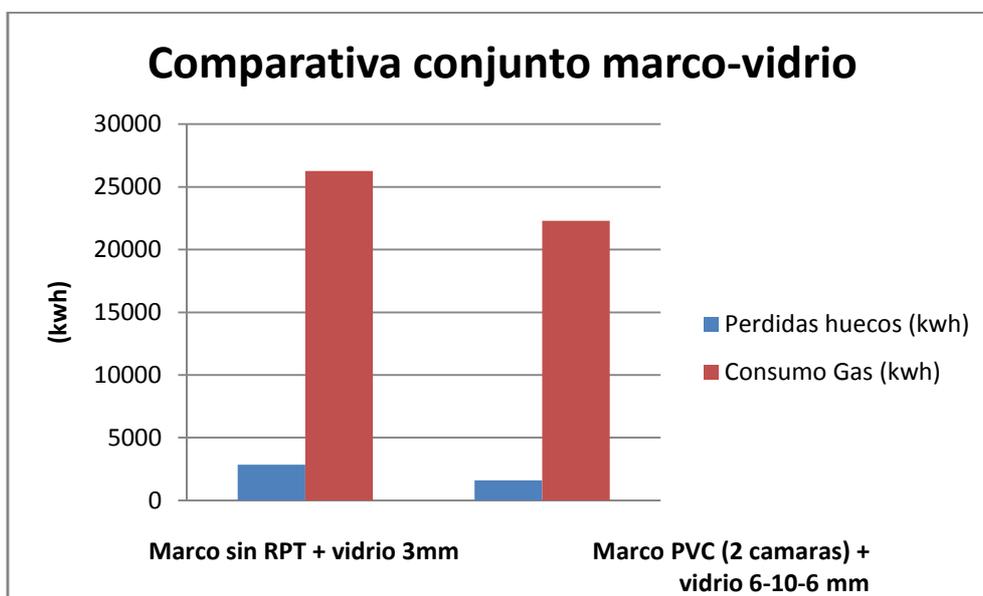


Figura 55. comparación ventanas en Oviedo

En los dos casos (Oviedo y Barcelona) se observa una clara reducción de las pérdidas de las ventanas, como resultado de la introducción de un conjunto marco-vidrio de menor transmitancia. De esta forma reduciendo las pérdidas de las ventanas podemos reducir el consumo de calefacción a lo largo del invierno un 15%.

Este último dato refuerza la idea de que las ventanas constituyen un elemento importante dentro del concepto de ahorro energético.

10.2.5 Comparación de sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación son los encargados de renovar el aire interior para poder asegurar su calidad y de esta forma mantener el ambiente en condiciones óptimas.

Teniendo en cuenta que estamos trabajando con los requisitos mínimos del CTE podemos establecer que el sistema de ventilación mínimo consiste en la ventilación natural. La ventilación natural se realiza mediante la apertura de ventanas o la colocación de aperturas de extracción (dimensiones definidas en el apartado de normativa del CTE).

Ventilación natural:

- ✓ Ventilación de la vivienda sin coste de energía auxiliar.
- ✓ No requiere sistemas de ventilación.
- ✓ La ventilación mediante ventanas la puede realizar fácilmente el usuario.
- ✓ Colocación de una rejilla de extracción del tamaño impuesto por el CTE.
- Caudal constante, la renovación siempre es la misma.
- Se pierde mucha energía al introducir aire fresco a temperatura exterior.
- No tiene en cuenta las condiciones interiores.

Otro sistema de ventilación alternativo a la ventilación natural, sería la ventilación mecánica con recuperador de calor, son sistemas que realizan la misma función que la ventilación natural pero de forma más controlada y eficiente (definido en el apartado del recuperador de calor).

Ventilación mecánica con recuperador de calor:

- ✓ Caudal variable en función de las condiciones interiores y programable.
- ✓ Aprovechamiento de la energía del aire viciado para calentar el aire exterior
- ✓ Análisis de la calidad del aire interior.
- Coste de inversión inicial y energía auxiliar.

Para poder evaluar los dos sistemas de ventilación, realizaremos una simulación en cada ubicación con los dos sistemas de ventilación definidos anteriormente.

Barcelona (6-12 enero):

Ventilación	Pérdidas (kwh)				
	Acrisolamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
Natural	-20,48	-86	-16,927	-30	-93
Mecánica + recup.	-21,35	-89,34	-18,19	-31,75	0

Consumo (kwh)		
Electricidad	Gas Natural	Ahorro
12,85	284,77	-
10,2	142,64	49,91

Tabla 31. Comparación ventilación en Barcelona

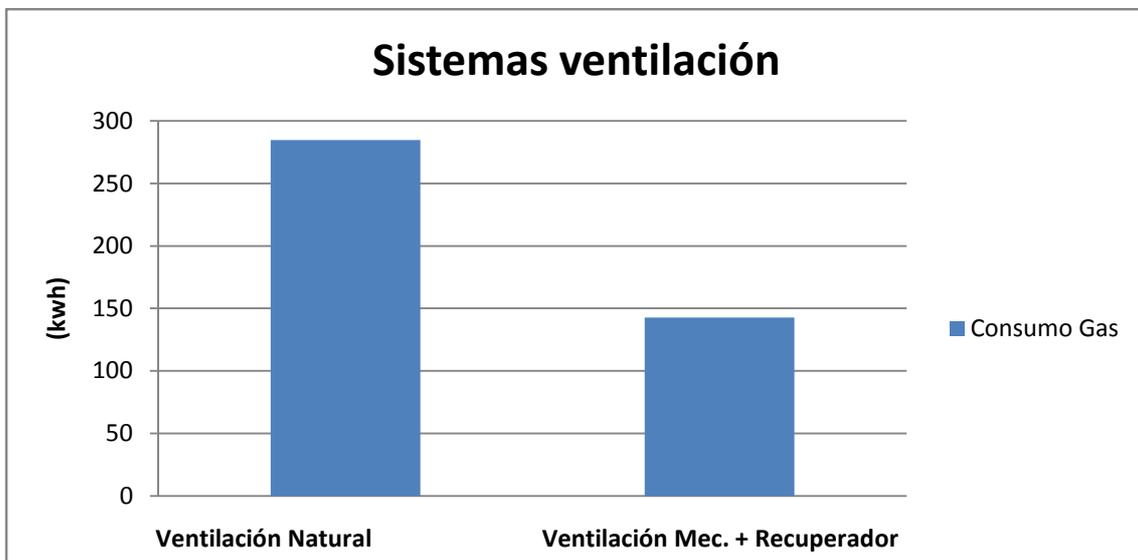


Figura 56. Comparación ventilación en Barcelona

El resultado es muy claro, si se sustituye el sistema de ventilación natural por un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor, en una vivienda convencional ubicada en Barcelona se puede llegar a ahorrar casi un 50% de

calefacción. Esto es el resultado de eliminar las pérdidas por ventilación exterior, ya que con el nuevo sistema de ventilación solo se renueva el aire cuando es necesario y no de forma constante. También influye mucho el hecho de que el recuperador caliente el aire nuevo para que entre a una temperatura superior a la exterior y de esta forma no se necesite tanto aporte de energía auxiliar para mantener el confort de la vivienda.

Oviedo (6-12 enero):

Ventilación	Pérdidas (kwh)				
	Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
Natural	-12,73	-57,38	-17,41	-21,23	-150,33
Mecánica + recup.	-15,86	-63,62	-19,74	-24,01	0

Consumo (kwh)		
Electricidad	Gas Natural	Ahorro
14,46	336,32	-
9,53	111,84	66,75

Tabla 32. Comparación ventilación en Oviedo

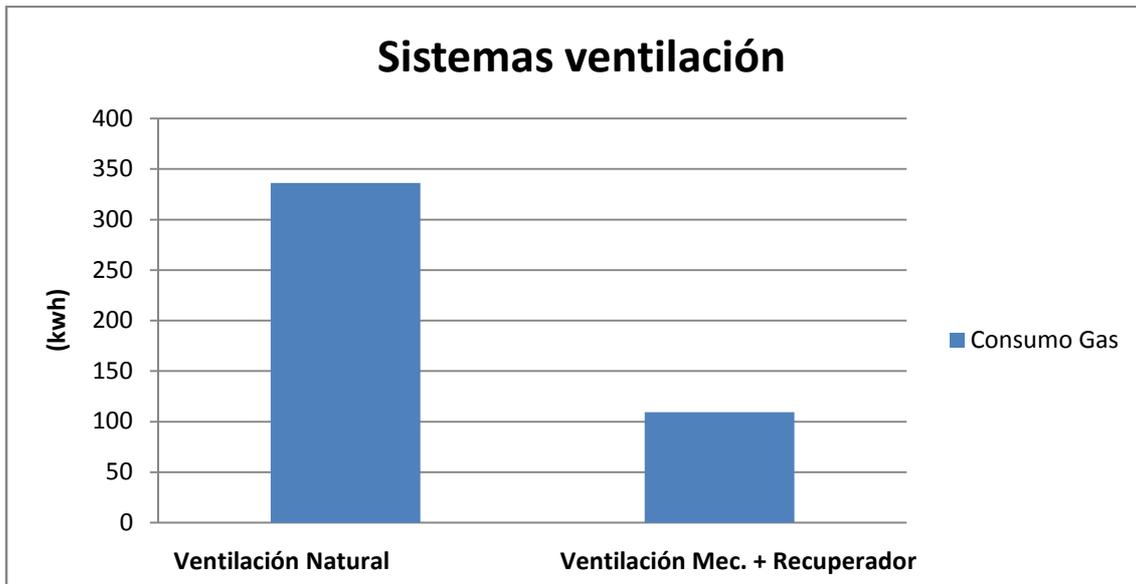


Figura 57. Comparación ventilación en Oviedo

En este caso se observa que ocurren los mismos efectos que en Barcelona pero el ahorro de calefacción puede llegar a superar el 60%, es normal que la eficiencia sea superior teniendo en cuenta que en Oviedo las temperaturas suelen ser mucho más bajas.

Como conclusión general se puede establecer que el sistema de ventilación natural no es muy efectivo si hablamos de eficiencia energética. Si instalamos un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor obtendremos resultados muy positivos y el ahorro será muy significativo.

10.2.6 Comparación de sistemas de ventilación y ventanas

En los apartados anteriores, se han analizado las ventanas, orientación, cámaras de aire y sistemas de ventilación, obteniendo varias conclusiones muy favorables respecto al ahorro energético. Por este motivo se realizarán las simulaciones de todos estos elementos juntos y de esta forma poder analizar que sucede cuando introducimos todos estos cambios en una vivienda de requisitos mínimos de CTE.

Se realizarán comparaciones entre los dos casos siguientes:

- Ventana poco eficiente + ventilación natural
- Ventana eficiente + ventilación mecánica con recuperador de calor

El objetivo consistirá en analizar cómo afecta al consumo de combustible (calefacción) y las pérdidas de los acristalamientos.

Barcelona (1 octubre – 31 marzo):

Material Marco	Composición vidrio	Transmitancias (W/m ² ·K)			Ventilación
		Marco	Vidrio	Hueco	
aluminio sin RPT	3 mm	5,7	5,848	5,819	Natural
PVC 2 cámaras	6/10 air/6 mm (low-e int.)	2,2	2,18	2,1838	Mecánica + recuperador

Pérdidas(kwh)	Consumo (kwh)	
	Gas Natural	Dif. Consumo (%)
-2545,88	22294,29	-
-737,47	1898,59	91,48

Tabla 33. Comparación final en Barcelona

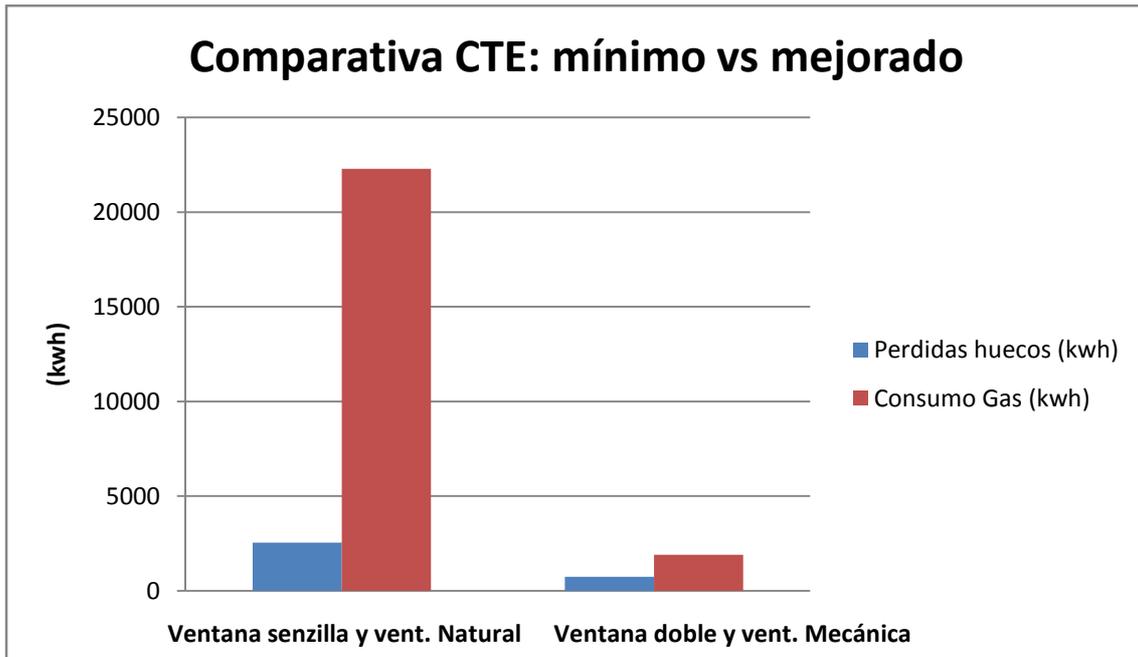


Figura 58. Comparación final en Barcelona

Oviedo (1 octubre – 31 marzo):

Material Marco	Composición vidrio	Transmitancias (W/m ² ·K)			Ventilación
		Marco	Vidrio	Hueco	
aluminio sin RPT	3 mm	5,7	5,848	5,819	Natural
PVC 2 cámaras	6/10 air/6 mm (low-e int.)	2,2	2,18	2,1838	Mecánica + recuperador

Pérdidas(kwh)	Consumo (kwh)	
	Gas Natural	Dif. Consumo (%)
-2856,19	26266,95	-
-983,55	2594,25	90,12

Tabla 34. Comparación final en Oviedo

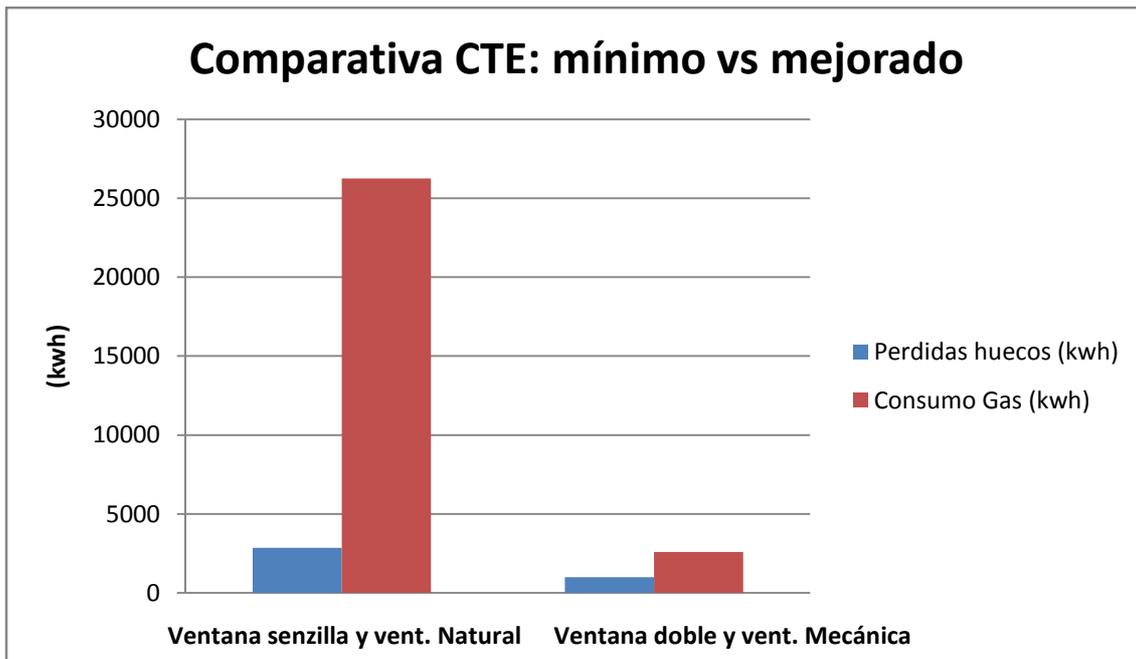


Figura 59. Comparación final en Oviedo

Los resultados son muy claros, si en apartados anteriores obteníamos ahorros de combustible de un 15% al mejorar las ventanas y un 60% al sustituir el sistema de ventilación, ahora observamos que si estos cambios los realizamos en la misma vivienda podemos ahorrar hasta un 90% de combustible durante el invierno.

Este ahorro tan significativo es consecuencia de mejorar la principales debilidades que tiene el CTE, por un lado tendríamos la notable mejora de las ventanas y por el otro la sustitución de la ventilación natural por la mecánica con recuperador.

La mejora de las ventanas nos reduce las pérdidas de estas con lo cual estamos contribuyendo a que el calor se mantenga más tiempo dentro de la vivienda. Y al sustituir el sistema de ventilación lo que sucede es que se eliminan las pérdidas por ventilación exterior debido a que la renovación del aire interior se realiza de forma controlada (antes era constante) y aprovechando el calor del aire viciado para precalentar el aire fresco del exterior.

10.3 Análisis con requisitos de casa pasiva

En este punto se pretende analizar el comportamiento de una vivienda con los requisitos de casa pasiva. Existen toda una lista de características para que una vivienda sea certificada como casa pasiva, anteriormente se han definido cuales son pero en este caso solo se analizarán las transmitancias (cerramientos opacos y acristalamientos) y sistema de ventilación.

Con este estudio se pretende tener una sencilla idea de cómo trabaja una casa pasiva y cuáles son los efectos de implantar estos requisitos mínimos en una vivienda ubicada en Oviedo y Barcelona.

A continuación se muestran los datos que se deben introducir para que la casa cumpla con algunos de los requisitos mínimos del “Passivhaus Institut”:

Transmitancias U(W/m ² ·K)			
Cubierta	Muros exteriores	Suelo	Hueco
0,15	0,15	0,15	0,9

Ventilación	
Renovación aire (l/s · persona)	Sistema
3	Mecánica + recuperador de calor

Acristalamiento	
Composición	Dimensiones (m)
6-10-6-10-6 (low-e)	3 x 1,5

Tabla 35. Valores mínimos casa pasiva

A simple vista se puede observar que los valores de las transmitancias son notablemente inferiores a los impuestos por el CTE y además los utilizaremos para las dos ubicaciones (Oviedo y Barcelona). La ventana es de 3 capas de vidrio de 6 mm (low-e) y 2 cámaras de aire de 10 mm, lo que convierte esta ventana en una de las más eficientes del mercado. A todo esto se le debe sumar la ventilación mecánica con recuperador de calor.

Barcelona (1 octubre – 31 marzo):

Pérdidas (Kwh)				
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
160,66	-566,85	-312,31	-326,41	0

Consumos totales Kwh)	
Electricidad	Gas Natural
725,44	0

Tabla 36. Simulación casa pasiva invierno en Barcelona

Oviedo (1 octubre – 31 marzo):

Pérdidas (Kwh)				
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
106.34	-540.32	-229.27	-309.44	0

Consumos totales Kwh)	
Electricidad	Gas Natural
624.91	54.34

Tabla 37. Simulación casa pasiva invierno en Oviedo

Se observa en las dos simulaciones que prácticamente el consumo de gas natural para el aporte de energía auxiliar es nulo (0 y 53,34 kwh) durante todo el invierno. Las pérdidas se reducen tanto que en el caso de las ventanas se convierten en ganancias, debido a su baja transmitancia.

Más adelante se realizarán comparaciones con los valores obtenidos con los requisitos del CTE, pero a simple vista se observa la efectividad de la casa pasiva. Es el resultado de una drástica reducción de las pérdidas en la envolvente y la efectividad del sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor.

10.4 Comparativa de casa pasiva y CTE

En este proyecto se han analizado dos extremos opuestos, los parámetros mínimos impuestos por el CTE y los parámetros necesarios para poder tener la definición de casa pasiva (en el tema de cerramientos y ventilación).

Una vez realizadas todas las simulaciones por separado se pretende realizar una comparativa final, con ello se pretende encontrar las principales diferencias de consumo entre los dos extremos (CTE y casa pasiva).

10.4.1 orientación

Anteriormente en las simulaciones previas se han obtenido resultados de ganancias y pérdidas en función de la orientación. Lo que se pretende en este apartado es comparar las ganancias y pérdidas solares en función de la orientación para la casa pasiva y CTE.

Se simularan en la ubicación de Oviedo y realizando variaciones de 10 grados.

CTE:

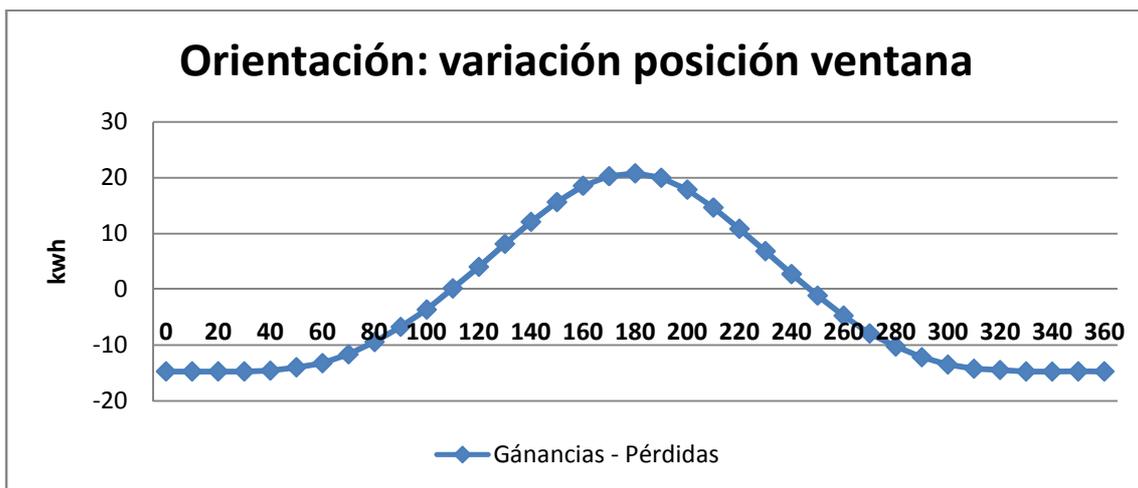


Figura 60. Orientación CTE en Oviedo

Casa pasiva:

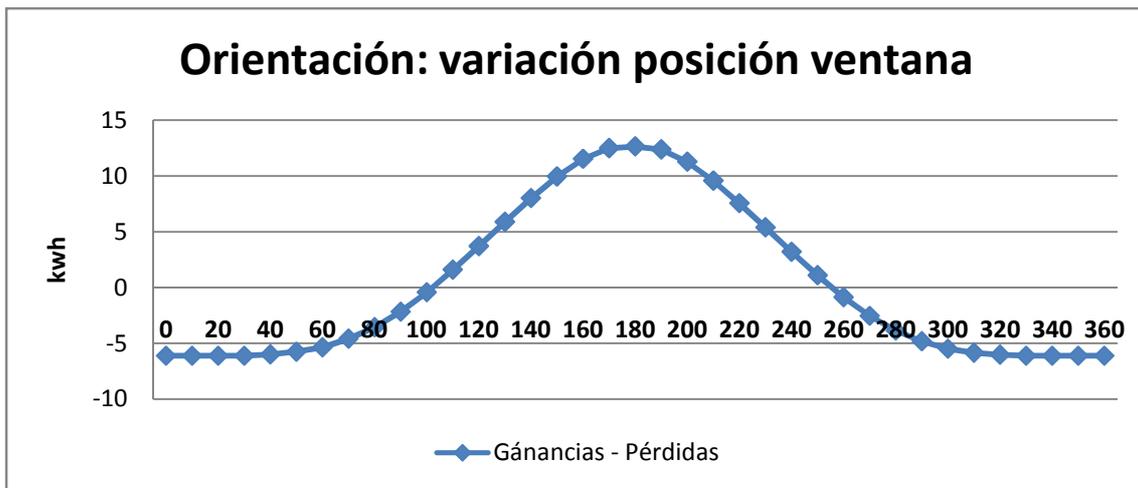


Figura 61. Orientación casa pasiva en Oviedo

Observando las dos gráficas podemos determinar que en los dos casos la posición afecta por igual, es decir la evolución de la gráfica es idéntica (en el Norte pocas ganancias y en el Sur ganancias muy elevadas)

La única diferencia reside en los valores de la gráfica:

- CTE: valores entre 20 y -15 kWh
- Casa pasiva: valores entre 12 y -6 kWh

En el caso del CTE la relación ganancias-pérdidas en 180° (sur) es mucho más elevada que en el caso de la casa pasiva. Esto se debe a que las ventanas del CTE tienen transmitancias más elevadas y 2 capas, por este motivo dejan pasar más luz del sol al interior de la vivienda.

Si analizamos la posición 0° (norte) que es la más crítica, se observa que en el caso de la casa pasiva la relación ganancias-pérdidas es mucho inferior a la del CTE. Esto se debe a que las ventanas de la casa pasiva dejan pasar menos energía (baja Transmitancia) y por este motivo tienen menos pérdidas que es lo que más influye en las ventanas del norte.

10.4.2 Dimensiones de la ventana

La intención de esta simulación reside en analizar cómo afecta el tamaño de la ventana al resultado de ganancias-pérdidas, ya sea en orientación Sur o Norte. Por esta razón se realizarán distintas pruebas con varias dimensiones de ventanas, se empezará por simular una ventana sencilla de 1 m² y se irá aumentando su tamaño. El objetivo final será conocer el efecto del tamaño de las ventanas en las viviendas de requisitos mínimos del CTE y en las que se hayan introducido los valores de casa pasiva.

Se realizarán simulaciones para cada ubicación (Oviedo y Barcelona) y orientación (Sur y Norte). Se compararán en gráficas los resultados de CTE y casa pasiva para poder observar cómo influyen los parámetros introducidos en cada caso a la relación ganancias-pérdidas.

Barcelona:

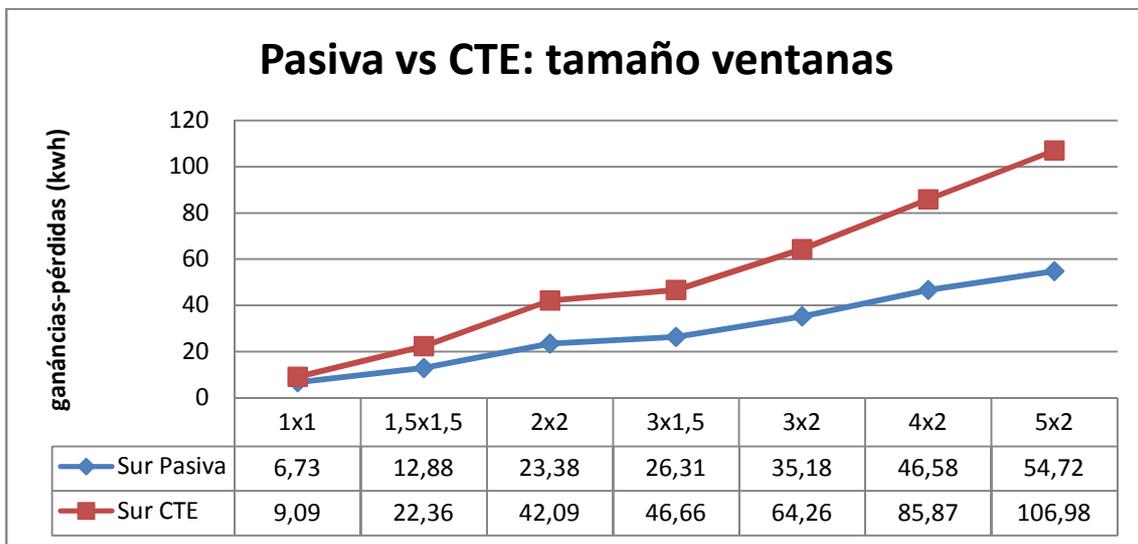


Figura 62. Tamaño ventana en Barcelona (Sur)

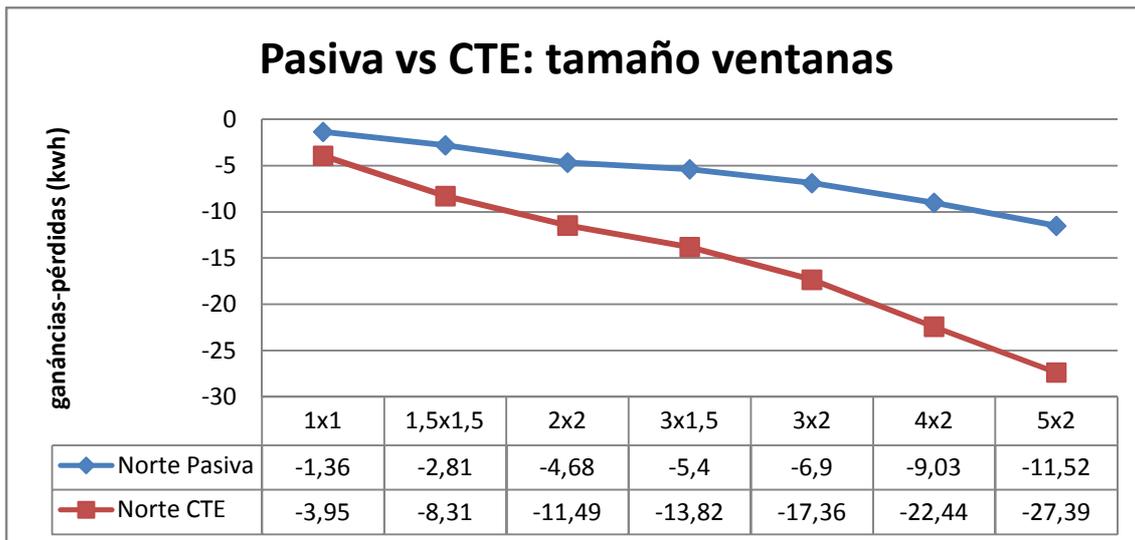


Figura 63. Tamaño ventana en Barcelona (Norte)

Oviedo:

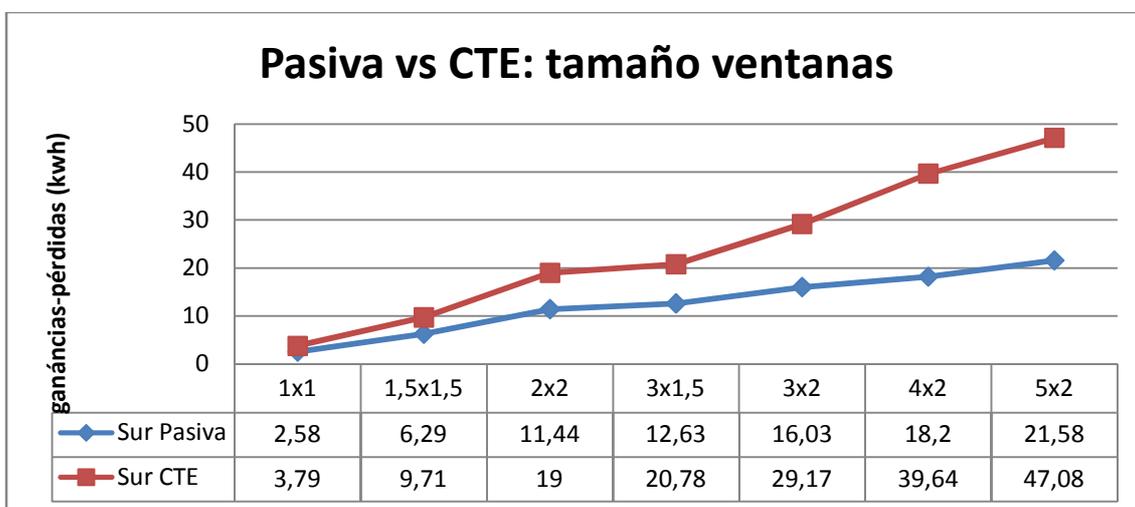


Figura 64. Tamaño ventana en Oviedo (Sur)

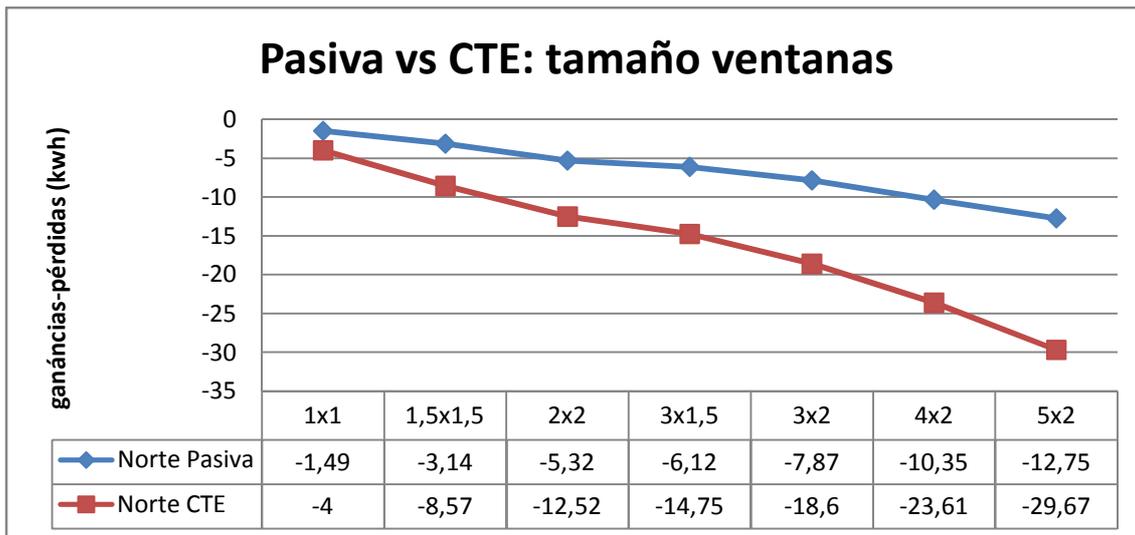


Figura 65. Tamaño ventana en Oviedo (Norte)

Analizando las gráficas obtenidas en la orientación Sur, se refleja que la relación ganancias-pérdidas es muy superior en el caso del CTE. Esto es debido a que las ventanas son mucho más sencillas y como consecuencia dejan pasar más energía. Significa que las ventanas tienen más pérdidas pero por otro lado vemos que tienen muchas más ganancias y eso lo compensa.

Por lo tanto, introduciendo los valores mínimos del CTE podemos llegar a obtener una mejor relación ganancias-pérdidas a medida que aumentamos el tamaño de las ventanas, siempre y cuando esté orientada al Sur. Esta última conclusión no significa que en la orientación Sur con requisitos de casa pasiva no se deban colocar ventanas más grandes, sino que con las ventanas del CTE ya se consiguen resultados óptimos.

Respecto a las gráficas que hacen referencia a la orientación Norte, el efecto es bastante contrario. En el caso de las simulaciones con requisitos de CTE, se observa que al aumentar el tamaño disminuyen las ganancias y cada vez existen más pérdidas. Si comparamos podemos ver que una ventana orientada hacia el Norte de 4m^2 de requisitos CTE tiene la misma relación ganancias-pérdidas que una ventana de 10m^2 de misma orientación pero de requisitos casa pasiva. A diferencia del Sur, en el Norte la influencia de colocar una buena ventana es muy notable teniendo en cuenta que en esa orientación las ganancias son muy pocas y toman mucha importancia las pérdidas.

La conclusión a tener en cuenta sería la siguiente: En el Sur podemos permitirnos poner ventanas muy grandes y que no tengan unas prestaciones tan elevadas, porque al final la relación ganancias-pérdidas será positiva debido a las grandes ganancias. En el Norte tendremos que poner ventanas muy buenas, que dejen pasar la mínima cantidad de calor, simplemente porque las ventanas orientadas al Norte tienen las ganancias muy reducidas y toman mayor importancia las pérdidas.

10.4.3 Pérdidas y consumo

La comparativa más importante y de más relevancia de cara al usuario, será aquella donde se comparen los consumos en un determinado período de tiempo. El consumo es donde se puede cuantificar de forma económica la mejora realizada al introducir los requisitos de casa pasiva (ventanas y ventilación) y compararlos con los requisitos mínimos de CTE. Otra forma de obtener una conclusión clara acerca de cómo afectan los cambios introducidos consistirá en evaluar las distintas pérdidas de la vivienda.

Se realizarán simulaciones de una semana (6-12 enero) en cada ubicación para poder obtener las pérdidas y consumos de la vivienda. El objetivo final será evaluar que % de consumo de combustibles nos ahorramos en nuestra vivienda introduciendo los parámetros de la envolvente y sistema de ventilación de la casa pasiva.

Barcelona:

CTE				
Pérdidas (Kwh)				
Acrisolamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
-20,48	-86	-16,927	-30	-93
Ganancias (kwh)				
Ocupación	Ventanas exteriores	Calentamiento sensible zona		
5,56	67,13	174,91		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
12,85	284,77			

Tabla 38. Ganancias, pérdidas y consumo (CTE, Barcelona)

PASIVA				
Pérdidas (Kwh)				
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
7,28	-28,08	-10,32	-15,99	0
Ganancias (kwh)				
Ocupación	Ventanas exteriores	Calentamiento sensible zona		
4,89	18,95	23,69		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
27,9	0			

Tabla 39. Ganancias, pérdidas y consumo (casa pasiva, Barcelona)

Oviedo:

CTE				
Pérdidas (Kwh)				
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
-12,73	-57,38	-17,41	-21,23	-150,33
Ganancias (kwh)				
Ocupación	Ventanas exteriores	Calentamiento sensible zona		
5,56	49,45	203,92		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
14,46	336,32			

Tabla 40. Ganancias, pérdidas y consumo (CTE, Oviedo)

PASIVA				
Pérdidas (Kwh)				
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
0,27	-19,4	-3,07	-15,66	0
Ganancias (kwh)				
Ocupación	Ventanas exteriores	Calentamiento sensible zona		
5,07	12,28	20,39		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
24,1	0,25			

Tabla 41. Ganancias, pérdidas y consumo (casa pasiva, Oviedo)

A continuación se muestran las gráficas de comparación:

Barcelona:

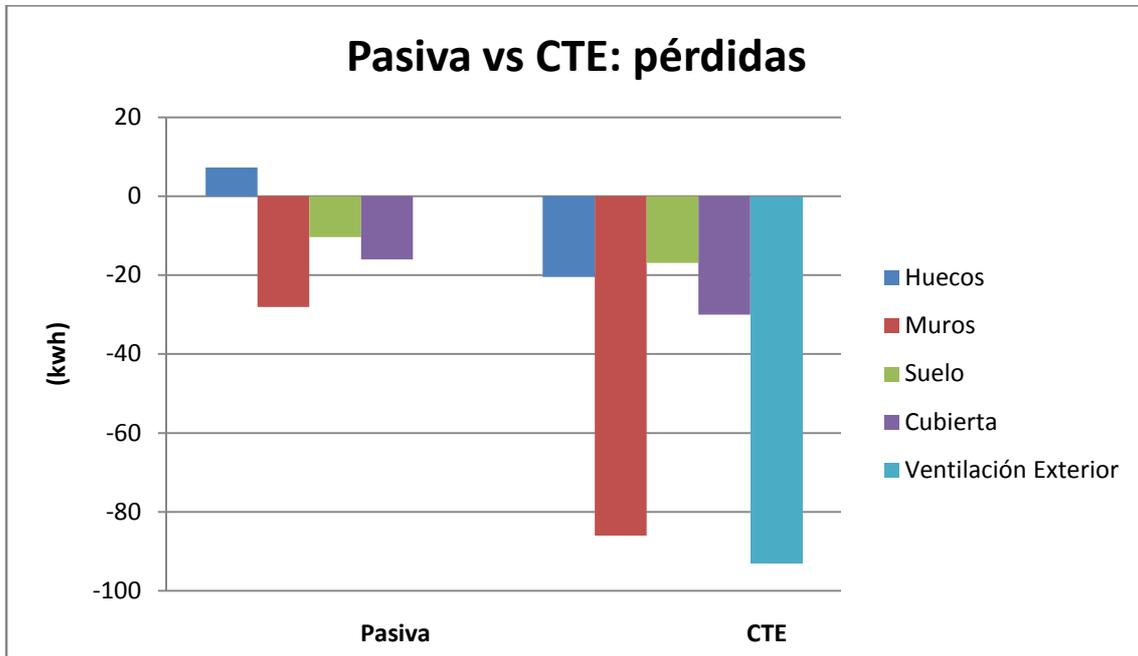


Figura 66. Pasiva vs CTE, pérdidas (Barcelona)

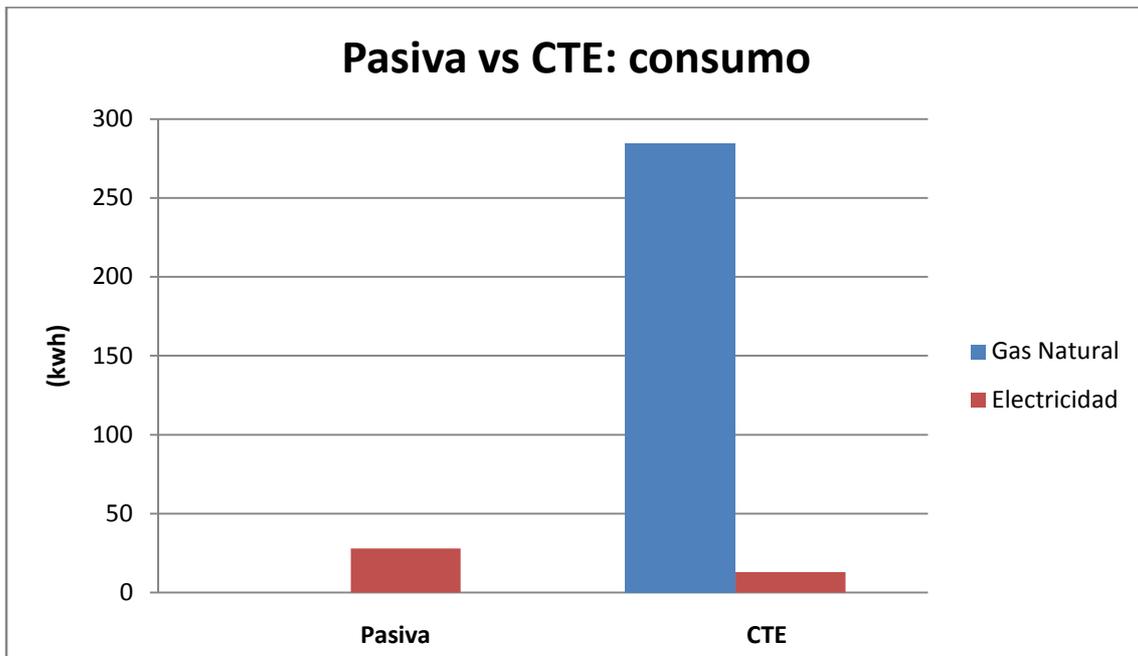


Figura 67. Pasiva vs CTE, consumo (Barcelona)

Oviedo:

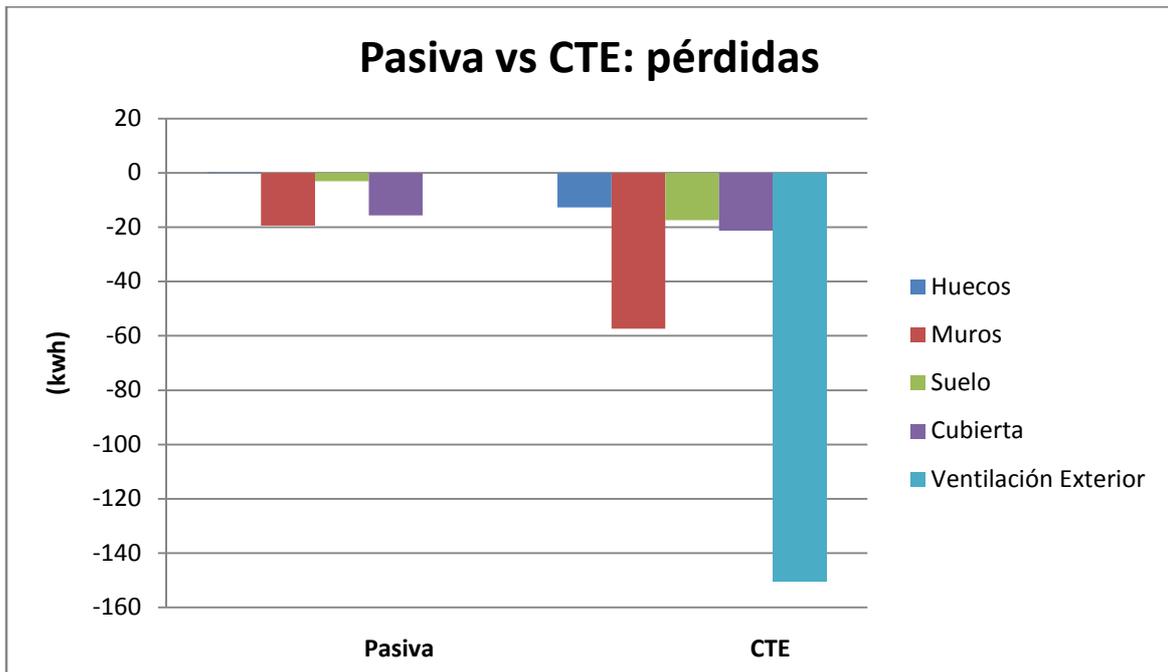


Figura 68. Pasiva vs CTE, pérdidas (Oviedo)

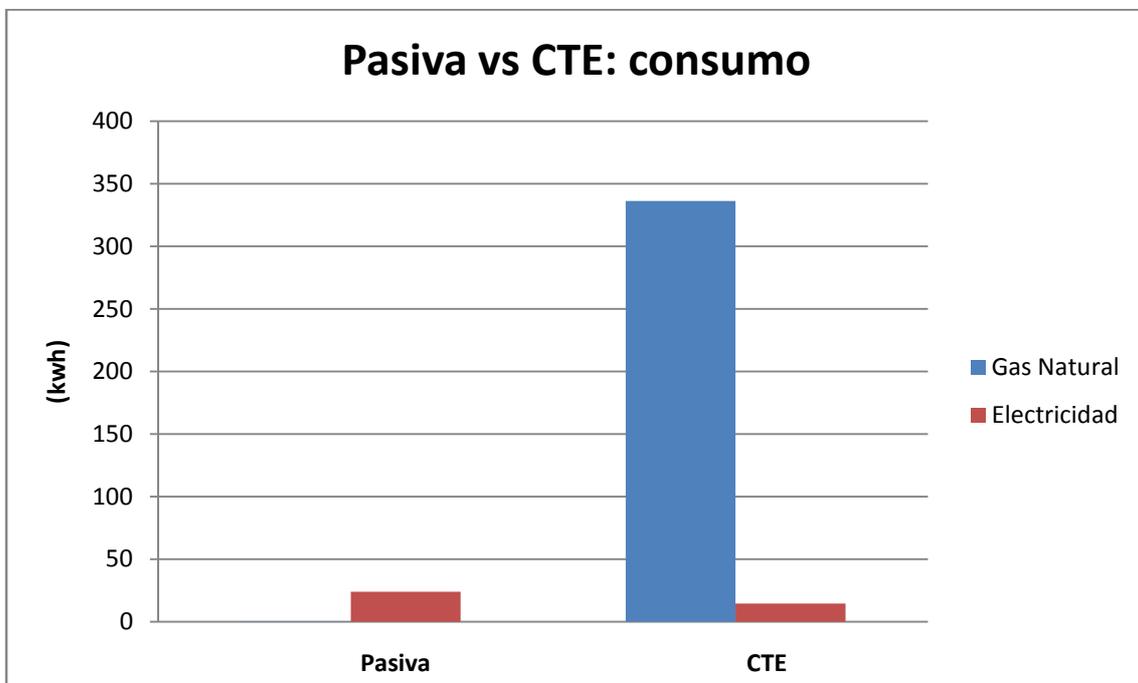


Figura 69. pasiva vs CTE, consumo (Oviedo)

Conclusiones:

- Sustituyendo el sistema de ventilación, eliminamos las pérdidas por ventilación exterior y reducimos la energía auxiliar requerida para mantener la temperatura de confort.
- Mejorando los valores de transmitancias de la envolvente (muros, cubiertas etc.), se reducen las pérdidas de forma considerable.
- Colocando un sistema de acristalamiento con transmitancias muy inferiores a las establecidas por el CTE se consiguen convertir las pérdidas por ventanas en ganancias.
- Colocando una ventana de elevadas prestaciones, reducimos mucho las ganancias solares pero por otro lado obtenemos una disminución considerable de las pérdidas.
- Si tenemos en cuenta los consumos de electricidad en la casa pasiva, se pueden ver ligeramente aumentados por consecuencia de los ventiladores y del sistema de ventilación mecánico en general.
- El consumo de gas natural se reduce hasta niveles casi inexistente en el caso de Oviedo, pero si observamos las simulaciones en Barcelona podemos obtener un consumo nulo (0 kwh) de gas natural. Esto conlleva a establecer que la introducción de los parámetros de la casa pasiva pueden llegar a ahorrar el 100% del consumo de calefacción que teníamos con los requisitos del CTE.

En general, podemos afirmar que la introducción de los parámetros de la casa pasiva es muy beneficiosa, simplemente con la reducción de pérdidas o la eliminación del consumo de gas natural podemos afirmar que tienen una eficiencia energética muy superior a lo establecido por el CTE.

10.4.4 Refrigeración

Durante este proyecto siempre se han realizado las simulaciones en invierno y los análisis de consumos se han hecho sobre la calefacción. Eso porque en invierno se consume una gran cantidad de energía para aportar el calor necesario a las viviendas y al contrario de la refrigeración, todas las viviendas requieren de sistema de calefacción.

Una vez evaluados todos los parámetros y modificaciones en el sistema durante el invierno, realizaremos una pequeña comparativa para poder observar si la casa pasiva sigue siendo igual de efectiva en verano como lo ha sido e invierno. A continuación se muestran los resultados de las simulaciones realizadas en una semana de diseño de verano donde se calculan los consumos para obtener la temperatura de confort deseada en el interior de la vivienda.

La simulación se realizar del 29 julio al 4 de agosto, que consiste en la semana típica de diseño de verano que establece el programa. Obtendremos resultados sobre consumo, pérdidas y ganancias.

Oviedo:

CTE		Pérdidas (Kwh)		
Acrilamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
-0,77	9,16	-23,13	4,9	-5,93
Ganancias (kwh)		enfriamiento sensible zona		
Ocupación	Ventanas exteriores			
5,56	28,54	-18,18		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
35,28	0			

Tabla 42. Refrigeración (CTE, Oviedo)

PASIVA				
Pérdidas (Kwh)				
Acristalamiento	Muros	Suelos terreno	Cubiertas	Vent. Exterior
6,67	1,43	-7,69	1,28	0
Ganancias (kwh)				
Ocupación	Ventanas exteriores	Calentamiento sensible zona		
5,42	7,76	-15,34		
Consumos totales Kwh)				
Electricidad	Gas Natural			
27,04	0			

Tabla 43. Refrigeración (casa pasiva, Oviedo)

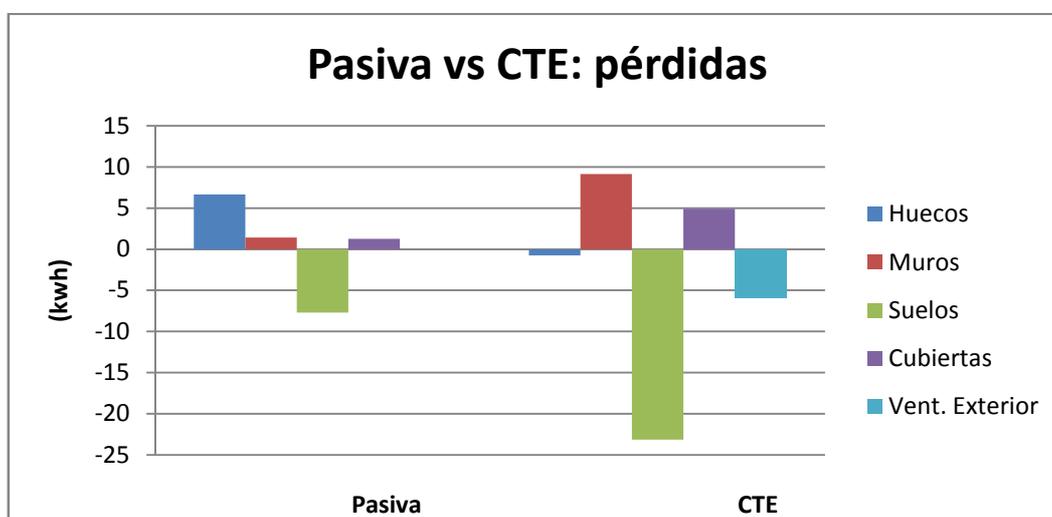


Tabla 44. Refrigeración pérdidas

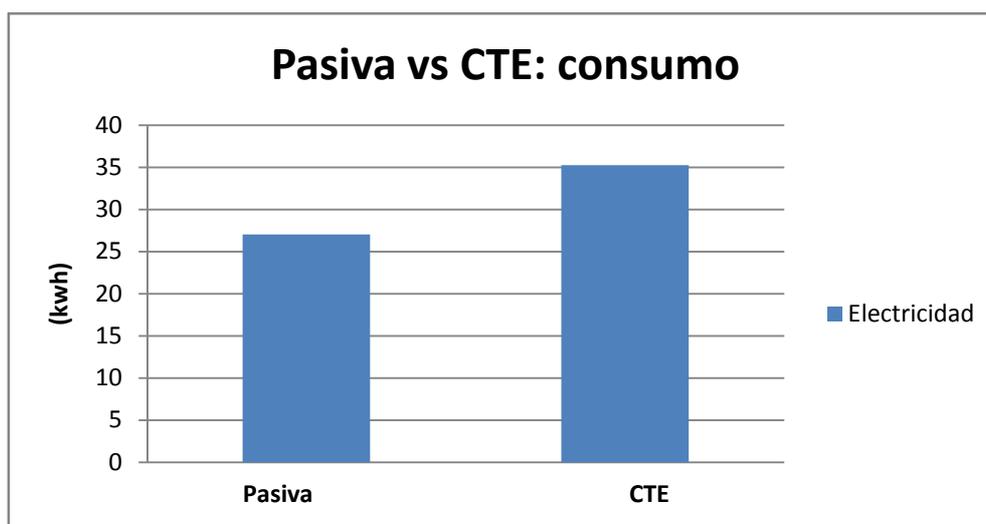


Tabla 45. Refrigeración consumo

La tendencia de los resultados es muy similar a los apartados anteriores, en general se reducen de forma considerable las pérdidas y los consumos. En algunos casos las ventanas pueden dejar de tener pérdidas y obtener ganancias de forma constante.

La reducción de las transmitancias hace que la envolvente no deje pasar tanta energía a través de los cerramientos y como consecuencia no entra tanto calor dentro de la vivienda. Lo que varía respecto los apartados anteriores donde se calculaba la calefacción es que ahora las pérdidas negativas son las que reciben calor extra y las pérdidas positivas las que reciben el frío.

Al final lo que se obtiene es una considerable disminución del consumo de refrigeración de un 30%. Por lo que podemos afirmar que los parámetros introducidos en la vivienda como consecuencia de utilizar los requisitos de la casa pasiva, también función de forma eficiente en verano.

11. CONCLUSIONES.

Acristalamientos:

- La introducción de la cámara aislante de aire (UVA) nos puede reducir la Transmitancia de la ventana en un 50%, lo que conlleva a un notable ahorro energético.
- El espesor de la cámara aislante de aire no debe superar el intervalo 6-16 mm, si no se respetan estos valores el efecto de la cámara puede ser perjudicial. En el caso de que se colocaran doble vidrio con cámaras superiores a los 16 mm, la transmitancia del hueco podría aumentar levemente y con esto facilitaríamos el paso de calor.
- La colocación de cristales de baja eficiencia (low-e) nos proporcionan valores de transmitancias que no se podrían obtener con facilidad en cristales sencillos.
- Considerando el hueco como el conjunto de marco-vidrio, podemos afirmar que el marco tiene un efecto de un 20% sobre las prestaciones de la ventana (pérdidas y ganancias) y el vidrio un 80%. Esta relación es fruto de utilizar unas dimensiones de ventana y marco normales.
- La sustitución de una ventana de mínimas prestaciones (exigidas por el CTE) por otra de unas características más elevadas nos produce un ahorro de calefacción entorno al 15%.

Orientación:

- Una ventana la podemos orientar como queramos a lo largo de los 360°, siempre tendrán ganancias solares y pérdidas de calor. Lo importante es intentar maximizar las ganancias y reducir al máximo las pérdidas, de esta forma estaremos aprovechando la energía solar. Las distintas simulaciones establecen que la orientación Sur (180°) es la que más ganancia solar produce y en la que

menos pérdidas se generan, esto es el resultado de que en la orientación Sur se disponen de más horas de sol.

- Conociendo los beneficios de la orientación Sur, se tienen que intentar colocar el máximo número de ventanas en la fachada con esa orientación.
- La orientación Norte (0° o 360°) es donde se generan el mayor valor de pérdidas y el mínimo en ganancias, esto conlleva a estudiar muy bien el tipo de ventana a instalar debido a que será la que deba tener unas mayores prestaciones.
- En las dos ubicaciones (Oviedo y Barcelona) las ganancias solares a lo largo del año siguen la misma distribución (la misma curva en la gráfica) pero de valores un poco distintos. Si hablamos de grados la mejor orientación para nuestra vivienda tendrá el intervalo de $111^\circ \leq \alpha < 249^\circ$.

Sistemas de ventilación:

- El requisito mínimo del CTE respecto a la ventilación, consiste en la ventilación de caudal constante mediante rejillas o aperturas de ventanas. Esto conlleva a una constante renovación del aire interior sin tener en cuenta las condiciones interiores (temperaturas, personas, humedad etc.).
- Utilizar la ventilación natural como sistema de ventilación de una vivienda conlleva unas pérdidas de energía enormes debido a la ventilación exterior. Las pérdidas de ventilación exterior son el resultado de introducir aire exterior a una temperatura muy por debajo de la temperatura interna de la vivienda.
- La renovación de aire constante eleva de forma considerable los gastos de energía auxiliar para mantener la temperatura de confort.

- Analizando otros sistemas, se observa que el sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor soluciona los problemas generados por la ventilación mínima del CTE.
- La ventilación mecánica con recuperador de calor también realiza la renovación del aire en función del aire fresco mínimo por persona pero no lo hace de forma constante sino cuando se requiere renovar el aire viciado. También influye de manera notable la recuperación de calor del aire viciado, porque de esta forma se consigue recuperar gran parte de la energía que antes se desperdiciaba.
- La sustitución del sistema de ventilación natural por el de ventilación mecánica con recuperador de calor no ahorra un 50-60% de consumo de calefacción.
- El sistema de ventilación mecánica aumenta un poco el consumo de energía eléctrica (debido a los ventiladores) pero no es comparable con el ahorro de combustible que supone su instalación.

Casa pasiva:

- Realizando simulaciones con los valores de cerramientos, ventanas y ventilación impuestos por el instituto alemán de la casa pasiva, observamos que una vivienda puede pasar el invierno sin consumo de energía auxiliar.
- Simplemente utilizan la energía solar y las bajas pérdidas de calor de la envolvente del edificio, para poder mantener una temperatura de confort dentro de la vivienda.
- Las ventanas tienen una transmitancia tan baja que los que antes eran pérdidas de calor ahora se convierten en ganancias, por este motivo podemos obtener unas ganancias solares totales muy elevadas.

CTE:

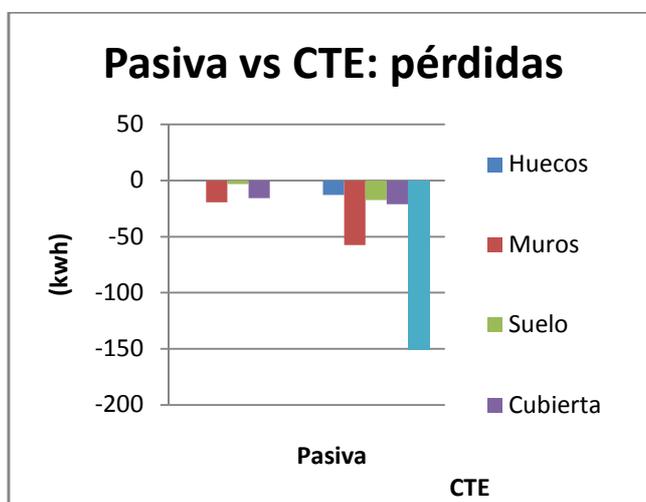
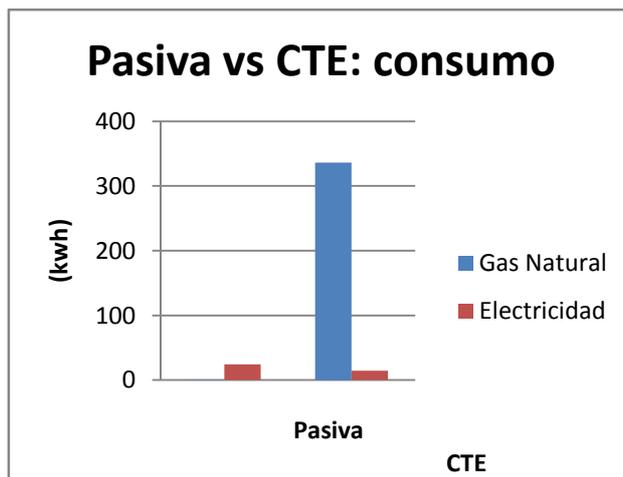
- Si con los requisitos mínimos del CTE (ventilación, ventanas y cerramientos) realizamos una simulación de todo el invierno y posteriormente los comparamos con la misma simulación pero con ventanas más eficientes y el sistema de ventilación mecánico con recuperador, obtenemos un ahorro de calefacción del 90%.
- Por separado observamos que la ventilación y las ventanas tienen un papel fundamental en la eficiencia energética, pero si juntamos estas modificaciones en una vivienda al mismo tiempo, vemos que los efectos son muy significativos.
- Estas simulaciones realizadas dejan entre dicho la fiabilidad de la ventilación natural y los valores de transmitancias establecidos por el CTE. Tendrían que requerir valores más restrictivos y relacionar las exigencias de ventilación con el ahorro energético.

CTE vs Casa pasiva:

- La introducción de mejores elementos aislantes y sistemas de ventilación más eficientes, hacen que la casa pasiva tenga pérdidas inferiores respecto a la casa simulada con CTE.
- El ahorro de combustible es del 100%, debido a que una casa pasiva no requiere consumo de energía auxiliar para mantener el confort. En determinadas ubicaciones se utiliza la calefacción de forma puntual, pero aún así el consumo sigue siendo inapreciable.
- Si realizamos simulaciones con distintos tamaños de ventanas podemos establecer que las pérdidas que pueda tener una ventana de requisitos mínimos (CTE) de 4m^2 son iguales a las que pueda tener una ventana de 10m^2 de casa pasiva. Esto nos lleva a la conclusión de que mejorando las ventanas podemos aumentar de forma considerable su tamaño y tener

pérdidas muy bajas. Como resultado se aumentan las ganancias solares y se reduce el consumo energético.

- Respecto a la orientación, la distribución de las ganancias-pérdidas a lo largo de los 360° es muy similar, lo único que los intervalos de valores varían en función de la calidad de la ventana.
- Comparando CTE y casa pasiva en las orientación Sur, podemos determinar que en el Sur no tenemos tantas exigencias climáticas y una ventana de CTE es más eficiente que una de casa pasiva. Esto es debido a que tienen menos capas y dejan pasar mejor la luz del sol, por este motivo en 180° no tendremos la obligación de colocar ventanas de elevadas prestaciones.
- En la orientación Norte si comparamos CTE y casa pasiva observamos que las ventanas del CTE tienen muchas pérdidas y sumado a las mínimas ganancias solares hacen que estas ventanas no sean lo suficientemente eficientes. Por este motivo se deduce que en la orientación Norte será donde se tengan que ubicar las ventanas más eficientes.
- Comparando dos viviendas idénticas con los requisitos de CTE y casa pasiva, observamos que las pérdidas de la casa pasiva son prácticamente despreciables y su consumo es mínimo. En el caso del CTE tenemos pérdidas notables y unos consumos muy elevados.
- La casa pasiva conlleva un ahorro energético considerable si comparamos sus consumos con los de una casa normal de condiciones mínimas de CTE, ya sea en invierno como en verano. Los consumos de calefacción y aire acondicionado siempre serán mucho menos en la casa pasiva que la casa del CTE.



Si se tuviera que definir este proyecto en un par de conclusiones, serían las siguientes:

- Los requisitos mínimos del CTE son suficientes para la edificación en nuestro país, pero si queremos introducir el concepto de ahorro energético en el proceso de la construcción tendremos que mirar más allá y empezar a tener como objetivo las casas pasivas. En general tenemos que cambiar el concepto de los sistemas de ventilación y cerramientos y conocer que el mínimo exigido no siempre es lo más beneficioso.
- Es un proceso que requiere una inversión inicial superior a las realizadas actualmente pero al cabo del tiempo se pueden amortizar debido a su bajo o nulo consumo de energía auxiliar.

12. BILIOGRAFÍA

Para este proyecto fin de carrera se han consultado numerosas fuentes de información que expongo a continuación:

Páginas web:

- www.aenor.es
- www.idae.es
- www.codigotecnico.org
- www.designbuilder.es
- www.todoarquitectura.com
- www.passiv.de
- www.ventanaseficientes.com
- www.plataforma-pep.org
- www.sol-arq.com
- www.instalacionesyeficienciaenergetica.com
- www.webderafael.com/calculoaforo
- www.ventanas-aluminio.es
- www.ventanaskline.com
- www.kommerling.es
- www.saunierduval.es
- www.viessmann.es
- www.recair.es
- [es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia energética](http://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia_energética)
- www.andima.es

Empresas:

- Tecnic En Tancaments Fiterm S.L. (Riudoms, Tarragona)
- Aluminios Reus S.L (Reus, Tarragona)
- Arquidoms SXXI S.L (Reus, Tarragona)

13. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ANTECEDENTES

Figura 1. Grafica consumo energético en España (2007)	8
Tabla 1. % vidrios sencillos en Europa (1999)	9
Figura 2. Certificado energético del edificio	10

ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

Figura 3. Envolverte del edificio	12
Figura 4. Transferencia de calor	13
Figura 5. Radiación solar	15

CONCEPTO DE CASA PASIVA

Figura 6. Esquema casa pasiva	25
Figura 7. Esquema objetivo proyecto	27
Tabla 2. Valores transmitancias casa pasiva	28

VENTANAS

Figura 8. Conjunto marco-vidrio	30
Figura 9. Ventana de madera	31
Figura 10. Ventana de aluminio	32
Figura 11. Ventana de PVC	33
Tabla 3. Propiedades generales de los marcos de las ventanas	33
Figura 12. Vidrio monolítico	35
Figura 13. Vidrio monolítico 2	35
Figura 14. Vidrio UVA	35
Figura 15. Vidrio UVA 2	35

Figura 16. Vidrio low-e	36
Figura 17. Vidrio low-e 2	36
Figura 18. Transmitancia del marco	38
Figura 19. Marco con RPT	38
Figura 20. Transmitancia del vidrio	39
Figura 21. Parámetros de la ventana	41

RECUPERADOR DE CALOR

Figura 22. Sistema ventilación convencional	50
Figura 23. Esquema recuperador de calor	51
Figura 24. Esquema recuperador de calor 2	52
Figura 25. Rendimiento flujo cruzado	53
Figura 26. Rendimiento flujo contracorriente	53
Figura 27. Rendimiento flujo contracorriente	54

NORMATIVA

Figura 28. Orientación del DB HE-1 Apéndice B figura A.1	58
Tabla 4. Tabla 2.1 del DB HE-1	59
Tabla 5. Tabla 2.3 del DB HE-1	60
Figura 29. Tabla C.1 del DB HE-1	61
Tabla 6. Tabla A.1 del DB HE-1	61
Tabla 7. Tabla D.2.10 del DB HE-1	63
Tabla 8. Tabla D.2.16 del DB HE-1	63
Tabla 9. Transmitancias marcos de ventanas	64
Figura 30. Zonas eólicas del DB HS-1	64
Figura 31. Zonas pluviométricas del DB HS-1	65
Tabla 10. Grado exposición viento del DB HS-1	65

Tabla 11. Grado impermeabilidad del DB HS-1	66
Figura 32. Esquema del vierteaguas del DB HS-1	66
Figura 33. Apertura admisión del DB HS-3	67
Tabla 12. Caudal de ventilación mínimo del DB HS-3	68
Tabla 13. Aérea aperturas del DB HS-3	68

PROGRAMA INFORMÁTICO

Figura 34. Edificio DesignBuilder	71
Figura 35. Gráfica DesignBuilder	71

ANÁLISIS DE VENTANAS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Figura 36. Edificio a simular	72
Figura 37. Edificio a simular 2	72
Tabla 14. Parámetros fijos de las simulaciones	73
Figura 38. Cámara de gas en UVA	74
Figura 39. Doble acristalamiento (UVA)	74
Tabla 15. Comparación transmitancia vidrio sencillo y UVA	75
Figura 40. Efecto de la cámara aislante de gas	75
Tabla 16. Transmitancia en función del espesor de cámara con doble 4 mm	76
Tabla 17. Transmitancia en función del espesor de cámara con low-e interior	77
Tabla 18. Transmitancia en función del espesor de cámara con low-e exterior	77
Figura 41. Influencia del espesor de la cámara de aire	78
Figura 42. Orientación solar invierno	80
Figura 43. Orientación solar verano	80
Figura 44. Grados orientación del DB HE-1 Apéndice B figura A.1	81
Figura 45. Orientación de fachadas	81
Figura 46. Gráfica de ganancia solar en Barcelona	83

Figura 47. Gráfica de ganancia solar en Oviedo	83
Tabla 19. Transmitancias Oviedo	87
Tabla 20. Acristalamiento Oviedo	87
Tabla 21. Transmitancias Barcelona	87
Tabla 22. Acristalamiento Barcelona	87
Tabla 23. Influencia marco en Barcelona	88
Figura 48. Influencia marco en Barcelona	88
Tabla 24. Influencia marco en Oviedo	89
Figura 49. Influencia marco en Oviedo	89
Tabla 25. Influencia vidrio en Barcelona	90
Figura 50. Influencia vidrio en Barcelona	90
Tabla 26. Influencia vidrio en Oviedo	91
Figura 51. Influencia vidrio en Oviedo	91
Tabla 27. Influencia vidrio low-e en Barcelona	92
Figura 52. Influencia vidrio low-e en Barcelona	92
Tabla 28. Influencia vidrio low-e en Oviedo	93
Figura 53. Influencia vidrio low-e en Oviedo	93
Tabla 29. Comparación ventanas en Barcelona	94
Figura 54. Comparación ventanas en Barcelona	94
Tabla 30. Comparación ventanas en Oviedo	95
Figura 55. Comparación ventanas en Oviedo	95
Tabla 31. Comparación ventilación en Barcelona	97
Figura 56. Comparación ventilación en Barcelona	97
Tabla 32. Comparación ventilación en Oviedo	98
Figura 57. Comparación ventilación en Oviedo	98
Tabla 33. Comparación final en Barcelona	100
Figura 58. Comparación final en Barcelona	101

Tabla 34. Comparación final en Oviedo	101
Figura 59. Comparación final en Oviedo	102
Tabla 35. Valores mínimos casa pasiva	103
Tabla 36. Simulación casa pasiva invierno en Barcelona	104
Tabla 37. Simulación casa pasiva invierno en Oviedo	104
Figura 60. Orientación CTE en Oviedo	105
Figura 61. Orientación casa pasiva en Oviedo	106
Figura 62. Tamaño ventana en Barcelona (Sur)	107
Figura 63. Tamaño ventana en Barcelona (Norte)	108
Figura 64. Tamaño ventana en Oviedo (Sur)	108
Figura 65. Tamaño ventana en Oviedo (Norte)	109
Tabla 38. Ganancias, pérdidas y consumo (CTE, Barcelona)	110
Tabla 39. Ganancias, pérdidas y consumo (casa pasiva, Barcelona)	111
Tabla 40. Ganancias, pérdidas y consumo (CTE, Oviedo)	111
Tabla 41. Ganancias, pérdidas y consumo (casa pasiva, Oviedo)	111
Figura 66. Pasiva vs CTE, pérdidas (Barcelona)	112
Figura 67. Pasiva vs CTE, consumo (Barcelona)	112
Figura 68. Pasiva vs CTE, pérdidas (Oviedo)	113
Figura 69. Pasiva vs CTE, consumo (Oviedo)	113
Tabla 42. Refrigeración (CTE, Oviedo)	115
Tabla 43. Refrigeración (casa pasiva, Oviedo)	116
Tabla 44. Refrigeración pérdidas	116
Tabla 45. Refrigeración consumo	116

