

PROYECTO FINAL DE GRADO.
GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA.
Modalidad: Desarrollo de Proyectos de Construcción.

Curso 2013-14

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EDIFICIOS EXISTENTES

junio de 2014

AUTOR:

OCTAVIO LACUEVA HERNÁNDEZ

TUTOR ACADÉMICO:

IGNACIO GUILLÉN GUILLAMÓN

Dpto. Física Aplicada



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

ETS de Ingeniería de Edificación
Universitat Politècnica de València

Resumen/Summary

Se trata de un proyecto de mejora de la eficiencia energética de edificios existentes. La intención es ver qué mejoras se podrían aplicar en un edificio concreto del norte de España (La Rioja), con una climatología fría en invierno y calurosa en verano, cuál sería la inversión, en cuánto tiempo se podría amortizar dicha inversión y qué ahorro, tanto energético como económico, supondría para el usuario del edificio.

This is a Project to improve the energy efficiency of existing buildings. The purpose is to see what improvements could be implemented in a concrete building in the northern part of Spain (La Rioja), with a cold weather in winter and hot in summer. Several factors to look into such as the investment needed, the time it would take to amortize the investment and the energy and economic savings for the user of the building.

Palabras clave: eficiencia energética, rehabilitación, sostenibilidad.

Keywords: energy efficiency, refurbishment, sustainability.

Agradecimientos

Sin ser este un capítulo específico del proyecto, probablemente represente un apartado importante dentro del mismo, ya que se trata del lugar en el que puedo devolver de manera escrita todo el esfuerzo que tantas personas me han prestado.

Doy por tanto las gracias a mi tutor, Ignacio, por ayudarme a llevar a buen puerto este trabajo, por robarle tantas horas de su valioso tiempo y, sobre todo, por despertar un interés constante tanto en sus clases como en sus reuniones, causantes de la realización del presente proyecto.

También me gustaría dar las gracias a mi familia, que siempre ha estado ahí cuando más lo necesitaba, siendo un apoyo constante tanto moral como económicamente (este último factor cada vez más difícil en los tiempos que corren), proporcionándome, cronológicamente y por orden de importancia, una educación y una formación fantástica.

Por último me gustaría dedicar este proyecto a mi abuelo Juan Hernández, la persona que más he querido, quiero y querré en este mundo; la persona que más ha confiado en mí desde siempre y que ha tenido una fe ciega en que yo prospere tanto como persona como profesional. Lamentablemente se ha perdido muchos de mis logros personales y profesionales, pero seguro que los ha disfrutado desde el cielo.

A todos vosotros, muchas gracias.

Acrónimos

ACS: Agua Caliente Sanitaria

CTE: Código Técnico de la Edificación

EHE: Instrucción Española de Hormigón Estructural

GBC: Green Building Council

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

INE: Instituto Nacional de Estadística

Índice

Resumen/Summary	1
Agradecimientos.....	2
Acrónimos.....	3
Índice	4
Capítulo 1.....	6
Introducción	6
1 Ámbito de aplicación.	6
2 Objeto y alcance.	11
3 Metodología.	12
Capítulo 2.....	14
Hipótesis de estudio	14
1 Edificio existente.....	15
2 Fundamentación teórica.....	23
Capítulo 3.....	27
Análisis de la situación actual	27
1 Emplazamiento del edificio.....	28
2 Demanda energética del edificio.	32
3 Certificación energética del edificio.	38
3.1 CE ³ X v1.1.	39
3.2 CALENER VYP.....	41
Capítulo 4.....	45
Estrategias, acciones y propuestas de mejora	45
1 Cumplimiento de la normativa.	46
1.1 CTE.	46
1.2 VERDE RH RESIDENCIAL	64

2	Técnicas de ensayo empleadas.....	67
2.1	Cámara termográfica.	68
3	Propuestas de mejora.....	70
3.1	CASO 1.1.....	72
3.2	CASO 1.2.....	74
3.3	CASO 2.....	80
4.3	CASO 3.....	82
	Capítulo 5.....	86
	Resultados	86
1	Ahorro energético.....	86
2	Análisis de la amortización económica.....	93
3	Certificación energética de las propuestas de mejora.....	103
	Capítulo 6.....	107
	Conclusiones.....	107
	Capítulo 7.....	110
	Referencias Bibliográficas	110
	Anexos	113

Capítulo 1.

Introducción

La mayor parte de los edificios que habitaremos en 2.050 ya están contruidos. Incluso, se podría afirmar que gran parte de ellos se construyeron antes de la crisis del petróleo y con unos estándares poco acordes a las necesidades actuales y futuras de eficiencia energética ⁽¹⁾.

El presente proyecto tiene como misión el estudio de aquellas medidas que consigan unas mayores reducciones de los impactos ambientales (y la magnitud de esas reducciones) en el caso de rehabilitación energética de viviendas, según unos objetivos concretos posteriormente definidos, respecto de su situación actual.

Además, también se pretende obtener el ahorro energético que se consigue en el ciclo de vida del edificio y un análisis de los costes económicos de las soluciones propuestas para llevar a cabo dichas reducciones de impactos ambientales, intentando mostrar su viabilidad actual.

1 Ámbito de aplicación.

En primer lugar, comentar que la situación geográfica donde se ubica el presente proyecto corresponde a una ciudad de la Comunidad de La Rioja, pero que dicho estudio podría englobar cualquier municipio de la Comunidad Riojana como gran parte de la Comunidad Foral de Navarra, Comunidad de Aragón o País Vasco debido a la similitud, tanto

geográfica como climatológica de dichas comunidades. La localización de este proyecto se debe a dos motivos, por un lado, ser la zona de donde procedo y de la que mayores conocimientos tengo, y por otro, donde residen mis principales expectativas de progresión laboral.

En segundo lugar, para establecer un ámbito de aplicación, el primer paso a realizar sería aislar una o más tipologías de vivienda, lo más homogéneas posibles al edificio de estudio, para así poder extrapolar y desarrollar un procedimiento de rehabilitación que reduzca los impactos ambientales, en cuanto a energía se refiere, en la mayor proporción posible. Para definir esta homogeneidad energética, se ha propuesto aislar las construcciones que compartan una serie de características constructivas que las hagan comportarse de manera similar hasta cierto punto.

Así pues, como se muestra en los gráficos siguientes, creados a partir de datos extraídos del INE y de las estadísticas obtenidas por el Gobierno de La Rioja ⁽²⁾, se ha definido que el ámbito de aplicación de este proyecto se centra en viviendas de entre dos y cinco plantas por ser la tipología más abundante, comprendidas entre los años 1980 y 2000 (tras la crisis del petróleo y anterior a la entrada en vigor del CTE), por compartir unas características constructivas homogéneas desde el punto de vista de déficit energético.

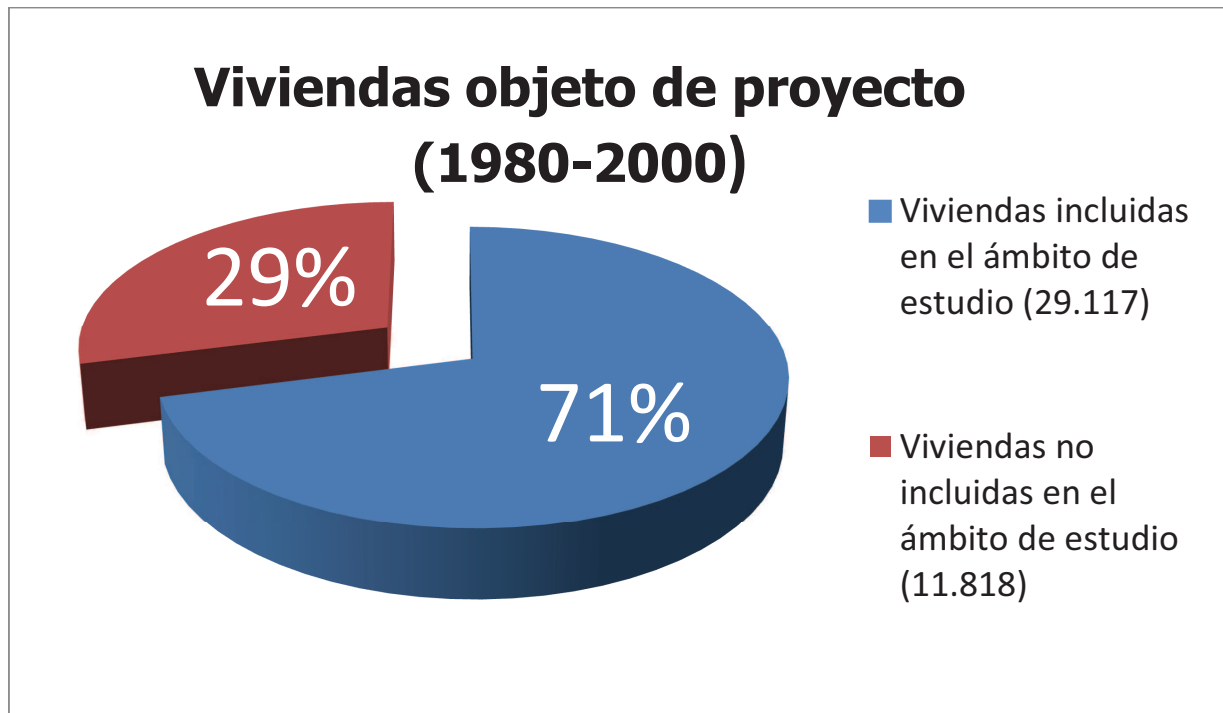


Gráfico 1. Viviendas objeto de proyecto (1980-2000).

Como se observa en el gráfico 1, para un volumen construido entre los años 1980 y 2000 de 40.935 viviendas, un 71% de ellas (29.117) entrarían dentro del ámbito de aplicación del proyecto, ya que en ese 71% se incluyen las viviendas de entre dos y cinco plantas construidas entre los años 1980 y 2000. El 29% restante (11.818) corresponde a edificios de viviendas de diversos usos, tipologías y número de plantas distintas a las estudiadas, por lo que, al ser un grupo edificatorio demasiado heterogéneo, se ha decidido no incluirlo en dicho estudio.

Estos datos indican que, en el caso de que dicho proyecto fuese viable, se podría aplicar a gran parte de las viviendas construidas en la Comunidad de La Rioja, obteniendo unos resultados muy interesantes para el medio ambiente y la economía a nivel provincial; pudiendo ser este uno de los primeros pasos para alcanzar unos resultados favorables a nivel nacional.

Las edificaciones a estudiar en este proyecto comparten una serie de características a nivel de déficit energético, por lo que las estrategias para reducir los impactos ambientales de esta tipología se podrían englobar bajo un procedimiento común. Entre estas características podemos encontrar:

- Cimentación de zapatas aisladas y estructura porticada de hormigón armado.
- Forjados unidireccionales con bovedillas de cerámica u hormigón sobre viguetas de hormigón armado o similar.
- Muros de fachada de dos hojas de ladrillo cerámico caravista y ladrillo cerámico hueco doble o simple de 15 a 30cm. En la mayoría de los casos con un aislamiento mínimo o deteriorado por el paso del tiempo.
- Tabiques interiores y muros de separación de viviendas o edificios de ladrillo cerámico simple de espesores entre 7 y 15cm.
- Acabados interiores de paramentos y techos de mortero y yeso.
- Solados de baldosa hidráulica o de terrazo y alicatados de baldosa cerámica, tomados con mortero de cemento.
- Cubiertas planas o inclinadas, sin aislar, y con revestimiento final de barro cocido o teja árabe.
- Carpinterías exteriores de madera, sin rotura de puente térmico y, en la mayoría de los casos, de vidrio simple.

Al ser un parque inmobiliario amplio (casi 30.000 viviendas) se considera que el resultado del proyecto puede ser una gran oportunidad para observar la magnitud de los cambios que se deberían acometer para encaminar el modelo constructivo actual hacia un nuevo modelo basado en la sostenibilidad. Teniendo en cuenta que con este proyecto se intenta comprobar la viabilidad económica de las estrategias de reducción de impactos ambientales en rehabilitaciones energéticas, la posibilidad de conocer qué escenario encontraríamos si

se consiguiera rehabilitar dicho parque inmobiliario con el modelo propuesto, nos permitiría aproximar cuán lejos estamos de lo que podríamos llamar el modelo “ideal” de rehabilitación sostenible.

A continuación se muestran algunos gráficos desglosados que han servido para establecer el ámbito de aplicación:

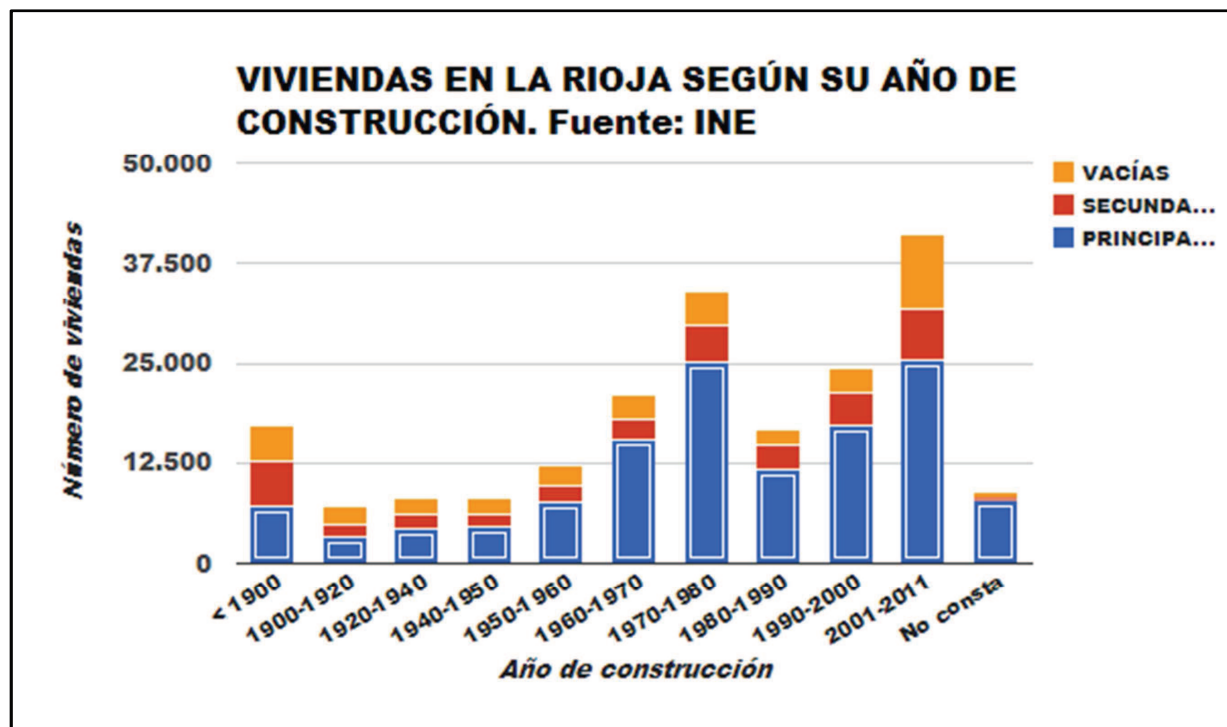


Gráfico 2. Viviendas en La Rioja según su año de construcción.

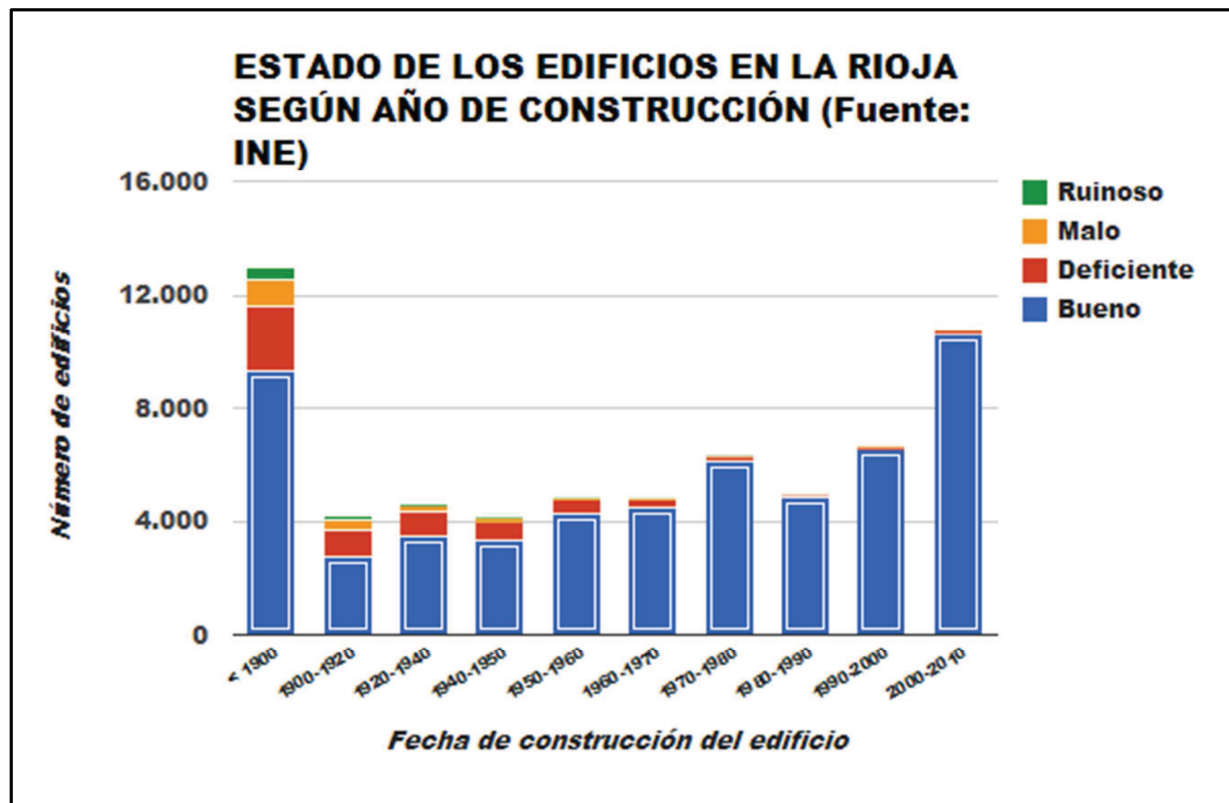


Gráfico 3. Estado de los edificios en La Rioja según su año de construcción.

2 Objeto y alcance.

Los objetivos y metas a alcanzar en este proyecto serán los siguientes:

- Obtener en el edificio objeto de estudio, una calificación energética lo más favorable posible de acuerdo a las exigencias del RD 235/2013. En cualquier caso, a pesar de no ser de obligado cumplimiento para los edificios incluidos en el ámbito de aplicación de este proyecto y al procurar con dicho proyecto encaminar el proceso de rehabilitación sostenible, se ha creído conveniente cumplir con los criterios de la única normativa pública existente en España que regula el proceso estándar de evaluación energética. Además, como meta extraordinaria se pretende obtener un

edificio rehabilitado que cumpla con los requisitos mínimos exigidos por la legislación para obra nueva, y por ello, se ha optado por utilizar las mismas herramientas empleadas en la certificación energética de edificios.

- Determinar los criterios de rehabilitación de las edificaciones incluidas en el ámbito de estudio, a través del análisis del edificio objeto de estudio, observando los porcentajes de reducción del impacto ambiental respecto de la situación actual (consumo de energía y emisiones de CO₂). Para ello se realizarán mejoras en los sistemas y materiales para alcanzar la máxima reducción dentro del ciclo de vida del edificio.
- Proponer las bases para establecer un procedimiento estándar de rehabilitación energética y mejora ambiental para este tipo de viviendas. Este proyecto no tiene como objetivo servir para el estudio de otras tipologías edificatorias que no entran dentro del ámbito de estudio.

3 Metodología.

La metodología aplicada al presente proyecto consiste en el seguimiento de una serie de pasos para determinar si las características de la rehabilitación a realizar cumplirán con los objetivos anteriormente citados. Entre estos pasos, de manera resumida, se encuentra:

- Obtener información del edificio a rehabilitar energéticamente mediante documentación y visitas: planos, sistemas constructivos e instalaciones, consumos, perfiles de uso, clima, situación geográfica, etc.

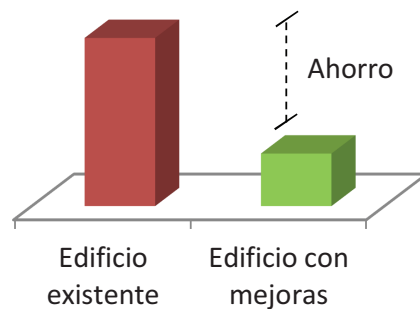
- Elaborar, sobre base informática, un estudio de los impactos ambientales del edificio, con la ayuda de software especializado (LIDER, CEX, ECOTECT ANALYSIS, PRESTO, Hojas de cálculo de Excel, etc.)
- Establecer las estrategias y acciones de reducción de impacto ambiental más oportunas para las fases de rehabilitación y uso, adjuntando valoración técnica y económica.
- Partiendo de lo anterior, realizar un perfil de los impactos ambientales del edificio a partir de su rehabilitación energética y posterior gestión, y observar los porcentajes de reducción obtenidos en cada uno de los puntos estudiados.

Capítulo 2.

Hipótesis de estudio

En la elaboración de este proyecto se tomarán como hipótesis de estudio:

- a) El edificio base existente objeto de estudio.
- b) El edificio rehabilitado, siguiendo una serie de propuestas para rehabilitación energética.



El edificio base existente será el punto de partida para ver si las mejoras aplicadas en el modelo de edificio rehabilitado consiguen unas reducciones significativas, desde el punto de vista de la edificación sostenible, en los consumos de energía y emisiones de CO₂, y desde el punto de vista económico.

1 Edificio existente.

El edificio existente que servirá como modelo está ubicado en Calahorra, municipio de la Comunidad Autónoma de La Rioja; situado al Este de la provincia y perteneciente a la comarca de La Rioja Baja, en el límite con la Comunidad Foral de Navarra y en el margen derecho del Ebro. La ciudad se asienta sobre una colina de 358 m. de altitud, en la confluencia de los ríos Ebro y Cidacos y su término municipal abarca una extensión de 91,41 km².

Situada en el eje del Valle del Ebro, dista 48 km de la capital, Logroño, 120 km de Zaragoza y 180 km de Bilbao, a las que se une a través de tres vías: la carretera nacional 232, la autopista A-68 (Vasco-Aragonesa) y la línea férrea Bilbao-Zaragoza.

La Rioja reparte su territorio entre montañas del Sistema Ibérico al sur, las montañas vasco-cantábricas al norte y las llanuras del valle del Ebro. El contraste entre montaña y llanura proporciona al conjunto gran variedad ecológica. Calahorra se encuentra en la zona llana, junto a la depresión del Ebro.

El clima riojano está condicionado por la topografía. A pesar de estar relativamente cerca del mar Cantábrico su influencia no se deja sentir por encontrarse a sotavento de los vientos dominantes del oeste. El efecto barrera de la cordillera Cantábrica impide el paso frecuente de las masas de aire húmedo, mientras que el efecto foehn proporciona a la región vientos secos y cálidos, no demasiado fuertes, porque es el extremo oriental de la cordillera Cantábrica, mucho más baja. Esta circunstancia hace que los días nublados en La Rioja sean relativamente frecuentes, aunque no así los días con precipitaciones.

Las temperaturas presentan un gradiente muy acusado y con un patrón similar al de las precipitaciones. Descienden desde el valle del Ebro hacia el sur y las montañas. También presentan unas pequeñas

diferencias de este, más cálido, a oeste. Las temperaturas medias anuales en el valle del Ebro son de 12 °C, mientras que en las montañas del sur descienden hasta los 4 °C. Esto implica que buena parte de las precipitaciones en las montañas sean en forma de nieve. El mes más frío es enero y el más caluroso julio. En enero se pueden alcanzar temperaturas bajo 0 °C en toda la región lo que quiere decir que en toda la región se dan heladas seguras. Los veranos no son muy calurosos, más bien frescos, sobre todo por la noche (3).

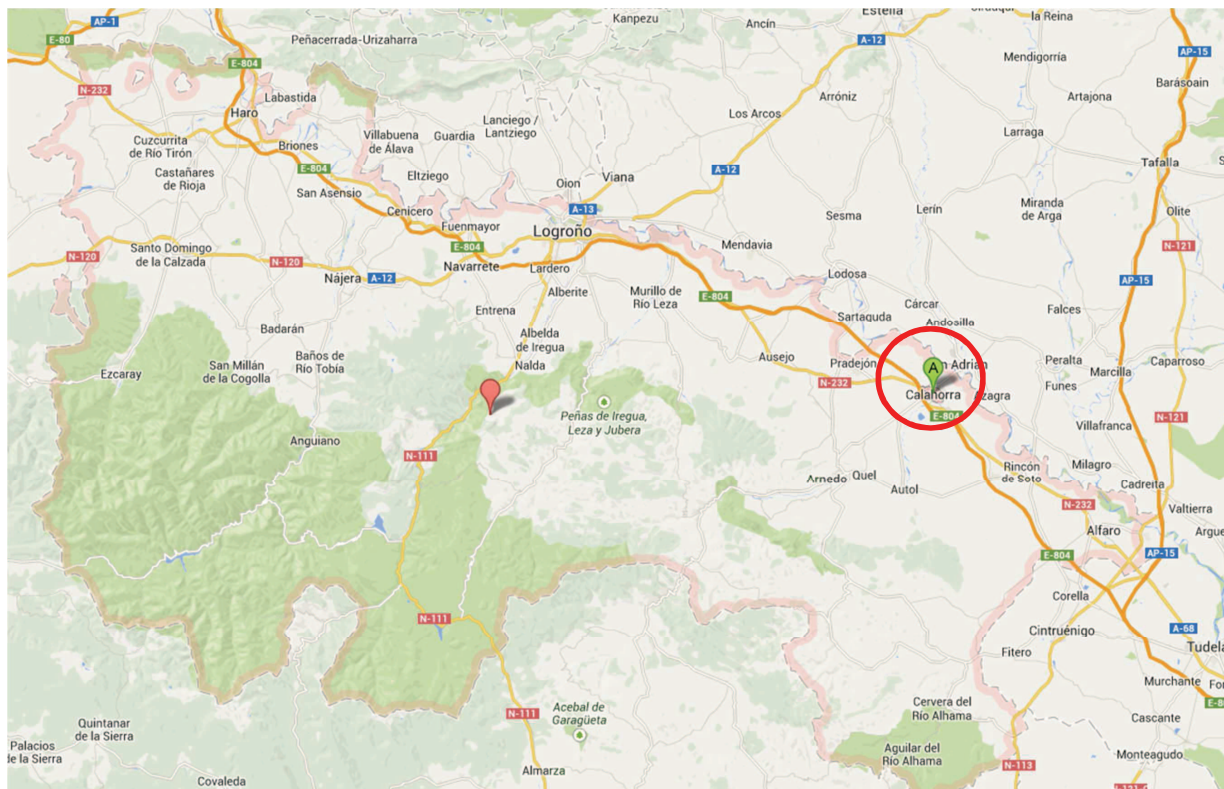


Imagen 1. Mapa de La Rioja; situación de Calahorra.

El edificio objeto de estudio está compuesto por un bloque rectangular con dos fachadas a la calle (C/Galicia y C/Doctores Castroviejo), dos fachadas a patio interior y dos medianeras, una en cada calle. La redacción original del proyecto data del año 1988, desde el cual no ha sufrido ninguna reforma integral. Su superficie es de 485,37 m², repartida en tres plantas destinadas a viviendas (dos por planta).

La planta baja está formada por locales privados destinados a aparcamiento, así como también el vestíbulo de acceso a las viviendas. Tanto en planta primera, como segunda y tercera, se encuentran dos viviendas de aproximadamente 78 m² útiles cada una.



Imagen 2. Plano de emplazamiento del edificio objeto de estudio en Calahorra.

El edificio está realizado mediante zapatas aisladas con vigas perimetrales de atado para sustentar los muros de planta baja; estructura porticada a base de pilares y jácenas de hormigón armado y forjados unidireccionales realizados mediante nervios de hormigón armado semirresistente y bovedilla cerámica. Toda la edificación se encuentra al mismo nivel.

Los muros perimetrales de fachada están formados por una única tabiquería de fábrica de ladrillo caravista colocado a medio pie en la cara exterior, un aislamiento de 4 cm, un trasdosado de ladrillo hueco

simple colocado a tabicón en la cara interior, un enfoscado de yeso y una capa de pintura.



Imagen 3. Fachada C/ Galicia



Imagen 4. Fachada C/Dres. Castroviejo.



Imagen 5. Fachada edificio existente.

La cubierta está realizada a base de teja curva cerámica recibida con mortero de cemento sobre tablero de bardos o forjado según zonas.



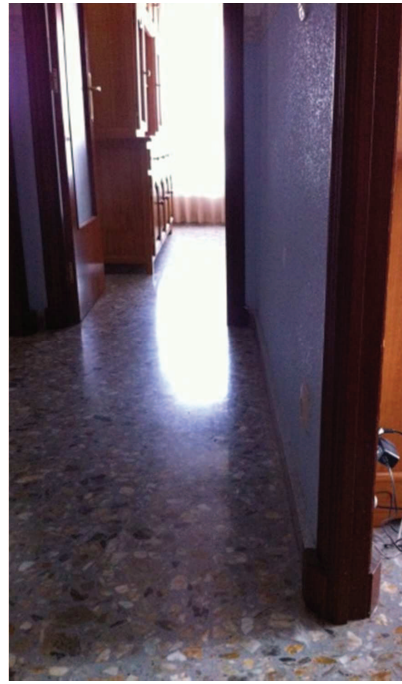
Imagen 6. Cubierta zona patio interior.



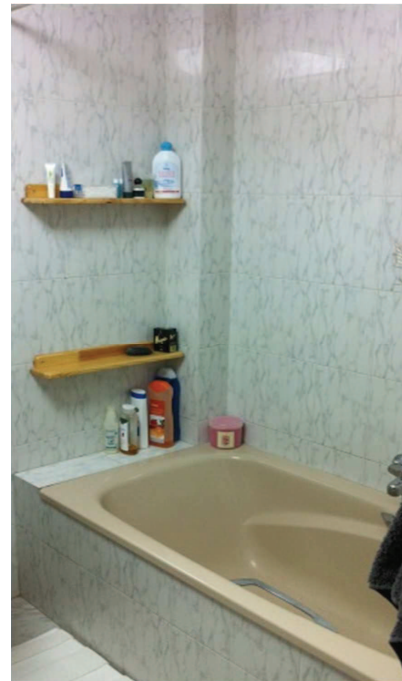
Imagen 7. Cubierta zona C/ Galicia.

El aislamiento térmico que se supone en fachadas, según proyecto original, tiene entre 2 y 4 cm, sin especificar el tipo; mientras que la cubierta presenta un aislamiento de 3 cm.

La compartimentación interior queda ejecutada mediante ladrillo hueco simple colocado a tabicón con un revestimiento por ambas caras de mortero hidrófugo. En todos los cuartos secos (pasillos, escaleras, dormitorios y salón) los paramentos verticales tienen un revestimiento de guarnecido y lucido de yeso con pintura plástica lisa; en cocina, aseos y baños, los paramentos están revestidos con baldosa cerámica colocada con cemento cola sobre mortero impermeable.



Imágenes 8 y 9. Paramentos verticales del interior de una vivienda tipo.



Imágenes 10 y 11. Paramentos verticales del interior de una vivienda tipo.

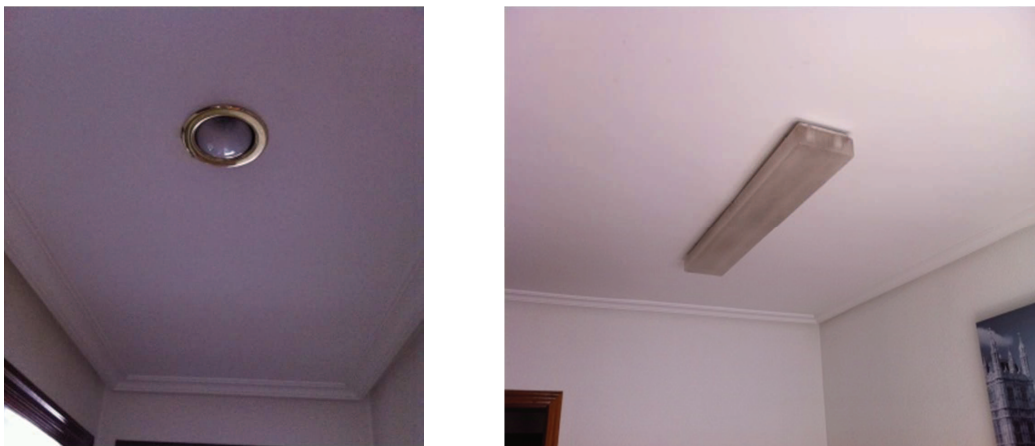
Todos los pavimentos de los cuartos secos, anteriormente definidos, están formados por baldosa de terrazo de 40x40 cm y 4 cm de espesor colocada sobre una base de mortero nivelada, mientras que

los alicatados de los cuartos húmedos (cocina, aseos y baños) son de baldosa de gres porcelánico de 30x30 tomada con mortero de cemento.



Imágenes 12, 13 y 14. Pavimentos del interior de una vivienda tipo.

En todas las viviendas existe un falso techo continuo de escayola, mientras que en las escaleras el acabado es el mismo que en los paramentos verticales.



Imágenes 15 y 16. Falso techo de escayola.

Toda la carpintería exterior es de madera tipo A2 con junta de neopreno, formada por puertas y ventanas abatibles. En el interior de las viviendas existen varios tipos de puertas:

- Puerta de una hoja ciega y batiente, de tablero de madera de alta densidad.
- Puerta de una hoja acristalada y batiente, de tablero de madera de alta densidad.

Todos los vidrios de la vivienda son con cámara tipo Climalit 4+6+4, transparente.



Imágenes 17, 18 y 19. Carpintería interior (17 y 18) y exterior (19).

La fuente principal de energía utilizada tanto para la calefacción como para ACS es el gas; en el edificio no hay un sistema centralizado, sino que cada vivienda tiene sus propios sistemas, que se describen a continuación:

- Calefacción: mediante caldera estándar de gas natural y radiadores en todos los locales de la vivienda.
- Refrigeración: existen sistemas de refrigeración en algunas viviendas, colocados posteriormente a la ejecución del edificio por decisión de cada inquilino.
- ACS: al igual que la calefacción, mediante caldera estándar de gas natural.



Imagen 20. Calefacción de gas.



Imagen 21. Radiador tipo.



Imagen 22. Sistema climatización

2 Fundamentación teórica.

En el momento histórico actual y tras el proceso evolutivo que se ha sufrido a nivel social desde la Revolución Industrial, los factores más relevantes para la toma de decisiones en cuanto al diseño y construcción de edificios han sido sobre todo económicos, estéticos y funcionales, dejando un poco olvidados, en algunos casos, valores como el respeto ambiental ⁽⁴⁾.

Con el modelo de rehabilitación energética lo que se pretende es dar la vuelta a este concepto y aumentar la importancia de estos valores menos habituales. Como se ha descrito anteriormente, un objetivo es alcanzar reducciones considerables en los vectores estudiados, por ello el modelo aquí propuesto intentará dar cobertura a las necesidades básicas intentando priorizar el punto de vista ambiental.

Para ello se establecen unas estrategias, en las que cada una tiene como requisito haber agotado las posibilidades de la anterior (sería absurdo hablar de climatizar un habitáculo sin haber mejorado sus aislamientos):

- Reducción de la demanda.
- Aumento de la eficiencia, referida a instalaciones y equipos.
- Aprovechamiento de los recursos locales, hasta el límite de sus posibilidades.
- Elaboración de mejoras en la gestión y el uso del edificio.

Por otro lado, es importante hablar del ciclo de vida. Dado que el ciclo de vida de un edificio consta de varias fases, se deben ir encadenando las acciones que permiten reducir el impacto ambiental. El objetivo final de una rehabilitación ambiental completa debería ser el intervenir y valorar todos los aspectos de cada fase, donde cada una tenga su valor relativo ⁽⁵⁾.

Por lo que respecta a este proyecto, vale la pena destacar que teniendo en cuenta los datos de diversos estudios sobre el consumo de energía en las distintas fases del ciclo de vida de un edificio durante 50 años ⁽⁶⁾⁽⁷⁾, la fase que más peso representa sobre el total es la de vida útil del edificio (uso y mantenimiento con un 65%), dentro de la cual están los usos de climatización, calefacción y ACS que representan hasta el 60% de la energía total gastada por las viviendas en esta fase.

Así pues en este modelo de rehabilitación energética se estaría incidiendo en casi el 40% de la energía total que se le imputa a un edificio durante su vida útil, así como todas las emisiones de CO₂ que

esta lleva asociada. Además, si se aumentase la duración de la vida útil del edificio, la proporción relativa que se lleva la fase de uso y mantenimiento siempre aumentaría, pudiendo llegar, por ejemplo, a valores entorno al 80% en ciclos de vida de 100 años o más.

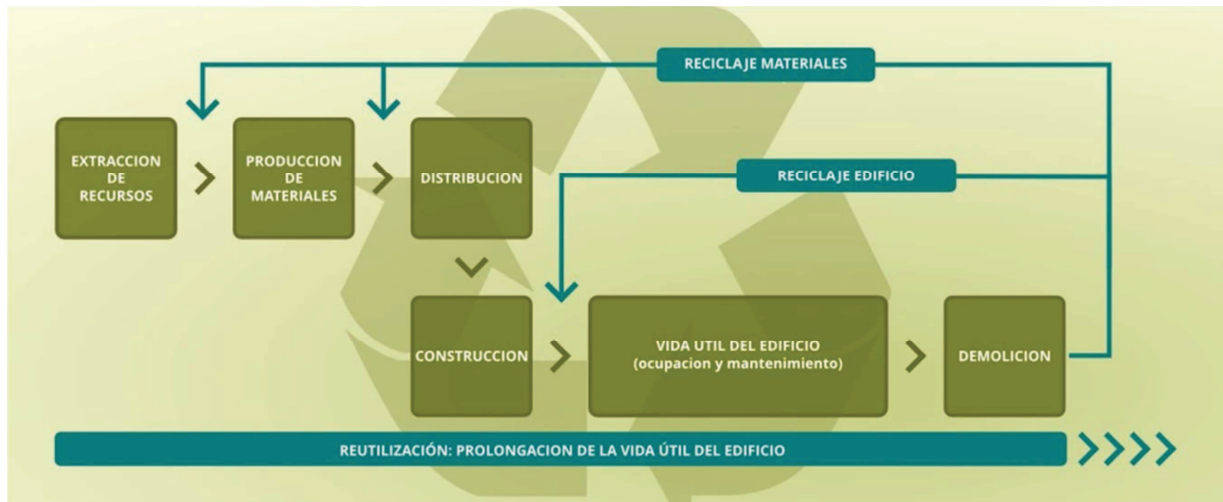


Imagen 23. Ciclo de vida de un edificio y su influencia sobre el medio ambiente.

Por otro lado, es conveniente argumentar el período de tiempo que se asume como vida útil del edificio. En general y como práctica habitual se establece un período de vida útil de un edificio de viviendas en 50 años. Ello es debido a que muchas de las edificaciones de los últimos 100 años se han construido con hormigón armado en su estructura, y para este material la norma EHE en su artículo 5º estipula que las estructuras de edificios de viviendas u oficinas deben tener una vida útil mínima de 50 años.

Ahora bien, en caso de rehabilitaciones no existe ninguna referencia sobre la durabilidad de estructuras, así que aplicando un punto de vista ortodoxo al análisis de ciclo de vida, muchas de las viviendas incluidas en el ámbito de aplicación de este proyecto ya habrían sobrepasado más de la mitad de su período de vida útil. Lo que se pretende con esto, es reflexionar sobre la multitud de factores que intervienen en la vida útil de un edificio, y que por tanto, el período de

tiempo utilizado se podría relativizar a cada caso concreto. Como esa visión tan ortodoxa es poco pragmática, procurar alargar el período de vida es una opción más que recomendable, ya que, energéticamente hablando, es mucho menos intensivo realizar una rehabilitación que ejecutar una obra nueva.

Por todo ello, se asume que el estado del edificio garantiza 50 años más de vida útil, aunque el análisis concreto para el refuerzo estructural que pudiera ser necesario en algunos casos se escapa de los objetivos planteados en este proyecto ⁽⁸⁾.

Capítulo 3.

Análisis de la situación actual

En este apartado se tratará de obtener la mayor información posible, bien sea mediante métodos informáticos reconocidos, o bien mediante visitas al edificio, para poder conocer cuál es la situación actual del mismo (localización, consumos, deterioros, etc.).

Al no tener la totalidad de los datos del consumo específico del edificio objeto de estudio debido, en algunos casos, a la negativa de los propios vecinos a facilitarlos y, en otros, a que una de las viviendas no tenía inquilinos, se procederá a realizar un estudio lo más detallado posible con los datos de consumo de la única vivienda que quiso colaborar con este estudio. Dicha vivienda estaba formada por una persona, siendo tres personas la media que habitan en las vivienda del edificio, por lo que dichos consumos se multiplicarán por tres para obtener el consumo medio relativo de cada vivienda.

La mayor parte de los consumos reflejados en el proyecto provienen de los usos de calefacción y ACS, siendo la incidencia del clima y la zona geográfica muy influyentes en los mismos, por lo que siempre se debería evaluar cada caso en particular con los condicionantes medio ambientales del lugar de ubicación.

Los valores de la tabla 1 corresponden a una vivienda de unos 80 m² con sistemas constructivos e instalaciones convencionales, donde la energía para calefacción y ACS proviene del gas natural y donde el resto de usos utilizan electricidad.

	Electricidad (kWh)	Gas (kWh)	Total (kWh)
Diciembre – Febrero	3.762	1.194	4.956
Febrero – Abril	1.194	1.404	2.598
Abril – Junio	2.046	1.313	3.359
Junio – Agosto	1.221	66	1.287
Agosto – Octubre	2.013	66	2.079
Octubre - Diciembre	1.980	1.304	3.284
Total (kWh/año)	12.216	5.347	17.563

Tabla 1. Consumo anual en kW del edificio objeto de estudio.

Una vez estipulados los consumos de referencia, el siguiente paso será realizar un análisis de la demanda energética del edificio objeto de estudio.

1 Emplazamiento del edificio.

Con el estudio del emplazamiento del edificio de lo que se trata es de ver qué cantidad de radiación solar y de iluminación sufre el edificio, así como la cantidad de sombras que recibe, con la intención de analizar cómo puede afectar esto a cada planta en concreto y a todo el conjunto en general.

Al ser un edificio ya construido, la orientación de las fachadas es la que se ejecutó en su momento, bien por decisión técnica o bien por la limitación del terreno disponible. En el caso que se pudiera elegir sería necesario realizar un estudio de cuál sería la orientación más adecuada para cada fachada en función de varios factores, pero como no es el caso se trabajará sobre lo ya existente.

De lo que se trata es de estudiar qué ventajas y qué inconvenientes podría generar la radiación solar sobre el edificio, teniendo en cuenta la altura de cada planta, los edificios colindantes

que pudieran hacerle sombra, la orientación de las fachadas y la climatología durante el período de cada año (en invierno interesa recibir la mayor cantidad de radiación posible, mientras que en verano las necesidades se invierten).

Para ello se ha empleado el programa informático Ecotect Analysis, que es una herramienta de diseño que permite simular el comportamiento energético de un edificio desde su concepción hasta su construcción. Combina un amplio rango de análisis funcionales con una visualización dinámica de los resultados, siendo capaz de considerar un mayor número de aspectos para un rendimiento óptimo de la construcción, con el fin de lograr un impacto menor sobre el medio ambiente ⁽⁹⁾.

Los datos que se han obtenido de las fachadas principales para las estaciones de invierno y de verano han sido los siguientes:

- **Invierno**

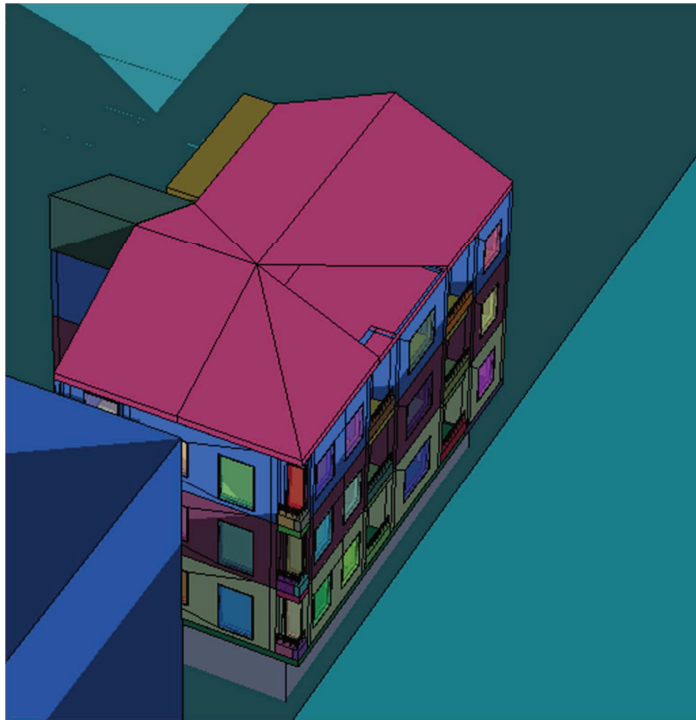


Imagen 24. Cantidad de sombra proyectada en invierno.

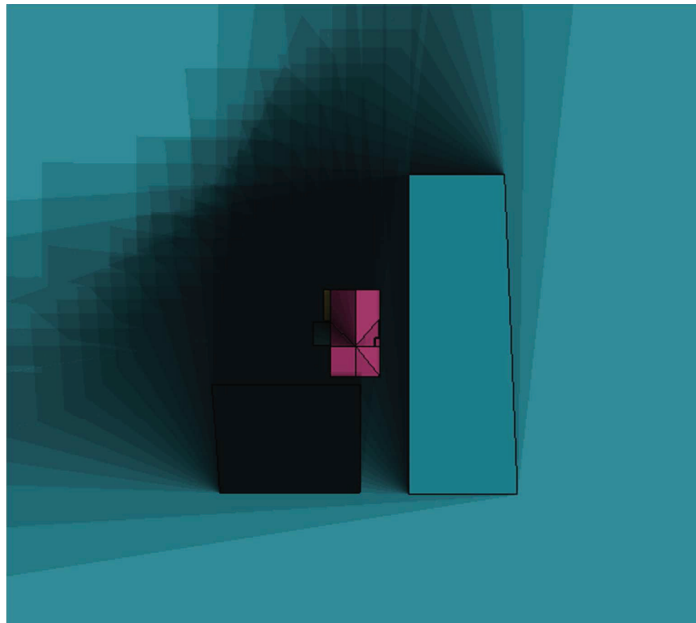


Imagen 25. Rango de sombras proyectadas en invierno.

- **Verano**

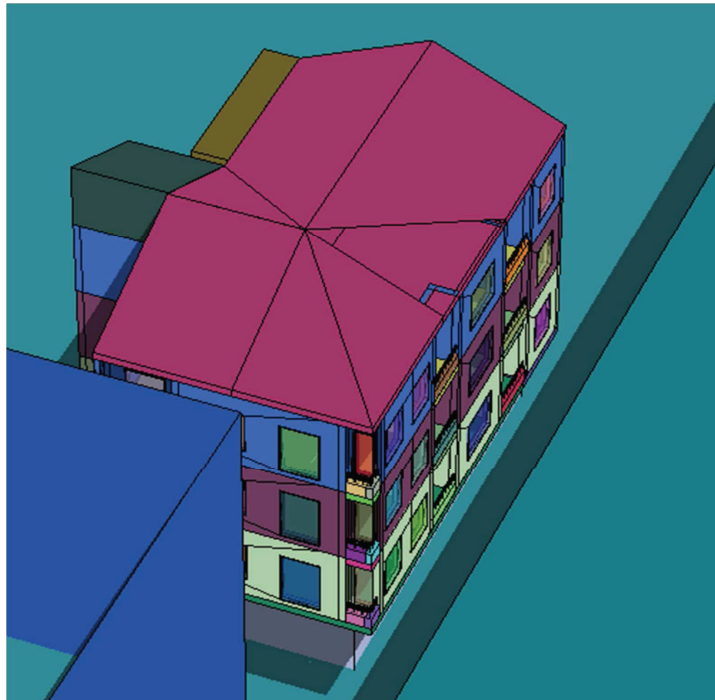


Imagen 26. Cantidad de sombra proyectada en verano.

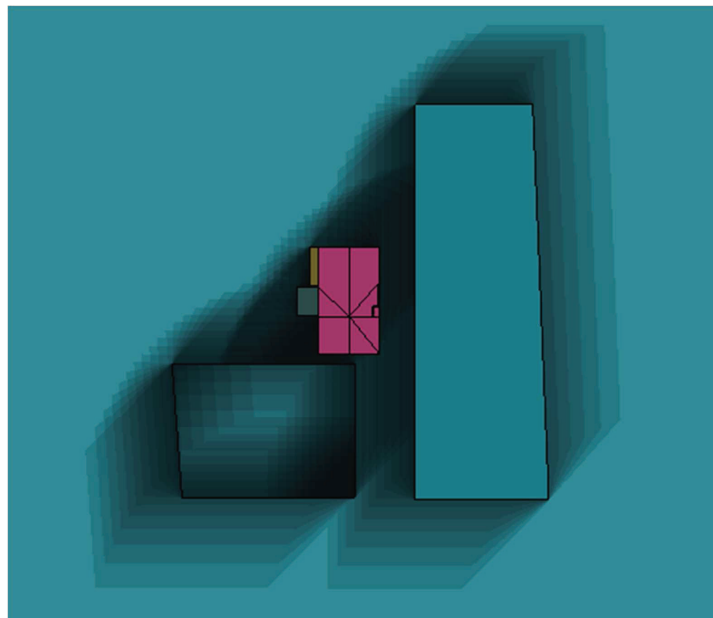


Imagen 27. Horas de luz directa en verano fachada SE.

Como se puede apreciar en las imágenes 24 y 25, únicamente la planta tercera es la que llega a recibir luz directa a lo largo del día, mientras que el resto de plantas, por la altura que alcanza el sol en esta

estación y por los obstáculos físicos que se anteponen al edificio, no recibe horas de luz directa en todo el día. En esta estación en concreto, y por la zona geográfica que se encuentra, lo interesante sería recibir el mayor número de horas de luz posibles para conseguir una mayor radiación, que beneficiaría en el consumo energético del edificio y en el confort de los inquilinos.

En la estación de verano ocurre justamente lo contrario, las horas de luz recibidas aumentan en cada una de las plantas del edificio, reduciéndose la sombra proyectada sobre las mismas. Como lo interesante en esta estación (época muy calurosa) es evitar un número elevado de horas de sol, sería conveniente el uso de sistemas, pasivos primero (sombreamiento, ventilación, etc.) y activos después si fuese necesario (refrigeración, ventilación forzada, etc.), para reducir la radiación incidente y conseguir así un confort térmico adecuado.

2 Demanda energética del edificio.

Como se ha comentado, la incidencia de la zona climática es de vital importancia en los usos que se pretenden analizar en este proyecto. Por ello, el objetivo es cuantificar la demanda energética asociada directamente a las características del edificio que se vean afectadas por esa variable. Entre ellas tenemos las demandas de calefacción, refrigeración y ACS, que suponen el 60% del consumo energético total del edificio durante su fase de uso, y que, por esa razón, es donde más se puede incidir para mejorar los resultados que se obtienen al realizar un proyecto de rehabilitación.

Para iniciar el cálculo del consumo energético del edificio el primer paso será estudiar la demanda energética en climatización. Para ello se ha utilizado la herramienta informática LIDER (Limitación de la

Demanda Energética). Esta herramienta es la aplicación informática que permite cumplir con la opción general de verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética establecida en el Documento Básico de la Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE-HE1) y está promovida por el Ministerio de Vivienda y por IDAE. Dicha herramienta está diseñada para realizar la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios, así como para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el CTE-HE1 y para la impresión de la documentación administrativa pertinente ⁽¹⁰⁾.

Aunque en el ámbito de aplicación del mencionado decreto no entrarían las rehabilitaciones objeto de este proyecto, su comprobación y cumplimiento se hace necesaria para dar validez a los objetivos reflejados en el proyecto.

El funcionamiento del programa consiste en la comparación del edificio objeto de estudio definido en el proyecto con un modelo o edificio de referencia que tiene la misma geometría, características de forma y ubicación, pero con soluciones constructivas para los cerramientos que cumplen rigurosamente con el valor límite marcado por la legislación. El programa permite introducir la composición de distintos tipos de cerramientos clasificándolos en opacos y semitransparentes. La definición del Edificio Base se ha realizado con los datos tomados en las visitas y ya citados en la descripción del edificio, mostrándose a continuación (véase Anexo 2):

Nombre	U (W/m ² K)	Material	Espesor (m)
Cerramiento exterior	0,52	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G < 100 mm	0,115
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0,040
		Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60	0,040
		Mortero de yeso	0,010
Cerramiento interior	3,03	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020
		Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60	0,040
		Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,020
Cerramiento suelo	1,36	Mármol [2600 < d < 2800]	0,040
		Hormigón en masa 2000 < d < 2300	0,100
		Hormigón armado 2300 < d < 2500	0,300
		Roca natural porosa [por ejem. Lava] d < 1600	0,200

Tabla 2. Composición de cerramientos (cerramientos opacos).

Cerramiento horizontal	0,62	Mármol [2600 < d < 2800]	0,040
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0,030
		FU Entrevigado cerámico -Canto 250 mm	0,250
		Placa de yeso o escayola 750 < d < 900	0,020
Cerramiento medianera	0,65	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,060
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020

Tabla 3. Composición de cerramientos (cerramientos opacos).

Nombre	U (W/m ² K)	Factor solar	Just.
VER_DC_4-12-331	2,80	0,75	SI
VER_M_4	5,70	0,85	SI

Tabla 4. Composición de cerramientos (vidrios).

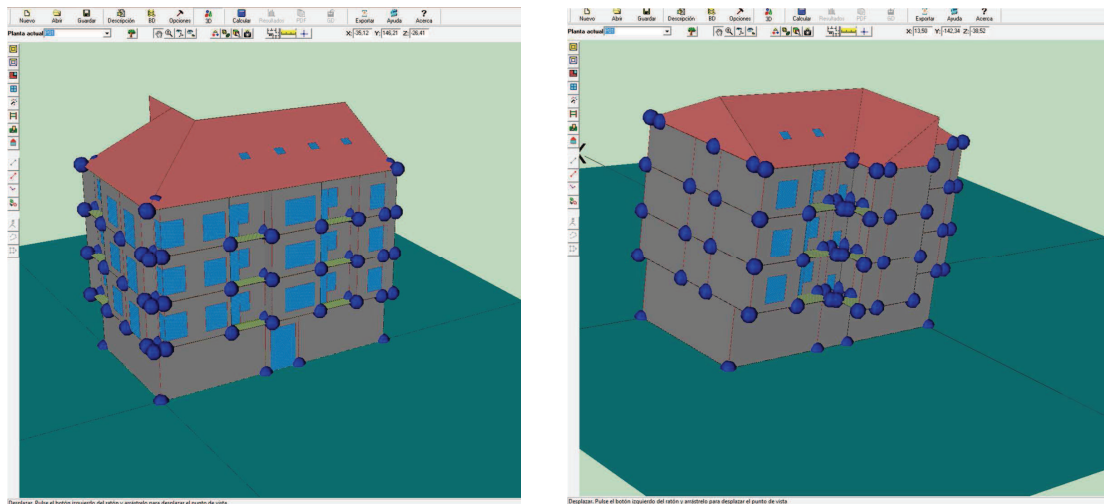
Nombre	U (W/m ² K)	Just.
VER_Madera de densidad media alta	2,20	--

Tabla 5. Composición de cerramientos (marcos).

Nombre	Hueco 1
Acristalamiento	VER_DC_4-12-331
Marco	VER_Madera de densidad media alta
% Hueco	10,00
Permeabilidad m ³ /hm ² a 100Pa	50,00
U (W/m ² K)	2,74
Factor solar	0,68
Justificación	SI

Tabla 6. Composición de cerramientos (hueco 1).

Una vez definidos todos los tipos de cerramientos, se procede a desarrollar el modelo 3D del edificio, definiendo todas las propiedades de cada espacio. Las propiedades de cada espacio se han asimilado a las condiciones más habituales según la tipología de uso de cada uno de ellos, detalladas en el Anexo 2.



La presentación de resultados muestra un primer gráfico con los porcentajes de demanda de calefacción y refrigeración del edificio objeto de estudio con respecto a los de referencia, y conjuntamente la resolución del cumplimiento del documento básico HE-1 del Código Técnico de la Edificación. Por otro lado, también se incluyen los resultados de demanda energética para cada uno de los espacios definidos.

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe **NO CUMPLE** con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1.

	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de Referencia	81,5	95,9
Proporción relativa calefacción refrigeración	94,3	5,7

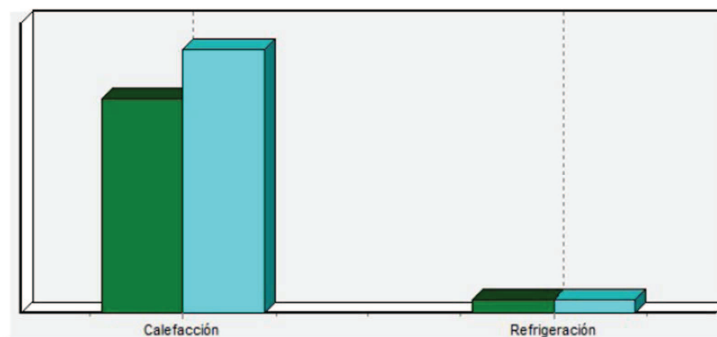


Gráfico 4. Demanda energética del edificio objeto de estudio.

A pesar de que el porcentaje de demanda quedaría cubierto por el edificio referencia de LIDER, tanto para calefacción como para refrigeración, la causa de estos resultados radica en los coeficientes de transmitancia térmica (U) de alguno de los cerramientos y huecos, ya que como se puede observar en el informe resultante del cálculo con LIDER (véase Anexo 2) tienen una transmitancia muy por encima de la marcada por la normativa. Estos resultados son completamente normales, ya que los cerramientos opacos, tanto verticales como horizontales, tienen un aislamiento inferior o nulo a lo que sería necesario, añadiendo también que los huecos no disponen de vidrios con una baja emisividad y marcos con rotura de puente térmico.

Por otro lado es interesante destacar los resultados de la proporción relativa entre calefacción y refrigeración. Como se puede

observar la proporción relativa se sitúa en 94,3% para calefacción y 5,7% para refrigeración, por esta razón es apropiado pensar que las acciones encaminadas a reducir la demanda de calefacción proporcionarán mayores ventajas y beneficios en el resultado total.

3 Certificación energética del edificio.

La certificación energética del edificio es el proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida con los datos calculados o medidos del edificio existente o de parte del mismo, y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio terminado; entendiéndose por eficiencia energética el consumo de energía, calculado o medido, que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, que incluirá, entre otras cosas, la energía consumida en calefacción, la refrigeración, la ventilación, la producción de agua caliente sanitaria y la iluminación. La calificación de eficiencia energética de un edificio se evalúa mediante una letra, siendo A la más eficiente y G la menos eficiente energéticamente hablando ⁽¹¹⁾.



Imagen 30. Rango de calificaciones energéticas.

Para la realización de dicha certificación se han empleado dos herramientas, el programa CE³X v1.1 y el programa CALENER VYP, reconocidos ambos por el Estado, en el que se han descrito las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados con el fin de obtener la calificación energética del edificio y compararlos.

3.1 CE³X v1.1.

En la calificación del programa CE³X v1.1 (véase Anexo 3) aparecen los siguientes puntos:

- Descripción de las características energéticas del edificio:
 1. Superficie, imagen y situación.
 2. Envolvente térmica.
 3. Instalaciones térmicas.

Los datos necesarios para la elaboración de este apartado se han obtenido bien mediante catastro, o bien mediante medición, análisis visual y estimación en el propio edificio o sobre documentación gráfica, obteniendo tablas del siguiente tipo:

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
Cubierta con aire	Cubierta	155.59	0.92	Estimado
Muro de fachada SE1	Fachada	90.38	0.69	Estimado
Muro de fachada SE2	Fachada	18.72	0.69	Estimado
Muro de fachada SE3	Fachada	16.77	0.69	Estimado
Muro de fachada SE4	Fachada	5.3	0.69	Estimado

Tabla 7. Características de la envolvente térmica (cerramientos opacos) en CE³X v1.1.

- Calificación energética del edificio:
 1. Calificación energética del edificio.
 2. Calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración.
 3. Calificación parcial del consumo de energía primaria.

La calificación global del edificio que genera el programa se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo; que en el caso del edificio objeto de estudio corresponde a una calificación E.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES		
	32.84 E	CALEFACCIÓN	ACS	
			D	E
		<i>Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]</i>	<i>Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]</i>	
		22.24	4.98	
		REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN	
			G	-
		<i>Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]</i>	<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>	
32.84	5.63			
<i>Emisiones globales [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>		
32.84		-		

Tabla 8. Calificación energética del edificio objeto de estudio en CE³X v1.1.

- Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética:
 1. Análisis técnico.
 2. Descripción de medida de mejora.

En este apartado, el técnico certificador, propone una serie de mejoras voluntarias que mejoren la calificación energética del edificio (demanda, energía primaria y emisiones de CO₂), como por ejemplo:

DESCRIPCIÓN DE MEDIDA DE MEJORA
<p>Conjunto de medidas de mejora: MEDIDAS DE MEJORA</p> <p>Listado de medidas de mejora que forman parte del conjunto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trasdoso interior de pilares integrados en fachada - Adición de aislamiento en cajas de persiana - Adición de aislamiento térmico en fachada por el interior o relleno de cámara de aire - Adición de aislamiento térmico en cubierta - Adición de aislamiento térmico en suelo - Mejora de las instalaciones

Tabla 9. Medidas de mejora para la calificación energética en CE³X v1.1..

- Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador:
 1. Comentarios del técnico certificador.

Estos comentarios describen las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

3.2 CALENER VYP

El programa CALENER VYP es una herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio.

Esta herramienta está diseñada para, a partir de la descripción geométrica, constructiva y operacional del edificio realizado en LIDER, analizar la demanda y, considerando la definición de los sistemas e instalaciones del edificio, contabilizar el consumo de energía y las emisiones de CO₂ asociadas ⁽¹²⁾.

Al igual que LIDER, el funcionamiento del programa consiste en la comparación del edificio objeto definido en el proyecto con un modelo o edificio de referencia que tiene la misma geometría, características de forma y ubicación, pero con soluciones constructivas para los cerramientos que cumplen rigurosamente con el valor límite marcado por la legislación.

El programa permite introducir la composición de los distintos sistemas y equipos utilizados para cubrir las demandas de calefacción, refrigeración si existe y agua caliente sanitaria. La definición del edificio objeto de estudio se ha realizado con los datos tomados en las visitas y tiene las siguientes características:

- Demanda de ACS individual por vivienda.
- Sistema de ACS por caldera de gas. No existe captación solar.
- Calefacción mediante caldera de gas.

De este modo se han obtenido los siguientes resultados (véase Anexo 4):

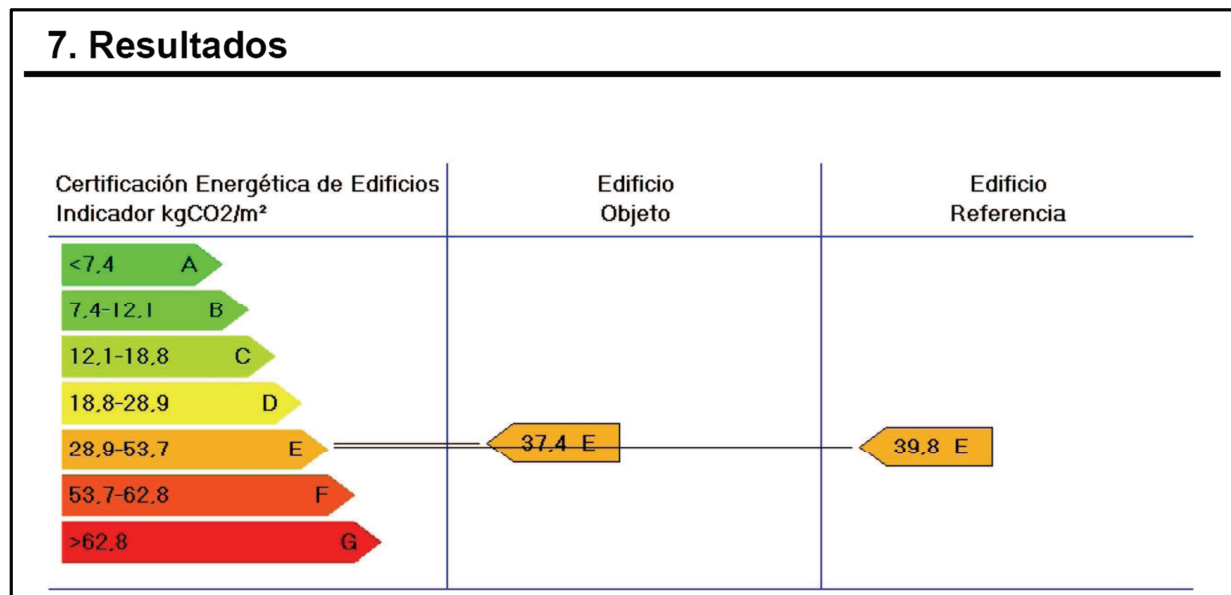


Tabla 10. Resultados certificación energética del edificio objeto de estudio en CALENER VYP.

Además, se puede conocer de forma detallada los consumos de energía primaria, final y emisiones asociadas, tanto por m² como anual del edificio objeto de estudio y del edificio de referencia:

	Clase	kWh/m ²	kWh/año	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Demanda calefacción	E	84,6	45010,2	E	107,3	57082,0
Demanda refrigeración	C	5,1	2707,7	C	5,4	2855,4
	Clase	kgCO2/m ²	kgCO2/año	Clase	kgCO2/m ²	kgCO2/año
Emisiones CO2 calefacción	E	32,3	17190,5	E	34,3	18254,9
Emisiones CO2 refrigeración	D	1,9	1011,2	D	2,0	1064,4
Emisiones CO2 ACS	C	3,2	1703,1	D	3,5	1888,6
Emisiones CO2 totales	E	37,4	19904,8	E	39,9	21207,9
	Clase	kWh/m ²	kWh/año	Clase	kWh/m ²	kWh/año
Consumo energía primaria calefacción	E	122,0	64906,4	E	155,5	82768,8
Consumo energía primaria refrigeración	D	7,8	4156,6	D	8,4	4454,5
Consumo energía primaria ACS	D	15,9	8457,9	D	14,7	7802,7
Consumo energía primaria totales	E	145,7	77521,0	E	178,6	95026,0

Tabla 11. Resultados demandas y consumos del edificio objeto de estudio en CALENER VYP.

Debido a las limitaciones del programa informático no es posible realizar cálculos precisos modificando las condiciones de

ocupación y de funcionamiento específicas. Por ello, lo primero es comentar que estos consumos y emisiones que realiza CALENER, están basados en condiciones de ocupación y funcionamiento estándar reguladas por la normativa, y que, por lo tanto, se deben de tomar como un marco de referencia que describe las tendencias de consumo del edificio y sus emisiones asociadas ⁽¹³⁾.

Si se comparan los resultados obtenidos en ambos programas se puede observar que la calificación energética resultante es muy similar para el mismo edificio estudiado, pero no es igual; por lo tanto, a la hora de realizar propuestas de mejora se tomará como modelo de referencia la calificación energética del programa CE³X v1.1 por ser una versión más actual del programa, lo que supondrá un acondicionamiento más adecuado del edificio objeto de estudio.

Capítulo 4.

Estrategias, acciones y propuestas de mejora

Una vez definido el edificio objeto de estudio lo más detalladamente posible, en cuanto a eficiencia energética se refiere, con vistas a solventar los problemas de demanda, se procederá a la realización de una serie de estrategias y acciones que focalicen dichos problemas de modo que resulte más sencillo encontrar las propuestas de mejora más adecuadas.

Estas estrategias y acciones a desarrollar se fundamentarán en una base teórica y en una base práctica; la base teórica intentará cumplir con los mínimos exigidos por el Código Técnico de la Edificación en diferentes apartados relacionados con el presente proyecto y definidos más adelante, pudiendo modificar dichos mínimos siempre que se consiga una mejoría notable en la demanda del edificio objeto de estudio, basándose en la Guía Verde Residencial de la asociación GBC España; la base práctica consistirá en la realización de diferentes técnicas de ensayo capaces de obtener datos reales e instantáneos que permitan el estudio de los distintos problemas de demanda derivados de los sistemas constructivos principalmente.

1 Cumplimiento de la normativa.

1.1 CTE.

Este apartado trata de estudiar la normativa vigente del Código Técnico de la Edificación (CTE) con el objeto de poder dotar al edificio de los requisitos mínimos establecidos como si se tratase de un edificio de obra nueva, independientemente de la normativa empleada en el edificio objeto de estudio; es decir, adaptar el edificio antiguo a la normativa actual.

Debido a que la normativa es muy amplia se limitará el estudio al Documento Básico HE Ahorro de Energía, base fundamental del presente proyecto, consistente en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Previamente a los diferentes apartados, este Documento Básico (DB) establece unos criterios de aplicación en edificios existentes a tener en cuenta, siendo el caso del presente proyecto ⁽¹⁴⁾:

Criterio 1: no empeoramiento (las condiciones preexistentes de ahorro de energía serán al menos las establecidas en este DB).

Criterio 2: flexibilidad (podrán adoptarse soluciones que permitan el mayor grado de adecuación posible).

Criterio 3: reparación de daños (si el edificio presenta daños relacionados con el requisito básico de “Ahorro de Energía”, la intervención deberá contemplar medidas específicas para su resolución).

A continuación se definirán los diferentes criterios necesarios para el cumplimiento de la normativa en el edificio objeto de estudio en el mismo orden en el que queda reflejado en el CTE ⁽¹⁵⁾:

- **SECCIÓN HE 0 (Limitación del consumo energético)**

- 1. Ámbito de aplicación**

Esta Sección es de aplicación en: a) edificios de nueva construcción (en este caso se supone el edificio objeto de estudio).

- 2. Caracterización y cuantificación de la exigencia**

- 2.1 Caracterización de la exigencia**

El consumo energético de los edificios se limita en función de la zona climática de su localidad de ubicación y del uso previsto.

- 2.2 Cuantificación de la exigencia**

El consumo energético de energía primaria no renovable del edificio no debe superar el valor límite $C_{ep,lim}$ obtenido mediante la siguiente expresión:

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + F_{ep,sup} / S$$

O lo que es lo mismo: $C_{ep,lim} = 60 + 3000 / 485,37 =$

$$= 66,18 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$$

3. Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia

3.1 Procedimiento de verificación

Deben verificarse las exigencias cuantificadas en el apartado 2 con los datos definidos en el apartado 4, utilizando un procedimiento de cálculo acorde a las especificaciones establecidas en el apartado 5.

4. Datos para el cálculo del consumo energético

4.1 Demanda energética y condiciones operacionales

El consumo energético de los servicios de calefacción y refrigeración se obtendrá considerando las condiciones operacionales, datos previos y procedimientos de cálculo de la demanda energética establecidos en la Sección HE1 de este Documento Básico.

El consumo energético del servicio de agua caliente sanitaria (ACS) se obtendrá considerando la demanda energética resultante de la aplicación de la sección HE4 de este Documento Básico.

5. Procedimientos de cálculo del consumo energético

El objetivo de los procedimientos de cálculo es determinar el consumo de energía primaria procedente de fuentes de energía no renovables.

El procedimiento de cálculo debe permitir desglosar el consumo energético de energía final en función del vector energético utilizado para satisfacer la demanda energética de cada uno de los servicios técnicos.

5.1 Características de los procedimientos de cálculo del consumo energético

Cualquier procedimiento de cálculo debe considerar, bien de forma detallada o bien de forma simplificada, los siguientes aspectos:

- a) La demanda energética necesaria para los servicios de calefacción y refrigeración, según el procedimiento establecido en la Sección HE1 de este Documento Básico.*
- b) La demanda energética necesaria para el servicio de agua caliente sanitaria.*

- **SECCIÓN HE 1 (Limitación de la demanda energética)**

1. Ámbito de aplicación

Esta Sección es de aplicación en: a) edificios de nueva construcción (en este caso se supone el edificio objeto de estudio).

2. Caracterización y cuantificación de la exigencia

2.1 Caracterización de la exigencia

La demanda energética de los edificios se limita en función de la zona climática de la localidad en que se ubican y del uso previsto.

En edificios de uso residencial privado, las características de los elementos de la envolvente térmica deben ser tales que eviten las descompensaciones en la calidad térmica de los diferentes espacios habitables. Se limitará igualmente la transferencia de calor entre unidades de distinto uso, y entre las unidades de uso y las zonas comunes del edificio.

Se deben limitar los riesgos debidos a procesos que produzcan una merma significativa de las prestaciones térmicas o de la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica, tales como las condensaciones.

2.2 Cuantificación de la exigencia

La demanda energética de calefacción del edificio no debe superar el valor límite $D_{cal,lim}$ obtenido mediante la siguiente expresión:

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

O lo que es lo mismo: $D_{cal,lim} = 27 + 2000 / 485,37 =$
 $=31,12 \text{ kWh/m}^2\text{año}$

La demanda energética de refrigeración del edificio no debe superar el valor límite $D_{ref,lim} =$
 $15 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$
para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3 (Zona climática de verano de Calahorra = 2).

La transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los huecos y la transmitancia térmica de las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos, que formen parte de la envolvente térmica del edificio, no debe superar los valores establecidos en la tabla 2.3. De esta comprobación se excluyen los puentes térmicos.

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
<i>Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno⁽¹⁾ [W/m²•K]</i>	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
<i>Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m²•K]</i>	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
<i>Transmitancia térmica de huecos⁽²⁾ [W/m²•K]</i>	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
<i>Permeabilidad al aire de huecos⁽³⁾ [m³/h•m²]</i>	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

La transmitancia térmica de medianerías y particiones interiores que delimiten unidades de uso residencial entre sí no se superarán los valores de la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m²•K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
<i>Particiones horizontales</i>	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
<i>Particiones verticales</i>	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

3. Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia

3.1 Procedimiento de verificación

Para la correcta aplicación de esta Sección del DB HE deben realizarse las siguientes verificaciones:

- a) Verificación de las exigencias cuantificadas en el apartado 2 con los datos y *solicitaciones* definidos en el apartado 4, utilizando un procedimiento de cálculo acorde a las especificaciones establecidas en el apartado 5.
- b) *Cumplimiento de las condiciones relativas a los productos de construcción y sistemas técnicos expuestas en el apartado 6.*
- c) *Cumplimiento de las condiciones de construcción y sistemas técnicos expuestas en el apartado 7.*

4. Datos para el cálculo de la demanda

4.1 Solicitaciones exteriores

Se consideran solicitudes exteriores las acciones del clima sobre el edificio con efecto sobre su comportamiento térmico, y por tanto, sobre su demanda energética.

A efectos de cálculo, se establece un conjunto de zonas climáticas para las que se define un clima de referencia, que define las solicitudes exteriores en términos de temperatura y radiación solar.

La zona climática de cada localidad, así como su clima de referencia, se determina a partir de los valores tabulados recogidos en el Apéndice B, o de documentos reconocidos elaborados por las Comunidades Autónomas.

La tabla B.1 permite obtener la zona climática (Z.C.) de una localidad en función de su capital de provincia y su altitud respecto a nivel del mar (h). para cada provincia, se tomará el clima

correspondiente a la condición con la menor cota de comparación, que en el caso de Calahorra es:

Tabla B.1 Zonas climáticas de la Península Ibérica

Capital	Z.C.	Altitud	D2
Logroño	D2	379	h < 700

4.2 Solicitaciones interiores

Se consideran solicitaciones interiores las cargas térmicas generadas en el interior del edificio debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos e iluminación.

Las condiciones operacionales se definen por los siguientes parámetros, que se recogen en los perfiles de uso del apéndice C:

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	*	*	*	*	*

Tabla C.1 Perfiles de uso

Los espacios habitables del edificio mantendrán, a efectos de cálculo de la demanda, las condiciones operacionales definidas en su perfil de uso, excluyéndose el cumplimiento de las condiciones a) y b), relativas a temperaturas de consigna en el caso de los espacios habitables no acondicionados.

Debe especificarse el nivel de ventilación de cálculo para los espacios habitables y no habitables, que ha de ser coherente con el derivado del cumplimiento de otras exigencias y las condiciones de proyecto.

5. Procedimientos de cálculo de la demanda

El objetivo de los procedimientos de cálculo es determinar la demanda energética de calefacción y refrigeración necesaria para mantener el edificio por periodo de un año en las condiciones operacionales definidas en el apartado 4.2 cuando este se somete a las solicitaciones interiores y exteriores descritas en los apartados 4.1 y 4.2. Los procedimientos de cálculo podrán emplear simulación mediante un modelo térmico del edificio o métodos simplificados equivalentes.

El procedimiento de cálculo debe permitir obtener separadamente la demanda energética de calefacción y de refrigeración.

5.1 Características de los procedimientos de cálculo de la demanda

Cualquier procedimiento de cálculo debe considerar,

bien de forma detallada o bien de forma simplificada, los siguientes aspectos:

- a) el diseño, emplazamiento y orientación del edificio.*
- b) la evolución hora a hora en régimen transitorio de los procesos térmicos.*
- c) el acoplamiento térmico entre zonas adyacentes del edificio a distintas temperaturas.*
- d) las solicitaciones interiores, solicitaciones exteriores y condiciones operacionales.*
- e) las ganancias y pérdidas de energía por conducción a través de la envolvente térmica del edificio, compuesta por los cerramientos opacos, los huecos y los puentes térmicos, con consideración de la inercia térmica de los materiales.*
- f) las ganancias y pérdidas producidas por la radiación solar al atravesar los elementos transparentes o semitransparentes y las relacionadas con el calentamiento de elementos opacos de la envolvente térmica, considerando las propiedades de los elementos, su orientación e inclinación y las sombras propias del edificio u otros obstáculos que puedan bloquear dicha radiación.*
- g) las ganancias y pérdidas de energía producidas por el intercambio de aire con el exterior debido a ventilación e infiltraciones teniendo en cuenta las exigencias de calidad del aire de los distintos espacios y las estrategias de control empleadas.*

5.2 Modelo del edificio

El modelo del edificio debe estar compuesto por una

serie de espacios conectados entre sí y con el ambiente exterior mediante los cerramientos, los huecos y los puentes térmicos. La zonificación del modelo puede diferir de la real siempre que refleje adecuadamente el comportamiento térmico del edificio.

Los espacios del edificio deben estar clasificados en espacios habitables y espacios no habitables.

5.3 Edificio de referencia

El edificio de referencia es un edificio obtenido a partir del edificio objeto, con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos, y unas so-luciones constructivas tipificadas, cuyos parámetros característicos se describen en el Apéndice D.

Zona Climática D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,31$

% 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
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

6. Productos de construcción

6.1 Características exigibles a los productos

Los edificios se caracterizan térmicamente a través de las propiedades higrotérmicas de los productos de construcción que componen su envolvente térmica.

6.2 Características exigibles a los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica

Las características exigibles a los cerramientos y particiones interiores son las expresadas mediante los valores de sus transmitancias térmicas.

6.3 Control de recepción en obra de productos

En el pliego de condiciones del proyecto han de indicarse las condiciones particulares de control para la recepción de los productos que forman los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica, incluyendo los ensayos necesarios para comprobar que los mismos reúnen las características exigidas en los apartados anteriores.

- **SECCIÓN HE 2 (Rendimiento de las instalaciones térmicas)**

Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los

Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

- **SECCIÓN HE 3 (Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación)**

Este apartado no será objeto de estudio del presente proyecto porque:

1. **Ámbito de aplicación**

Se excluyen del ámbito de aplicación: d) Interiores de viviendas.

- **SECCIÓN HE 4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria)**

1. **Ámbito de aplicación**

Esta sección es de aplicación a: a) edificios de nueva construcción o a edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica (en este caso se supone el edificio objeto de estudio).

2. **Caracterización y cuantificación de la exigencia**

- 2.1 **Caracterización de la exigencia**

Se establece una contribución mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y de la demanda de ACS o de climatización de piscina del edificio.

2.2 Cuantificación de la exigencia

2.2.1 Contribución solar mínima para ACS

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS, obtenidos a partir de los valores mensuales.

En la tabla 2.1 se establece, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60°C, la contribución solar mínima anual exigida para cubrir las necesidades de ACS.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

2.2.2 Protección contra sobrecalentamientos

El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los

cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.

2.2.3 Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Las pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras.

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites establecidos en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
<i>Superposición de captadores</i>	20 %	15 %	30 %
<i>Integración arquitectónica de captadores</i>	40 %	20 %	50 %

Se considerará como la orientación óptima el sur.

2.2.5 Sistemas de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar

El sistema de acumulación solar se debe dimensionar en función de la energía que aporta a lo largo del día, y no solo en función de la potencia

del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser esta simultánea con la generación.

3. Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia

3.1 Procedimiento de verificación

Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia que se expone a continuación:

- a) obtención de la contribución solar mínima según el apartado 2.2.*
- b) diseño y dimensionado de la instalación.*
- c) obtención de las pérdidas límite por orientación, inclinación y sombras del apartado 2.2.3.*
- d) cumplimiento de las condiciones de mantenimiento del apartado 5.*

4. Cálculo

4.1 Cálculo de la demanda

Para valorar las demandas se tomarán los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla (Demanda de referencia a 60 °C).

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona

4.2 Zonas climáticas

En la tabla 4.4 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica a continuación:

Tabla 4.4. Radiación solar global media diaria anual

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

5. Mantenimiento

Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- a) *plan de vigilancia;*
- b) *plan de mantenimiento preventivo.*

- **SECCIÓN HE 5 (Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica)**

1. **Ámbito de aplicación**

Esta Sección es de aplicación a: a) edificios de nueva construcción y a edificios existentes que se reformen íntegramente (en este caso se supone el edificio objeto de estudio).

2. **Caracterización y cuantificación de la exigencia**

2.1 **Caracterización de la exigencia**

Se establece una contribución mínima de energía eléctrica obtenida por sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos.

2.2 **Cuantificación de la exigencia**

La potencia nominal mínima a instalar se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$

*O lo que es lo mismo: $P = 1,2 \cdot (0,002 \cdot 1780,38 - 5)$
= **- 1,44 kW***

Como la superficie construida del edificio no es muy grande la potencia nominal mínima a instalar sale negativa, por lo que la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica no es necesaria en este proyecto.

1.2 VERDE RH RESIDENCIAL

La Guía Verde RH Residencial pertenece a la asociación “GREEN BUILDING COUNCIL – ESPAÑA”, cuyos fines y objetivos, son los siguientes ⁽¹⁶⁾:

- a) Realizar actividades tendentes a favorecer el reconocimiento de la sostenibilidad de los edificios que encaucen el mercado inmobiliario hacia un mayor respeto a los valores medioambientales, económicos y sociales que abarca el desarrollo sostenible;
- b) Proporcionar al sector metodologías y herramientas actualizadas y homologables internacionalmente que permitan de forma objetiva la evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios, adaptadas a las necesidades españolas en general y a las de áreas geográficas concretas en particular;
- c) Desarrollar actividades de cooperación e investigación en los ámbitos nacional e internacional en la búsqueda de mejoras en el campo de la edificación sostenible mediante el desarrollo y gestión de herramientas y métodos fiables y actuales que permitan la valoración y certificación de la calidad ambiental de la obra, en sus diversas fases; diseño, materiales, construcción y vida útil;
- d) Colaborar con las administraciones públicas, universidades, corporaciones profesionales, entidades y asociaciones nacionales e internacionales en la difusión de los principios y las buenas prácticas en el diseño y construcción de edificios sostenibles.

- e) Contribuir a la transformación del mercado hacia una edificación más sostenible.

VERDE RH nace con el objeto de elaborar una herramienta sencilla que permita evaluar las intervenciones de rehabilitación que se realicen en edificios de vivienda colectiva. Concebida como herramienta de diagnóstico y evaluación, VERDE RH Residencial recoge el enfoque transversal del desarrollo sostenible, permitiendo cuantificar las mejoras ambientales, sociales y económicas que resulten del proceso rehabilitador de un edificio de vivienda colectiva.

En VERDE RH Residencial los valores de referencia adoptados pretenden concienciar al público que la normativa es un nivel de exigencia mínimo y que no debe ser un objetivo final, sino que es mejorable.

VERDE RH Residencial se desarrolla con el triple objetivo de servir de ayuda a la hora de conocer el estado actual del edificio, elegir el tipo de intervención más adecuada para el edificio y evaluar la sostenibilidad de esta intervención ⁽¹⁷⁾.

En el caso del presente proyecto se estudiará el punto “B03 Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas” de dicha Guía ya que supone la actuación sobre la fase de uso y mantenimiento, definida anteriormente como la fase que mayor demanda supone en la vida útil del edificio.

Este apartado tiene como objetivos:

- Promover y premiar la reducción del consumo de energía no renovable necesaria para la climatización del edificio (calefacción y refrigeración) y ACS.
- Reducir la cantidad de energía no renovable consumida por el uso del edificio, aplicando medidas pasivas de diseño

para la reducción de la demanda energética y la eficiencia de los sistemas ⁽¹⁸⁾.

De esta manera, la metodología utilizada se basa en una aproximación del análisis del ciclo de vida y consiste en la evaluación de una lista de criterios comparando el estado inicial del edificio con una serie de medidas de reducción de impactos valorados a través de un sistema multicriterio que considera las etapas del ciclo de vida a la que se asocia el criterio, el número de impactos que afecta, la incidencia del criterio en la reducción del impacto y el peso del impacto, asignado según la globalidad y duración del efecto así como otros factores regionales ⁽¹⁹⁾.

La evaluación de este criterio se consigue calculando el consumo de energía del edificio propuesto y el de un edificio de referencia definido como aquel que cumple todos los requisitos del CTE y la certificación energética, utilizando un programa de simulación reconocido que cumpla los requisitos BESTEST recogidos en la Norma ASHRAE 140-2007 o posteriores. Para alcanzar puntos en este criterio, los resultados del consumo de energía final del edificio propuesto con respecto al edificio de referencia deben cumplir una de las siguientes medidas ⁽²⁰⁾:

Medidas
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 20%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 25%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 30%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 35%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 40%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 45%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 50%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 55%
Se prevé una reducción del consumo de energía para los sistemas de Calefacción, Refrigeración y ACS de más del 60%

Tabla 12. Medidas previstas para la reducción del consumo de energía según VERDE NE Residencial.

2 Técnicas de ensayo empleadas.

En el caso del edificio objeto de estudio se ha empleado la termografía, que es una técnica que permite conocer la temperatura de las superficies por medio del registro de la radiación de ondas electromagnéticas. Se basa en el principio de que cualquier cuerpo cuya temperatura absoluta sea mayor que cero (-273 °C) emite radiación electromagnética. La radiación del calor es detectada electrónicamente y se representan sus valores diferenciales por medio de escalas de color.

Existen tres razones fundamentales que hacen de la termografía infrarroja una herramienta de gran utilidad:

- Es sin contacto: la medida se realiza de forma remota.
- Es bidimensional: con una imagen se determina enseguida donde están los problemas.
- Se realiza en tiempo real: la toma de imágenes en tiempo real permite realizar una visualización muy rápida de procesos estacionarios.

Entre sus principales aplicaciones se encuentra la monitorización de procesos de forma no destructiva. Puede ser utilizada para monitorizado de procesos, para optimizar el mantenimiento, y para conseguir producir con fiabilidad, seguridad y al mínimo coste. En particular en este proyecto se va a aplicar para:

- Comprobación de aislamientos térmicos.
- Localización de puentes térmicos.
- Localización de discontinuidades en materiales de fachadas y cerramientos.

Las fotografías termográficas demuestran como los edificios mal aislados se convierten en una de las mayores fuentes de emisiones de CO₂ por el exceso de consumo de calefacción y refrigeración. Gran parte

de esta pérdida de energía se puede evitar mejorando el rendimiento de la envolvente ⁽²¹⁾.

2.1 Cámara termográfica.

La cámara termográfica es un equipo que permite convertir la radiación infrarroja invisible en una imagen visible. La cámara mide la radiación infrarroja que es irradiada desde el cuerpo que se está mirando con el objetivo. La radiación infrarroja atraviesa las lentes y de forma similar a como la radiación visual impresiona la película en una cámara fotográfica.

El detector de radiación genera una señal eléctrica que es amplificada y digitalizada y procesada por la parte electrónica de la cámara. Es entonces cuando se convierte en una imagen que es visualizada por el visor y podemos ver como imagen infrarroja.

La imagen se controla seleccionando los siguientes parámetros:

- Rango de temperatura: es el ajuste básico. Fija las temperaturas por debajo y por encima de las cuales no se puede medir.
- Campo: es la parte del rango de temperatura que se está utilizando, el “contraste térmico”.
- Nivel: el nivel es el punto medio del campo ⁽²²⁾.

En el edificio objeto de estudio se han realizado las siguientes fotografías térmicas:



Imagen 27. Fachada SO

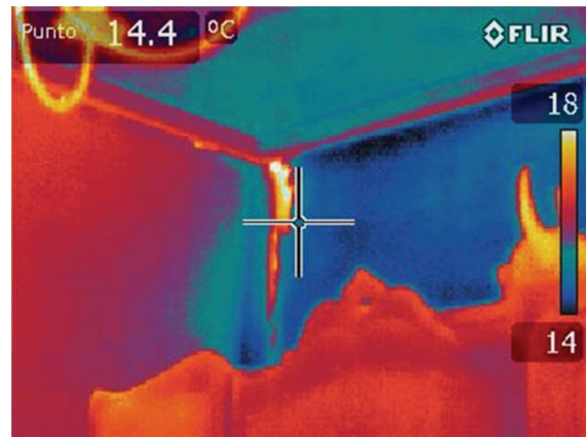


Imagen 28. Fisura interior

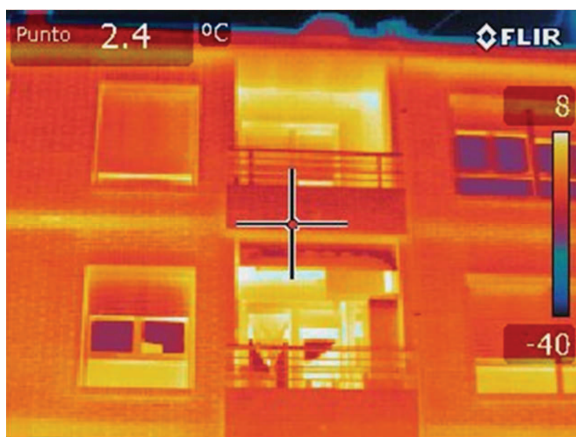


Imagen 29. Fachada SE



Imagen 30. Puente térmico en balcón

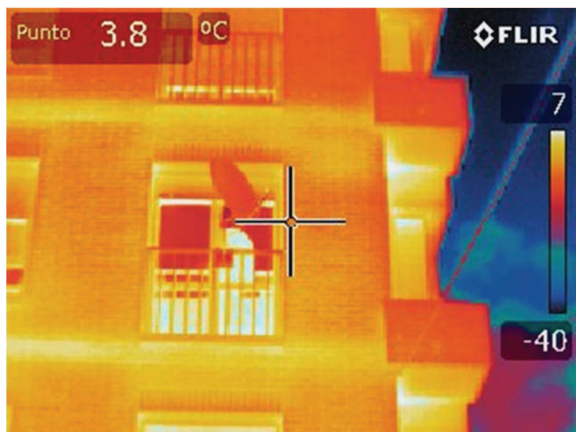


Imagen 31. Esquina fachada SO

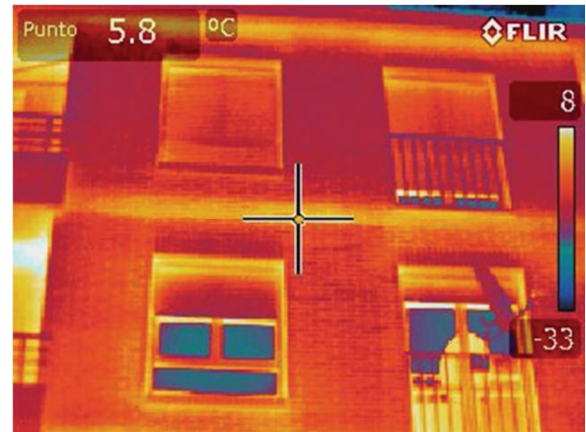


Imagen 32. Puentes térmicos en fachada SO

Muy claramente, y de forma instantánea, se pueden observar los diferentes puentes térmicos que existen en el edificio, las

discontinuidades de materiales, fisuras, condensaciones, diferencia de temperaturas entre viviendas, etc.

La termografía puede resultar un apartado muy interesante a la hora de rehabilitar energéticamente edificios, ya que se puede detectar rápidamente los elementos donde se debe actuar y cuales son los causantes de dichos problemas con un porcentaje de acierto muy elevado. Se podría decir que la termografía hace visible lo invisible.

3 Propuestas de mejora.

Lo que se pretende con las propuestas de mejora que se describen a continuación es, aplicando técnicas de eficiencia energética en el edificio objeto de estudio, que los usuarios se beneficien de una disminución del coste en su factura energética, además de conseguir una mejora del confort ⁽²³⁾.

Para ello se trabajará sobre los diferentes puntos, de mayor a menor repercusión, que generan los problemas de demanda energética en el edificio objeto de estudio, quedando representado de la siguiente manera:

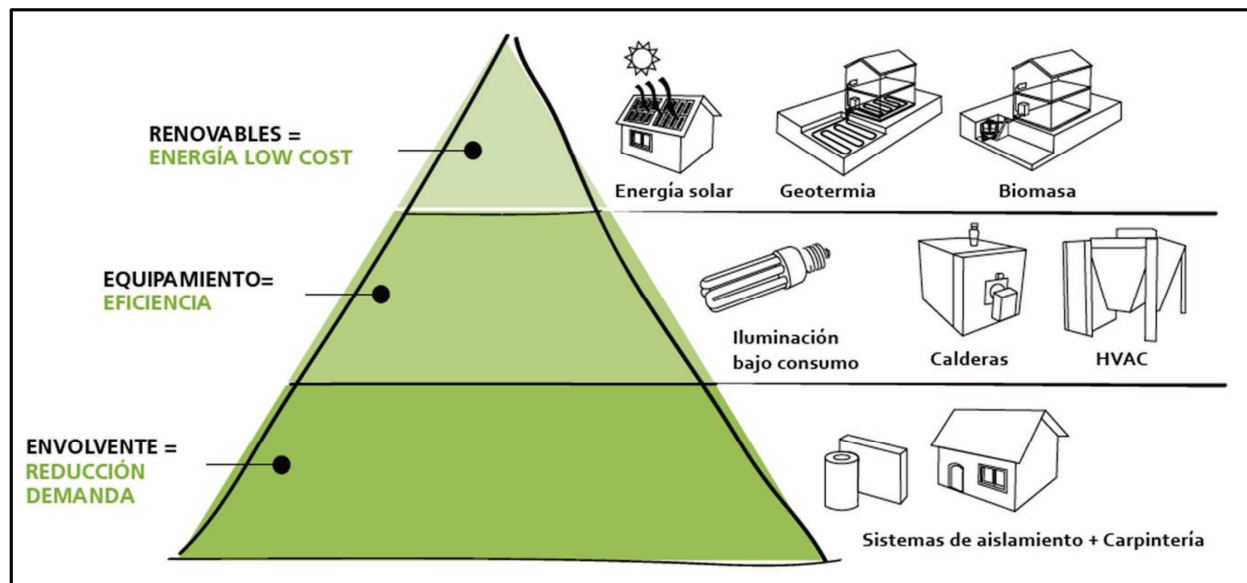


Imagen 31. El triángulo de la energía.

Al rehabilitar un edificio, la correcta actuación sobre la envolvente será la base sobre la que asentar las nuevas necesidades energéticas. El potencial de mejora, en la mayoría de los casos, puede llegar a reducir más de un 84% la demanda energética, consiguiéndose efectos adicionales como desaparición de condensaciones, moho, corrientes indeseadas, etc.

Por otro lado, el imparable y continuo ascenso del coste de las energías más habituales, lleva a replantearse si éstas son las más adecuadas para determinados fines. El uso de energías renovables puede ayudar a optimizar los costes finales.

Por todo ello, encontrar el punto de equilibrio entre una correcta actuación sobre la envolvente y la adecuada elección de los sistemas de generación de energía, es clave para garantizar un proyecto exitoso de rehabilitación energética integral ⁽²⁴⁾.

Dicho esto, se procederá al estudio de diferentes casos de propuestas de mejora definidos de la siguiente manera:

- CASO 1.1: Mejora de la envolvente con los mínimos exigidos por el CTE.
- CASO 1.2: Mejora de la envolvente con los criterios de GBC España.
- CASO 2: Mejora del equipamiento.
- CASO 3: Introducción de energías renovables.

3.1 CASO 1.1

El primer caso contempla las mejoras de la envolvente del edificio objeto de estudio únicamente con los mínimos exigidos por el CTE, que son:

- Transmitancia térmica de fachadas:
 $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire: $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmitancia térmica de huecos:
 $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Permeabilidad al aire de huecos:
 $< 27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
- Transmitancia térmica de medianeras:
 $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Todos los cerramientos, particiones o huecos que no cumplan con estos requisitos deberán ser intervenidos con la intención de alcanzar dichos valores. En este caso, para cumplir los mínimos exigidos por el CTE ha sido necesario:

- Adición de 2 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja exterior de cubierta.
- Adición de 4 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara externa de la hoja exterior del forjado exterior más un revestimiento de aluminio para su protección del ambiente exterior.
- Sustitución de todas las carpinterías del edificio por nuevas carpinterías de PVC con vidrio con cámara bajo emisivo.

El cálculo para este criterio, en este caso y en todos los casos que se den en adelante, se ha realizado automáticamente por la herramienta VERDE RH Residencial, definida anteriormente, lo que ha supuesto los siguientes resultados (véase Anexo 5):

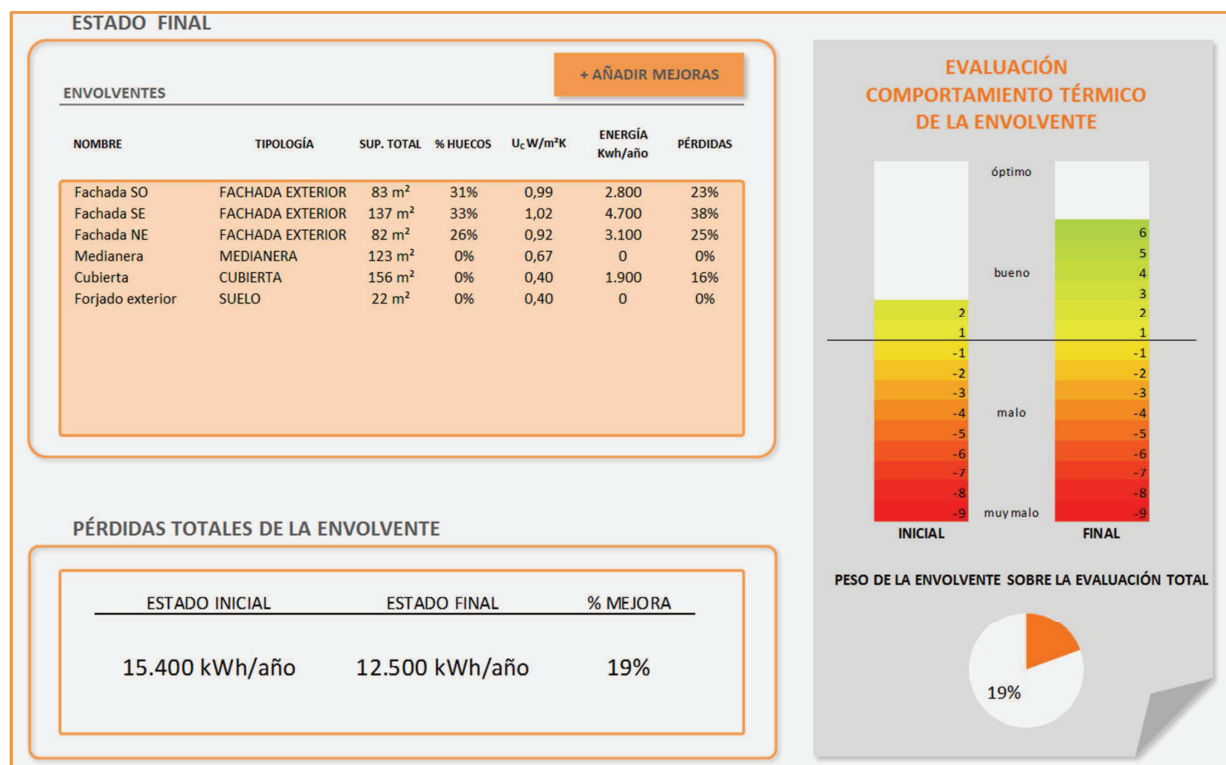


Imagen 32. Resultados comportamiento térmico de la envolvente mínimos CTE.

Como se observa en la imagen 32, el peso que tiene la envolvente sobre la evaluación total del edificio es del 19%, que junto con el 23% de los sistemas que se estudiarán más adelante supone un 42% del total, es decir, que actuando únicamente sobre estos dos apartados se puede conseguir una mejora de casi el 50% de la calificación energética del edificio.

La cantidad de pérdidas totales de la envolvente estimadas, 15.400 kWh/año, cotejadas con el consumo anual del edificio objeto de estudio, 17.563 kWh/año (según tabla 1), es similar, por lo que los datos obtenidos por la herramienta virtual se pueden considerar válidos.

Además, con la intervención realizada para cumplir con los requisitos mínimos del CTE se ha conseguido una mejora del 19% en cuanto a pérdidas totales de la envolvente se refiere, lo que supone un ahorro de 2.900 kWh/año.

3.2 CASO 1.2

En este caso (véase Anexo 6), las mejoras de la envolvente del edificio objeto de estudio están sujetas a lo establecido por la “Guía para los evaluadores acreditados. VERDE NE Residencial y Oficinas v1.a”; debido a que esta guía marca varias medidas de mejora se procederá a evaluar, siempre que sea posible, de la siguiente manera:

- a) Se prevé una reducción del consumo de energía de más del 20% con respecto al CTE, o lo que es lo mismo:
 - Transmitancia térmica de fachadas:
0,48 W/m²K
 - Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire: 0,32 W/m²K
 - Transmitancia térmica de huecos:
2,16 W/m²K

- Permeabilidad al aire de huecos:
 $< 27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
- Transmitancia térmica de medianeras:
 $0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$

Todos los cerramientos, particiones o huecos que no cumplan con estos requisitos deberán ser intervenidos con la intención de alcanzar dichos valores. En este caso, para cumplir los requisitos establecidos por VERDE RH Residencial ha sido necesario:

- Adición de 1 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja interior de las fachadas más un cerramiento de 1 cm de placa de yeso laminado revestido con un acabado de pintura sintética de 5 mm.
- Adición de 5 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja exterior de cubierta.
- Adición de 7 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara externa de la hoja exterior del forjado exterior más un revestimiento de aluminio para su protección del ambiente exterior.
- Sustitución de todas las carpinterías del edificio por nuevas carpinterías de PVC con vidrio con cámara bajo emisivo.

Estas intervenciones han generado los siguientes resultados:

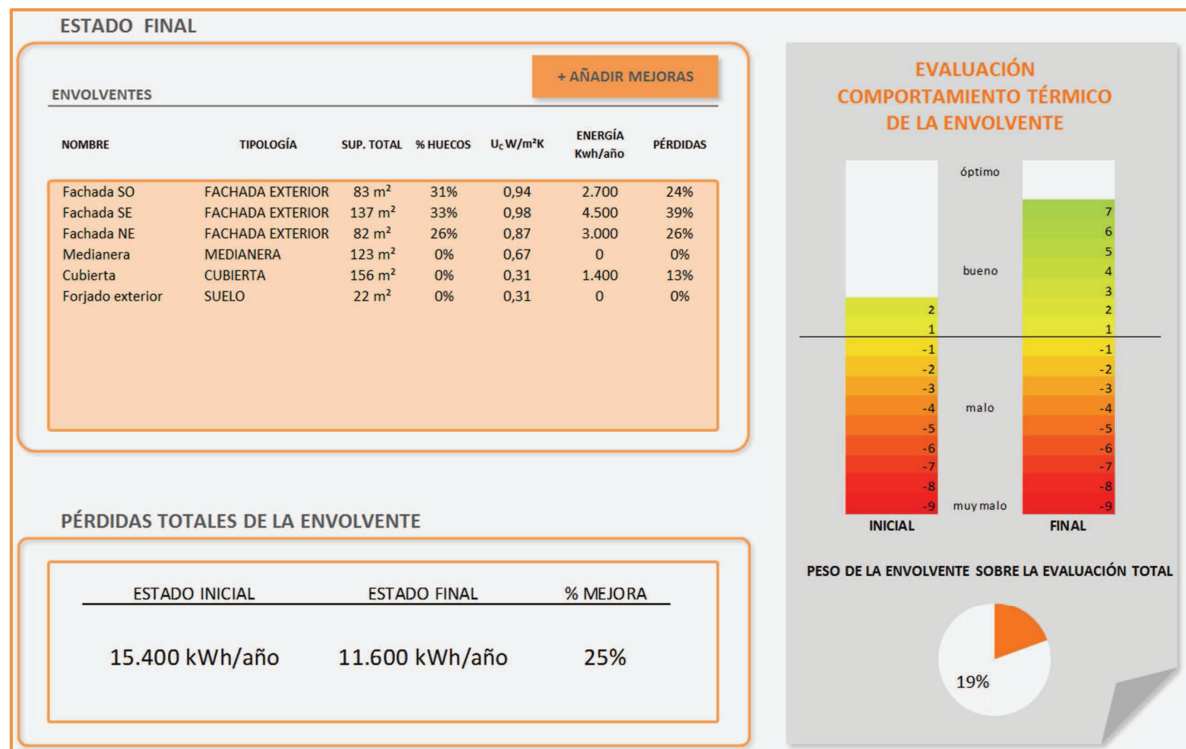


Imagen 33. Resultados comportamiento térmico de la envolvente 20% CTE.

En comparación con el CASO 1.1, con solo la adición de 1 cm de aislamiento en fachadas y el aumento de 3 cm de aislamiento en cubierta y forjado en contacto con el aire se ha conseguido una mejora del 25% de las pérdidas totales de la envolvente, lo que supone un ahorro de 3.800 kWh/año.

- b) Se prevé una reducción del consumo de energía de más del 40% con respecto al CTE, o lo que es lo mismo:
- Transmitancia térmica de fachadas:
 $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire: $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Transmitancia térmica de huecos:
 $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Permeabilidad al aire de huecos:
 $< 27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$

- Transmitancia térmica de medianeras:
 $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$

Todos los cerramientos, particiones o huecos que no cumplan con estos requisitos deberán ser intervenidos con la intención de alcanzar dichos valores. En este caso, para cumplir los requisitos establecidos por VERDE RH Residencial ha sido necesario (véase Anexo 7):

- Adición de 4 cm de aislamiento XPS ($0,042 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja interior de las fachadas más un cerramiento de 1 cm de placa de yeso laminado revestido con un acabado de pintura sintética de 5 mm.
- Adición de 7cm de aislamiento XPS ($0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja exterior de cubierta.
- Adición de 8 cm de aislamiento de Lana mineral ($0,031 \text{ W/m}^2\text{K}$) en la cara externa de la hoja exterior del forjado exterior más un revestimiento de aluminio para su protección del ambiente exterior.
- Sustitución de todas las carpinterías del edificio por nuevas carpinterías de PVC con vidrio con cámara bajo emisivo y doble ventana.

En esta ocasión, las intervenciones han generado los siguientes resultados:

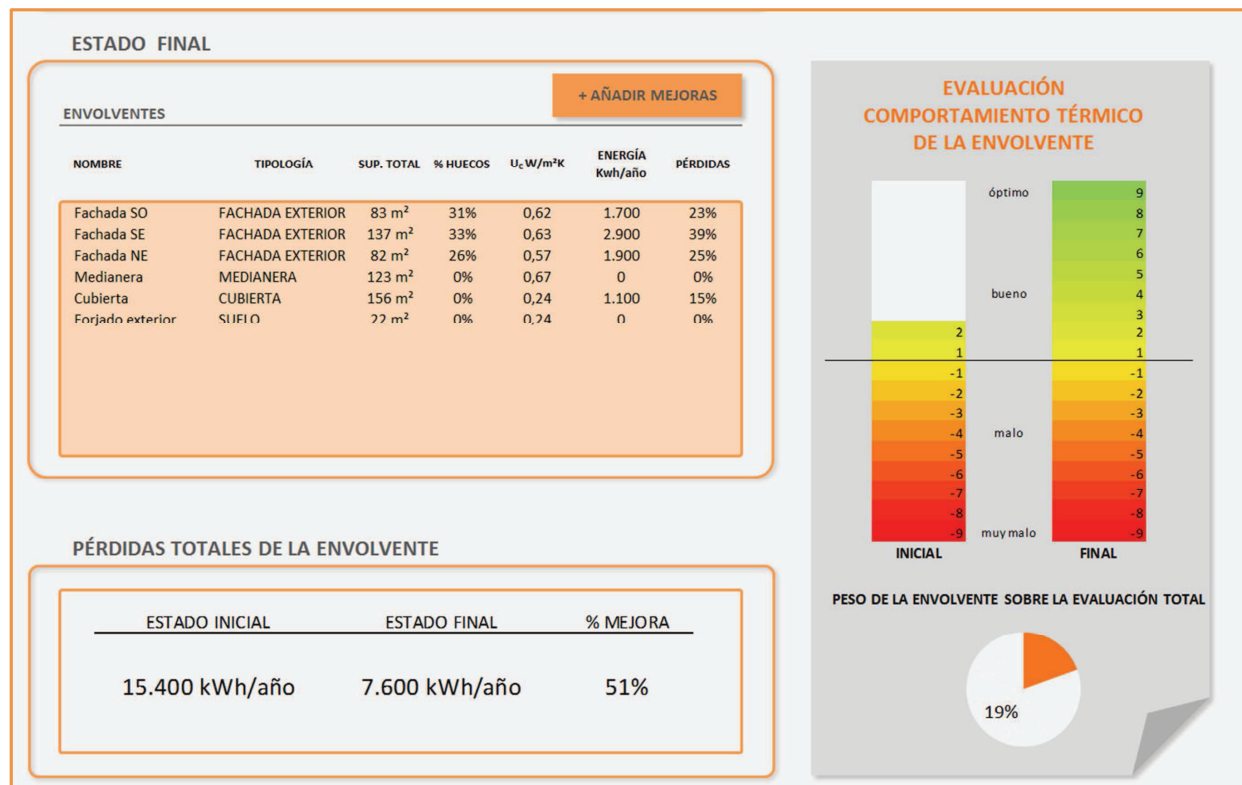


Imagen 34. Resultados comportamiento térmico de la envolvente 40% CTE.

Con el aumento de varios centímetros de espesor del aislamiento en los diferentes puntos de la envolvente y el añadido de la doble ventana en todas las carpinterías se consigue una reducción de las pérdidas totales de la envolvente del 51%, o lo que es lo mismo, una reducción de 7.800 kWh/año.

- c) Se prevé una reducción del consumo de energía de más del 60% con respecto al CTE, o lo que es lo mismo:
- Transmitancia térmica de fachadas:
0,24 W/m²K
 - Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire: 0,16 W/m²K
 - Transmitancia térmica de huecos:
1,08 W/m²K

- Permeabilidad al aire de huecos:
 $< 27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
- Transmitancia térmica de medianeras:
 $0,48 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Todos los cerramientos, particiones o huecos que no cumplan con estos requisitos deberán ser intervenidos con la intención de alcanzar dichos valores. En este caso, resulta imposible alcanzar una reducción de energía de más del 60% ya que la transmitancia mínima de huecos que se puede conseguir es de $1,22 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, lo que supondría obtener como máximo una reducción del 55% de energía, siendo necesario (véase Anexo 8):

- Adición de 7 cm de aislamiento EPS ($0,029 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja interior de las fachadas más un cerramiento de 1 cm de placa de yeso laminado revestido con un acabado de pintura sintética de 5 mm.
- Adición de 2 cm de aislamiento EPS ($0,029 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja interior de las medianeras más un cerramiento de 1 cm de placa de yeso laminado revestido con un acabado de pintura sintética de 5 mm.
- Adición de 12cm de aislamiento EPS ($0,029 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) en la cara interna de la hoja exterior de cubierta.
- Adición de 14 cm de aislamiento de Lana mineral ($0,031 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) en la cara externa de la hoja exterior del forjado exterior más un revestimiento de aluminio para su protección del ambiente exterior.
- Sustitución de todas las carpinterías del edificio por nuevas carpinterías de PVC con vidrio con cámara bajo emisivo y doble ventana.

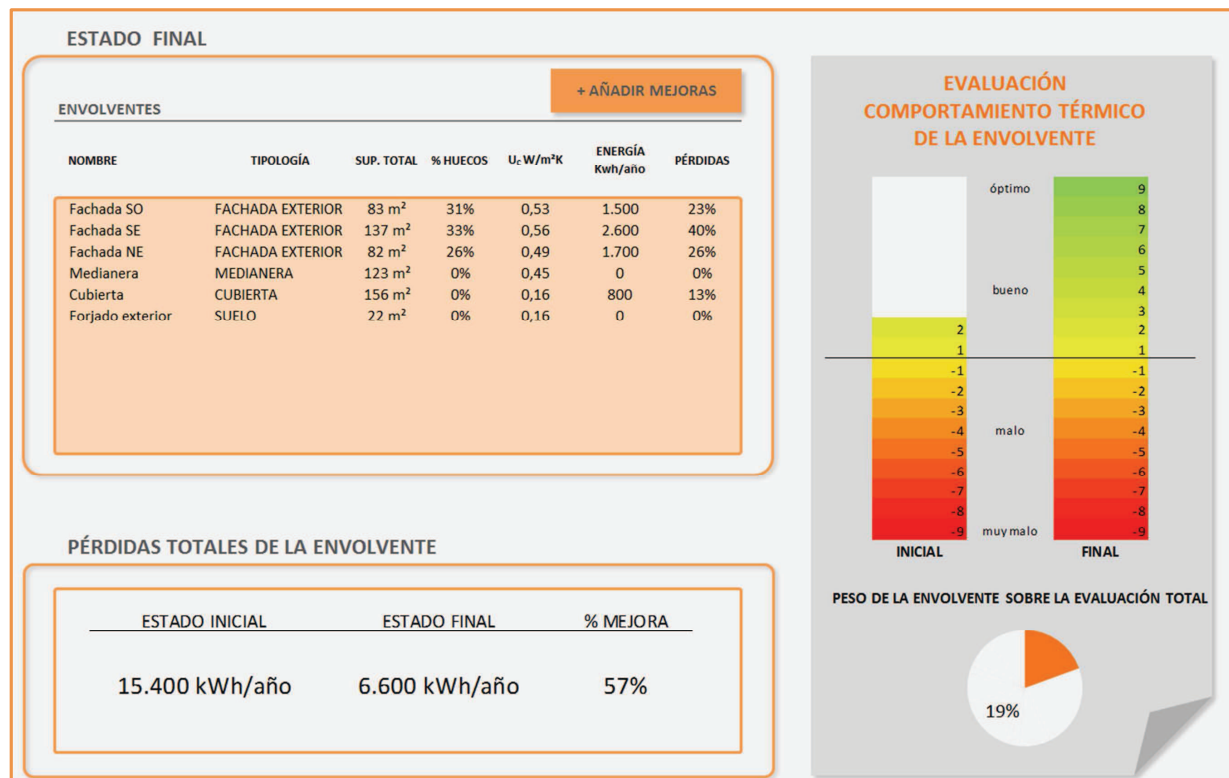


Imagen 31. Resultados comportamiento térmico de la envolvente 55% CTE.

Para poder obtener una mejora del 6% con respecto al anterior caso ha sido necesario el aumento de espesor de aislamiento con respecto a lo que ya se tenía y la incorporación de nuevo aislamiento en medianeras, sin necesidad de cambiar las carpinterías que ya se tenían con vidrio bajo emisivo y doble ventana. Siendo este el tope permitido de mejora en la envolvente para el edificio objeto de estudio se podría llegar a obtener una reducción de las pérdidas totales de casi el 60%, que son 8.800 kWh/año.

3.3 CASO 2

Este segundo caso se centra en el estudio de la mejora del equipamiento del edificio, cuyas “instalaciones térmicas deberán ser las apropiadas y estarán destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes”. Una vez estudiado el comportamiento de la envolvente

y reducida la demanda, el siguiente paso es el equipamiento eficiente de las instalaciones, como se veía en la imagen 31. El triángulo de la energía.

Independientemente de cómo se haya intervenido la envolvente (criterios del CTE o de VERDE RH Residencial), el equipamiento será el mismo para cualquier criterio, ya que se trata de instalar el equipo más apropiado, teniendo en cuenta diferentes factores que afecten al conjunto de la instalación (eficiencia, emisiones dimensiones, coste...).

Se ha estimado un cambio de sistema mixto de calefacción y producción de ACS, sustituyendo el sistema antiguo de cada vivienda, compuesto por una caldera convencional de una antigüedad de entre 5 y 10 años de gas, por una caldera nueva de condensación que emplea también el mismo combustible (véase Anexo 9).

Al igual que para la envolvente, el cálculo para este criterio se ha realizado de forma automática por la herramienta VERDE RH Residencial, cuyos resultados son los siguientes:

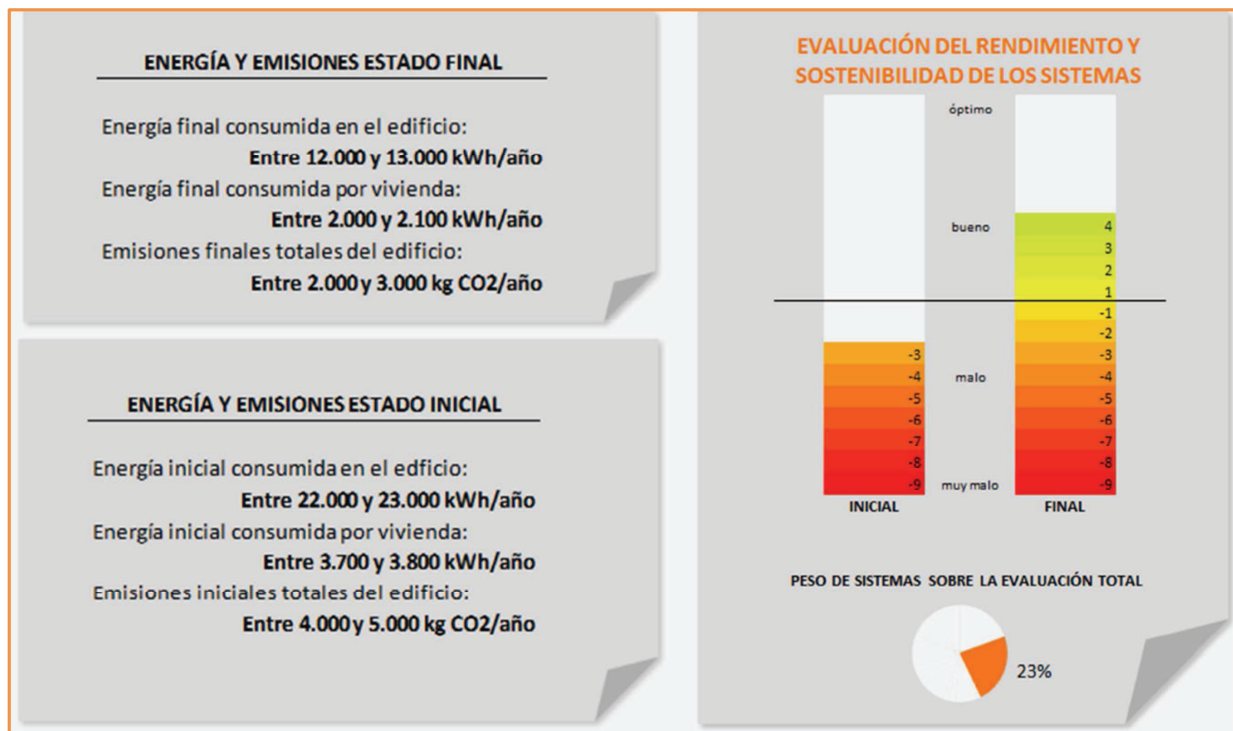


Imagen 35. Resultados de la energía y emisiones de los sistemas.

Como se ha comentado anteriormente, el peso de los sistemas sobre la evaluación total es del 23%, y con el cambio de sistema mixto de calefacción y ACS se puede reducir, como se ve en la imagen 35, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ a prácticamente la mitad.

Esto supone añadir un ahorro adicional a la opción escogida de mejora de la envolvente de aproximadamente 10.000 kWh/año y una reducción de 2.000 kg CO₂/año.

4.3 CASO 3

Por último, este tercer caso y cumbre del triángulo de la energía estudia la incorporación de energías renovables, energías disponibles a partir de procesos permanentes y naturales de conversión de energía, explotables económicamente en las condiciones actuales o en un futuro próximo ⁽²⁵⁾.

Al igual que para las instalaciones, independientemente de cómo se haya intervenido la envolvente, la incorporación de energías renovables será la misma para cualquier criterio, ya que su explotación es indiferente al tipo de envolvente del edificio.

Como la contribución fotovoltaica no es necesaria para el edificio objeto de estudio por los motivos argumentados en el apartado 4.1.1, únicamente se estudia la contribución solar de ACS.

Según la normativa, el edificio se encuentra en una zona climática cuya radiación solar media diaria anual es de 4,4 kWh/m², o lo que es lo mismo, que el edificio recibe a lo largo del año una radiación solar de 1606 kWh/m². Es decir, que por cada m² de captador solar que se instale habría que descontar 1606 kWh de la energía consumida del edificio y, por tanto, el porcentaje de las emisiones totales de CO₂ a las que equivaliese.

El siguiente paso es averiguar cuál es el consumo de ACS y la demanda energética del edificio, que vienen definidos por las siguientes expresiones, cuyos datos se obtienen del DB HE 4:

- $$\text{Consumo ACS mes} = \frac{l_{ACS}}{\text{día} \times \text{persona}} \times n^{\circ} \text{ días} \times n^{\circ} \text{ personas} \times \text{factor centralización} =$$

$$= 28 \times 31 \times 24 \times 0,95 = \mathbf{19.790 \text{ l ACS/mes}}$$

- $$\text{Demanda ACS anual} = \text{Consumo ACS mes} \times n^{\circ} \text{ meses} \times C_e \times (T - T_{ar}) =$$

$$= 19790 \times 12 \times 0,00418 \times (60 - 12,5) = 47152 \text{ MJ} / 3,6 \text{ MJ/kWh} = \mathbf{13.098 \text{ kWh}}$$

donde,

C_e, es el calor específico del agua (4,187 kJ/°C kg)

T, es la temperatura de referencia de ACS (60°C)

Tar, es la temperatura de agua de red promedio de Calahorra en un año (°C)

Lo ideal sería poder cubrir toda la demanda de agua caliente sanitaria del edificio con captadores solares ya que se reduciría el consumo únicamente al uso de calefacción. Para ello habría que colocar un determinado número de m² de captadores que correspondería con lo siguiente:

- $M^2 \text{ captadores} = \text{Demanda ACS} / \text{Radiación solar media} = 13098 / 1606 = 8,15 \approx \mathbf{9 \text{ m}^2}$

Esto significa que, instalando 9 m² de captadores solares, toda la demanda de ACS quedaría cubierta por energías renovables, por lo que habría que descontarla de la energía final consumida.

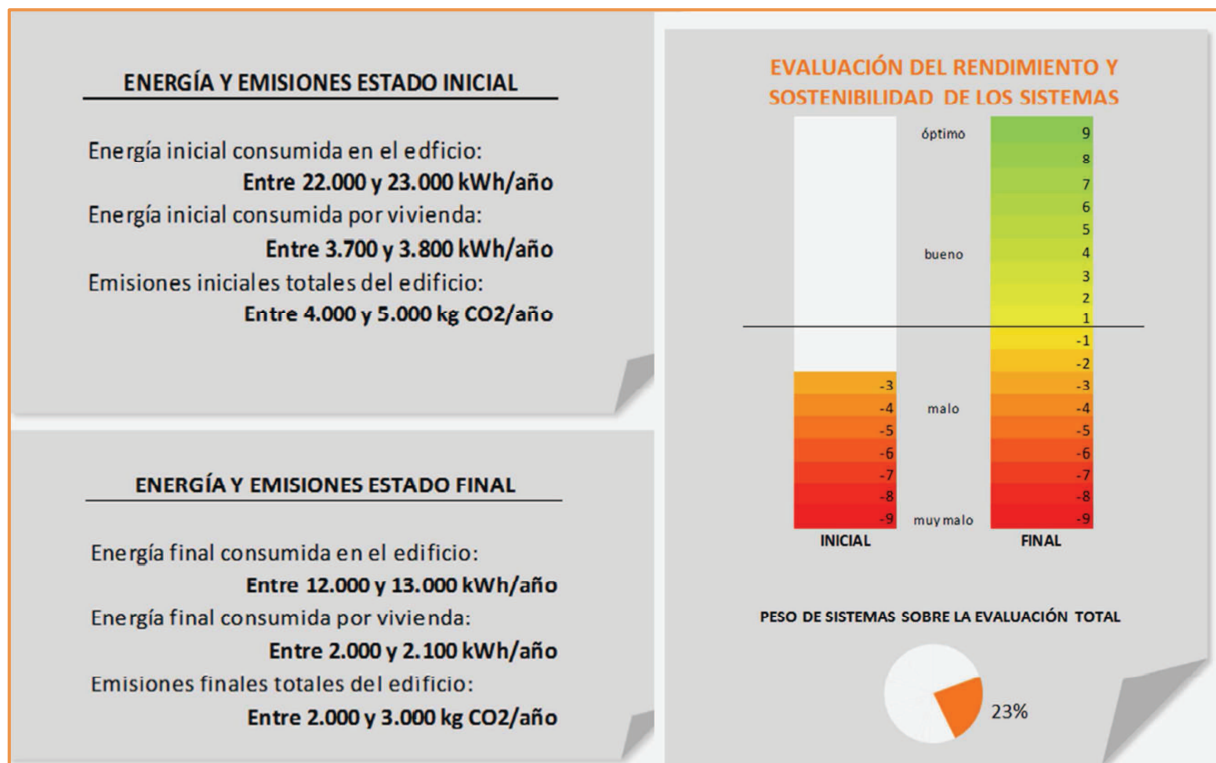


Imagen 36. Resultados de la energía y emisiones de los sistemas y energías renovables.

Como se muestra en la imagen 33 la evaluación del rendimiento y sostenibilidad de los sistemas es óptima con la incorporación de energías renovables (véase Anexo 10). La energía consumida y las emisiones emitidas son las mismas que si no se hubiera instalado un sistema de captadores solares, pero la forma de proceder sería la siguiente:

De una energía inicial consumida del edificio de 23.000 kWh/año, 13.000 kWh/año corresponden a energía renovables, que es lo que habría que descontar; por lo que realmente se consumirían 10.000 kWh/año, que con un adecuado sistema de calefacción como el definido anteriormente se reduciría a más de la mitad, consumiendo una energía final en el edificio de alrededor de 4.500 kWh/año.

Capítulo 5.

Resultados

1 Ahorro energético.

A partir de los cálculos y resultados expuestos en el apartado anterior, y con el objetivo de realizar un análisis global de los beneficios y desventajas de la rehabilitación energética, se ha creído conveniente analizar todos los valores totales obtenidos en conjunto, de manera que se puedan comparar y visualizar gráficamente los ahorros de consumo y demanda energética conseguidos.

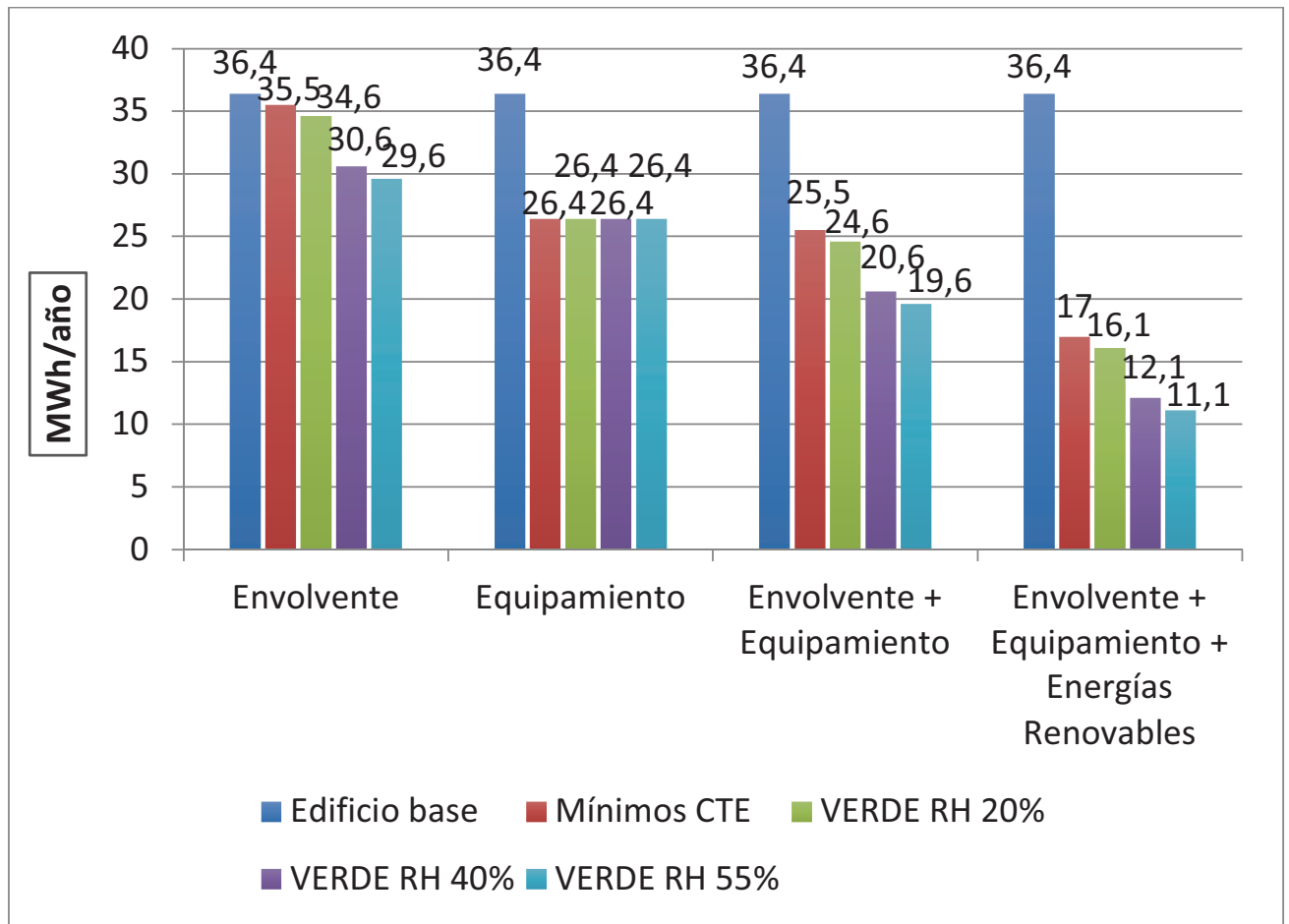


Gráfico 5. Consumos en un año de las diferentes opciones en cada caso.

La diferencia de consumos en comparación con el Edificio Base queda reflejada en la siguiente tabla:

Consumo de energía (kWh/año)					
	Edificio Base	Mínimos CTE	VERDE RH 20%	VERDE RH 40%	VERDE RH 55%
Envolvente	36.400	35.500	34.600	30.600	29.600
Ahorro respecto Edificio Base	0	900	1.800	5.800	6.800
Equipamiento	36.400	35.400	35.400	35.400	35.400
Ahorro respecto Edificio Base	0	10.000	10.000	10.000	10.000
Envolvente + Equipamiento	36.400	25.500	24.600	20.600	19.600
Ahorro respecto Edificio Base	0	10.900	11.800	15.800	16.800
Envolvente + Equipamiento + Energías renovables	36.400	17.000	16.100	12.100	11.100
Ahorro respecto Edificio Base	0	19.400	20.300	24.300	25.300

Tabla 13. Consumo y ahorro de energía de los diferentes casos.

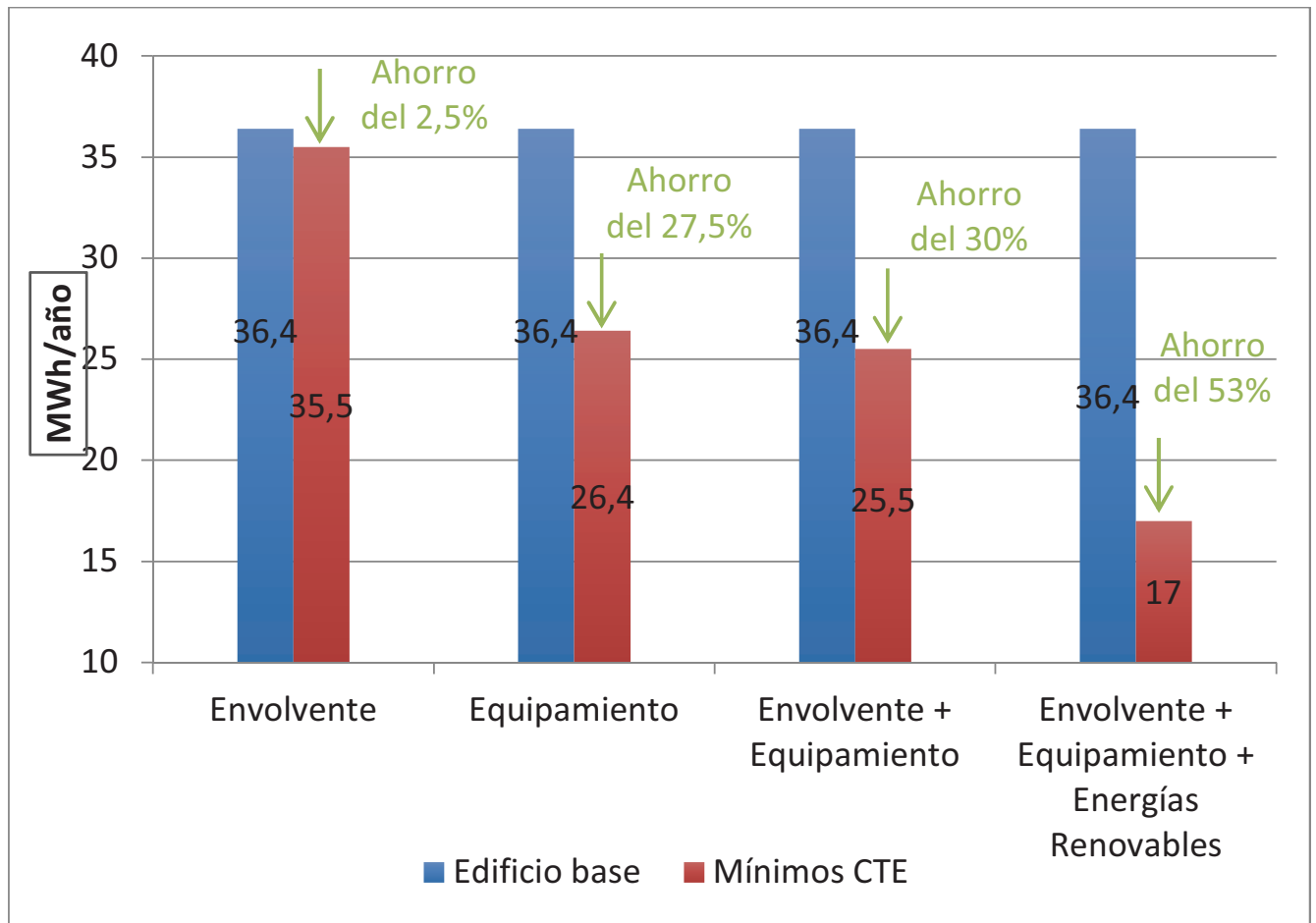


Gráfico 6. Ahorro energía final en un año con los mínimos establecidos en el CTE.

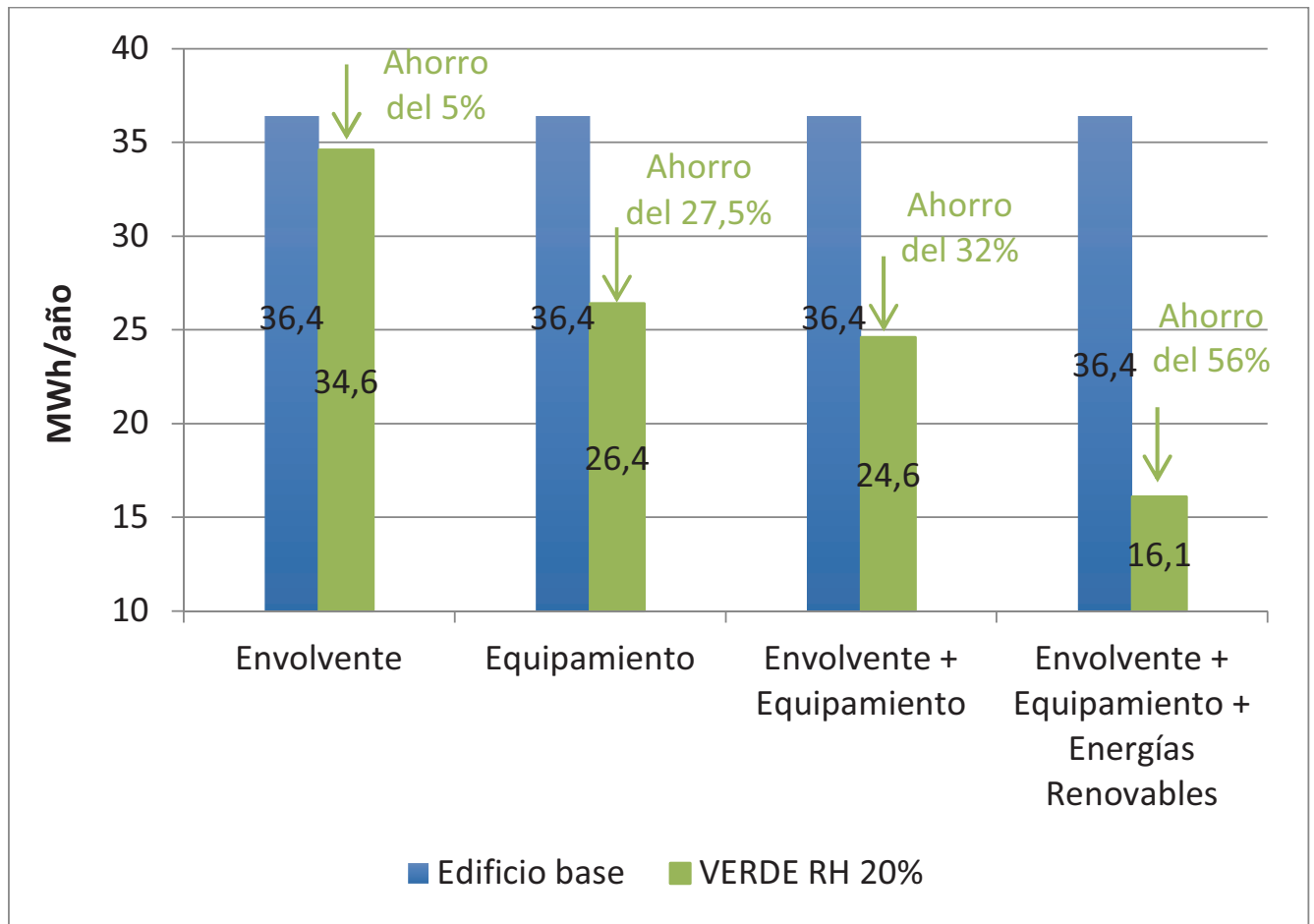


Gráfico 7. Ahorro energía final en un año con VERDE RH 20%.

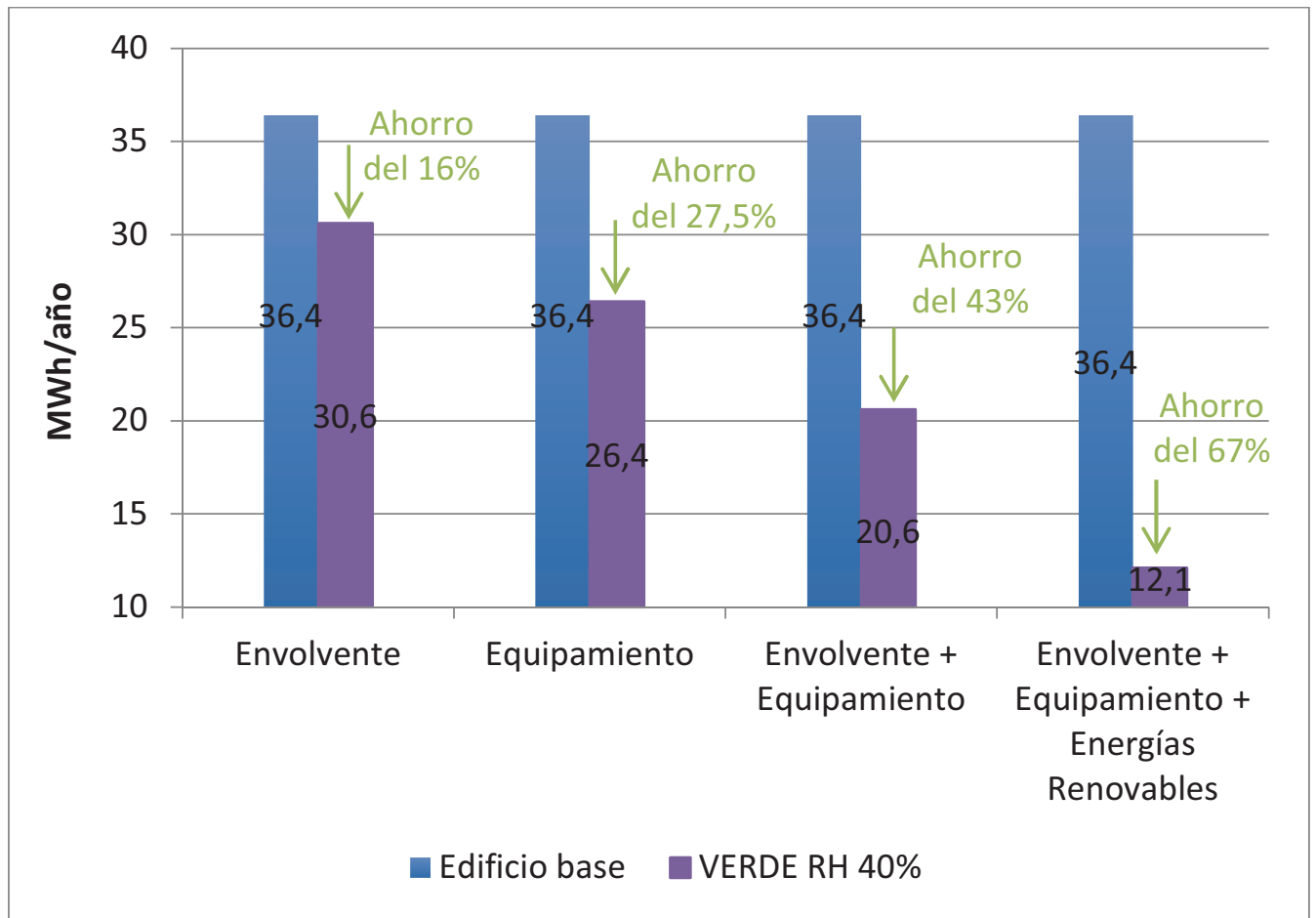


Gráfico 8. Ahorro energía final en un año con VERDE RH 40%.

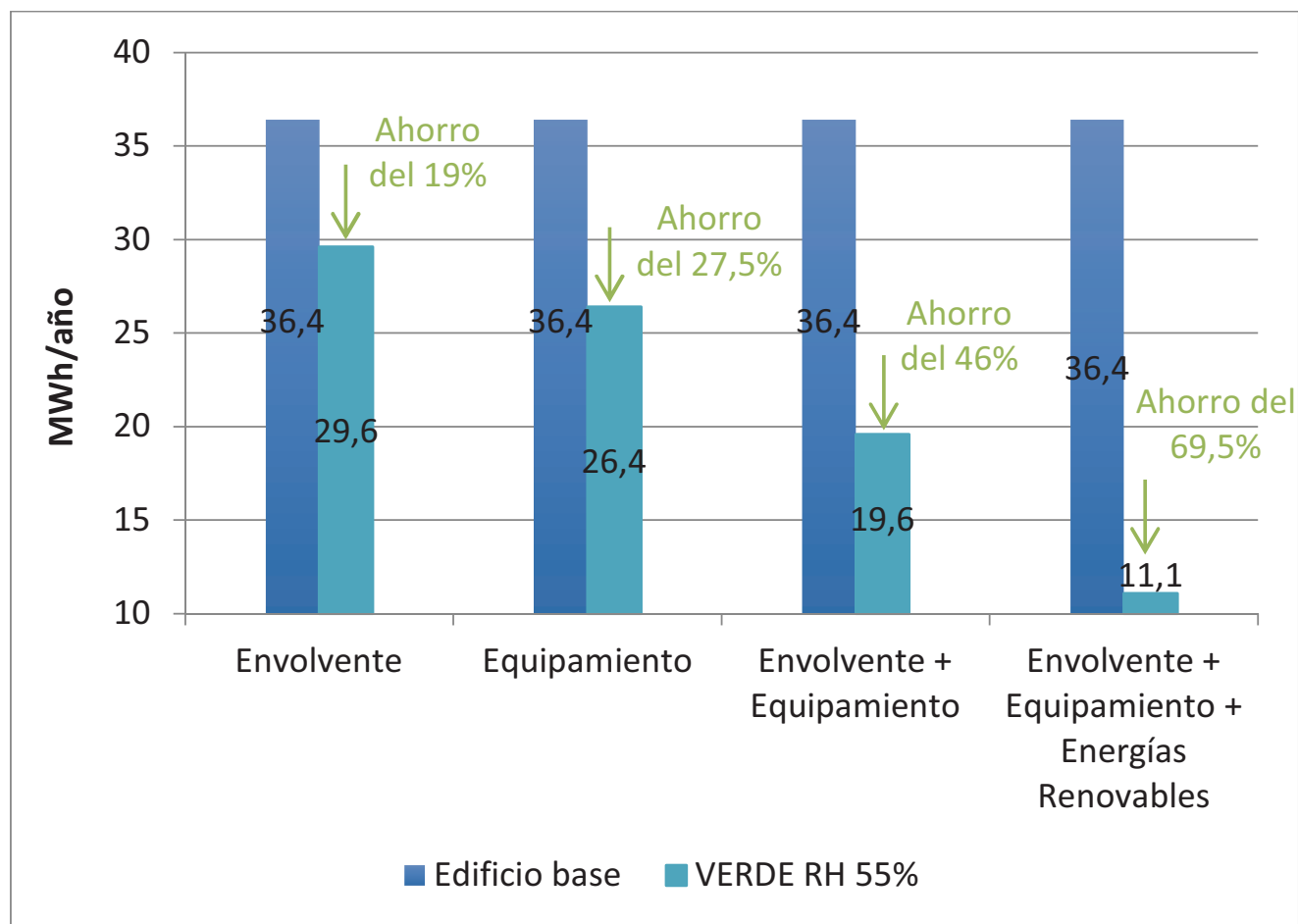


Gráfico 9. Ahorro energía final en un año con VERDE RH 55%.

A simple vista, si únicamente se tratase de ahorro energético, está claro que la mejor opción es intentar reducir el consumo de energía en más del 55% con respecto al CTE como marca la Guía VERDE RH Residencial en el gráfico 9, aislando la envolvente, instalando un equipamiento apropiado e incorporando energías renovables, consiguiendo así un ahorro de casi el 70% con respecto el edificio base; pero evidentemente esto no es así, ya que se tiene que comparar con el coste económico de cada propuesta y su periodo de amortización (sería ilógico proponer una mejora con un periodo de amortización superior al de la vida útil del edificio), optando por elegir la opción más viable.

Esto es así porque en la actualidad, el mundo se enfrenta a una dura crisis energética que está favoreciendo la inestabilidad del sistema económico y por ende al sistema capitalista. Una crisis energética es una gran subida de precio en el suministro de fuentes de energía a una economía. Normalmente hace referencia a una disminución de la disponibilidad de petróleo u otros recursos naturales. La crisis repercute en el resto de la economía, provocando una recesión en alguna forma. En particular, los costes de producción de electricidad cercen, lo que eleva los costes de las manufacturas. Para el consumidor el precio de la energía aumenta, lo que le lleva a una reducción de sus gastos y a una menor confianza. En una economía de mercado el precio de los productos energéticos, tales como el petróleo, el gas o la electricidad se comportan según un principio de oferta y demanda que puede ocasionar cambios repentinos en el precio de la energía cuando éstas cambian.

Por ello el ahorro de energía debe ser uno de los pilares del cambio, ya que, hasta que el paso a las energías renovables se afiance, la energía cada vez será más escasa y, en consecuencia, más cara ⁽²⁶⁾.

2 Análisis de la amortización económica.

Una vez observadas las connotaciones de este proyecto a nivel energético y sus repercusiones, a continuación se intentará mostrar el periodo de amortización económica estimado para las diferentes propuestas de rehabilitación contenidas en este documento.

Como la situación económica y energética actual está en continuo cambio, establecer las hipótesis futuras del precio de la energía, con la incertidumbre que existe, es muy difícil. Por ese motivo, el valor monetario para la energía ahorrada será el del precio de las

facturas de electricidad facilitadas (€/kWh). En este sentido es conveniente comentar que actualmente la generación de energía eléctrica en el mundo entero sigue dependiendo en gran parte de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) que, por un lado, empiezan a escasear y, por otro, son sumamente contaminantes (27).

Para el cálculo de la amortización económica, el primer paso es aproximar un valor de inversión necesario para acometer y mantener las propuestas presentadas. Para ello, se ha realizado un presupuesto económico estimativo por cada caso propuesto, refiriéndose a la intervención necesaria de la envolvente, el equipamiento y la instalación de energías renovables (véase Anexo 11).

Una vez conocida la inversión, el siguiente paso para calcular la amortización económica debe ser averiguar el ahorro económico acumulado por edificio y año.

Finalmente, sabiendo la inversión realizada y el ahorro económico acumulado por edificio y año se podrá estimar el tiempo, en años, de la amortización económica de cada caso, pudiendo así compararlos y viendo qué situación es la más viable.

A continuación se muestra cada caso en particular de la amortización económica:

Caso 1. Mínimos CTE

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	4.220,91	11,27
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	84,94
C03	REVESTIMIENTOS.....	1.419,13	3,79
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		37.450,50	

- Ahorro energético por edificio y año:

900 kWh/año

Nota: los datos del ahorro energético por edificio y año se han obtenido de la tabla 13.

- Ahorro económico por edificio y año:

$900 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{150,30 \text{ €/año}}$

Nota: para el precio de la energía se ha considerado el precio de las facturas de luz del presente proyecto a fecha de noviembre de 2013 con impuestos incluidos.

- Amortización económica:

$37.450,50 \text{ €} / 150,30 \text{ €/año} = \mathbf{249 \text{ años}}$

Solución totalmente inviable.

Caso 2. Mínimos CTE + Equipamiento

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	4.220,91	8,10
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	61,07
C03	REVESTIMIENTOS.....	1.419,13	2,72
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	14.640,42	28,11
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		52.090,92	

- Ahorro energético por edificio y año:

10.900 kWh/año

- Ahorro económico por edificio y año:

$10.900 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{1.820,30 \text{ €/año}}$

- Amortización económica:

$$52.090,92 \text{ €} / 1.820,30 \text{ €/año} = \mathbf{29 \text{ años}}$$

Caso 3. Mínimos CTE + Equipamiento + Energías renovables

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	4.220,91	5,61
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	42,28
C03	REVESTIMIENTOS.....	1.419,13	1,89
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	37.779,81	50,22
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		75.230,31	

- Ahorro energético por edificio y año:

19.400 kWh/año

- Ahorro económico por edificio y año:

$$19.400 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{3.239,80 \text{ €/año}}$$

- Amortización económica:

$$75.230,31 \text{ €} / 3.239,80 \text{ €/año} = \mathbf{23 \text{ años}}$$

Caso 4. VERDE RH 20%

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	7.800,42	14,99
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	61,15
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	23,86
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		52.023,08	

- Ahorro energético por edificio y año:
1.800 kWh/año
 - Ahorro económico por edificio y año:
 $1.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{300,60 \text{ €/año}}$
 - Amortización económica:
 $52.023,08 \text{ €} / 300,60 \text{ €/año} = \mathbf{173 \text{ años}}$
- Solución totalmente inviable.**

Caso 5. VERDE RH 20% + Equipamiento

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	7.800,42	11,70
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	47,72
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	18,62
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	14.640,42	21,96
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		66.663,50	

- Ahorro energético por edificio y año:
11.800 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:
 $11.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{1.970,60 \text{ €/año}}$
- Amortización económica:
 $66.663,50 \text{ €} / 1.970,60 \text{ €/año} = \mathbf{34 \text{ años}}$

Caso 6. VERDE RH 20% + Equipamiento + Energías renovables

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	7.800,42	8,69
C02	CARPINTERÍA.....	31.810,46	35,42
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	13,82
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	37.779,81	42,07
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		89.802,89	

- Ahorro energético por edificio y año:
20.300 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:
 $20.300 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{3.390,10 \text{ €/año}}$
- Amortización económica:
 $89.802,89 \text{ €} / 3.390,10 \text{ €/año} = \mathbf{27 \text{ años}}$

Caso 7. VERDE RH 40%

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	12.027,36	21,22
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	56,88
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	21,90
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		56.677,93	

- Ahorro energético por edificio y año:
5.800 kWh/año

- Ahorro económico por edificio y año:

$$5.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{968,60 \text{ €/año}}$$

- Amortización económica:

$$56.677,93 \text{ €} / 968,60 \text{ €/año} = \mathbf{59 \text{ años}}$$

Solución totalmente inviable

Caso 8. VERDE RH 40% + Equipamiento

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	12.027,36	16,86
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	45,20
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	17,40
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	14.640,42	20,53
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		71.318,35	

- Ahorro energético por edificio y año:

$$\mathbf{15.800 \text{ kWh/año}}$$

- Ahorro económico por edificio y año:

$$15.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{2.638,60 \text{ €/año}}$$

- Amortización económica:

$$71.318,35 \text{ €} / 2.638,60 \text{ €/año} = \mathbf{27 \text{ años}}$$

Caso 9. VERDE RH 40% + Equipamiento + Energías renovables

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	12.027,36	12,73
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	34,13
C03	REVESTIMIENTOS.....	12.412,20	13,14
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	37.779,81	40,00
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		94.457,74	

- Ahorro energético por edificio y año:
24.300 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:
 $24.300 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{4.058,10 \text{ €/año}}$
- Amortización económica:
 $94.457,74 \text{ €} / 4.058,10 \text{ €/año} = \mathbf{23 \text{ años}}$

Caso 10. VERDE RH 55%

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	19.641,26	28,39
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	46,60
C03	REVESTIMIENTOS.....	17.307,30	25,02
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		69.186,93	

- Ahorro energético por edificio y año:
6.800 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:

$$6.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{1.135,60 \text{ €/año}}$$

- Amortización económica:

$$69.186,93 \text{ €} / 1.135,60 \text{ €/año} = \mathbf{61 \text{ años}}$$

Solución totalmente inviable

Caso 11. VERDE RH 55% + Equipamiento

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	19.641,26	23,43
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	38,46
C03	REVESTIMIENTOS.....	17.307,30	20,65
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	14.640,42	17,46
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		83.827,35	

- Ahorro energético por edificio y año:
16.800 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:
 $16.800 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{2.805,60 \text{ €/año}}$
- Amortización económica:
 $83.827,35 \text{ €} / 2.805,60 \text{ €/año} = \mathbf{30 \text{ años}}$

Caso 12. VERDE RH 55% + Equipamiento + Energías renovables

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
C01	AISLAMIENTOS.....	19.641,26	18,36
C02	CARPINTERÍA.....	32.238,37	30,14
C03	REVESTIMIENTOS.....	17.307,30	16,18
C04	CALEFACCIÓN Y A.C.S.....	37.779,81	35,32
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		106.966,74	

- Ahorro energético por edificio y año:
25.300 kWh/año
- Ahorro económico por edificio y año:
 $25.300 \text{ kWh/año} \cdot 0,167 \text{ €/kWh} = \mathbf{4.225,10 \text{ €/año}}$
- Amortización económica:
 $106.966,74 \text{ €} / 4.225,10 \text{ €/año} = \mathbf{25 \text{ años}}$

Una vez estudiada la amortización económica de cada caso en particular se puede concluir lo siguiente:

- Para cualquiera de los casos, la propuesta de mejora exclusivamente de la envolvente no resulta viable ya que su periodo de amortización es mucho mayor que la vida útil del edificio; 249 años en el caso de cumplir los mínimos del CTE, 173 años para el caso VERDE RH 20%, 59 años para VERDE RH 40% y 61 años para VERDE RH 55.

- Las opciones, por orden de viabilidad, más aconsejables para poder llevar a cabo serían:
 - VERDE RH 40% + Equipamiento + Energías renovables: Resulta la opción que más rápido se amortizaría independientemente de la inversión realiza (23 años), consiguiendo un ahorro de 4.058,10 € por cada año respecto de lo que se paga por el consumo actual del edificio base. A partir del año 23 la inversión realizada comenzaría a generar beneficios.
 - Mínimos CTE + Equipamiento + Energías renovables: Al igual que la anterior también se amortizaría en 23 años, pero el ahorro, tanto económico como energético, es bastante menor, por lo que resulta mucho más interesante la primera opción a pesar de suponer una mayor inversión inicial.
 - VERDE RH 55% + Equipamiento + Energías renovables: Esta opción se amortizaría en 25 años, obteniendo un ahorro de 4.225,10 € por año. Se ahorra más cada año que en la primera opción propuesta, pero en comparación resulta más rentable VERDE RH 40% + Equipamiento + Energías renovables.

3 Certificación energética de las propuestas de mejora.

Con la intención de poder evaluar de forma más precisa, energéticamente hablando, el nivel al que se ha llegado tras las

diferentes propuestas de mejora, se ha vuelto a simular el edificio objeto de estudio con las mejoras correspondientes con el programa CE³X v1.1, de forma que se pueda evaluar y comparar con la situación inicial del edificio. Al igual que en la certificación inicial, la calificación global del edificio que genera el programa se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo; que en estos nuevos casos, con mejoras añadidas, corresponden con la siguiente calificación:


INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
	32.84 E	CALEFACCIÓN		ACS			
				D	E		
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]			
		22.24		4.98			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
				G		-	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]			
32.84		5.63		-			

Tabla 14. Calificación energética del edificio objeto de estudio en CE³X v1.1.

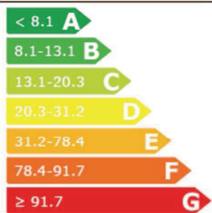
INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
	23.79 D	CALEFACCIÓN		ACS			
				D	A		
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]			
		17.80		0.00			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
				G		-	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]			
23.79		5.99		-			

Tabla 15. Calificación energética CTE + Equipamiento + Energías renovables en CE³X v1.1.

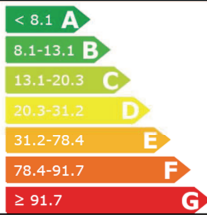
INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
	19.62 C	CALEFACCIÓN	
		C	
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]	
		14.83	
		REFRIGERACIÓN	
		G	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]	
19.62		0.00	
		ILUMINACIÓN	
		-	
		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]	
		-	

Tabla 16. Calificación energética VERDE RH 40% + Equipamiento + Energías renovables en CE³X v1.1.


INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES	
	19.24 C	CALEFACCIÓN	
		C	
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² año]	
		14.49	
		REFRIGERACIÓN	
		G	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² año]		Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² año]	
19.24		0.00	
		ILUMINACIÓN	
		-	
		Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² año]	
		-	

Tabla 17. Calificación energética VERDE RH 55% + Equipamiento + Energías renovables en CE³X v1.1.

Como se puede observar, las emisiones globales de CO₂ se reducen en un 28%, un 40% y un 41% respectivamente con las mejoras propuestas, estimación que coincide con el estudio VERDE RH Residencial del apartado 4.3. A pesar de ello, y de conseguir un aumento de la calificación energética del edificio lo máximo posible (aumentando una o dos letras la calificación con respecto al edificio base), como se intentaba conseguir en los objetivos iniciales del presente proyecto, no se ha podido llegar a alcanzar los mínimos establecidos por el Código Técnico de la Edificación en cuanto a consumo energético de energía primaria y demanda energética de calefacción (kWh/m²año) se refiere, llegando a superar en un 40% y casi un 200% respectivamente, en el mejor de los casos, los valores establecidos para un edificio de obra nueva (véase Anexo 3). Esto se

debe principalmente al uso de combustibles fósiles, cuya disponibilidad está limitada.

Capítulo 6.

Conclusiones

Las conclusiones principales a las que se ha llegado en este estudio son las siguientes:

- **La rehabilitación energética trae consigo una gran cantidad de ventajas directas e indirectas.** Como se ha demostrado a lo largo del trabajo, la rehabilitación energética conlleva ventajas directas en temas energéticos, económicos y de efecto sobre el cambio climático, pero además, si se enfoca atendiendo no solamente al ahorro de energía durante el uso del edificio, sino también al origen y fabricación de los materiales y sistemas empleados, tiene otras ventajas indirectas como la generación de empleo, la colaboración en la mejora del bienestar social, el desarrollo de la actividad y la industria, etc. Por ello se considera que, a pesar de las limitaciones impuestas por la falta de información disponible y por las herramientas utilizadas, la metodología empleada y los resultados obtenidos cumplen con las expectativas y objetivos planteados.
- **La envolvente térmica y, en consecuencia, la demanda energética del edificio son el eje principal de actuación.** La demanda del edificio es el primer lugar en el que actuar, y para ello los esfuerzos deben ir encaminados a mejorar la piel del edificio. Además, con unas pequeñas y sencillas intervenciones tan elementales como introducir aislamientos y mejorar los huecos, se consigue adaptar gran parte de las edificaciones incluidas en este proyecto a unos

valores de demanda adecuados, llegando a mejorar entre un 19% y un 57% dependiendo de los casos.

- **La inversión debe ir más allá de la envolvente térmica.** Es cierto que actuando sobre la envolvente del edificio se consiguen grandes mejoras, en cuanto a demanda energética se refiere, pero si se invirtiese exclusivamente en esta opción, el período de amortización sería muy grande; mientras que si se invierte en un adecuado equipamiento y en el uso de energías renovables para A.C.S. (cuya inversión supondría un 40% del total, siendo el otro 60% el coste de la envolvente) se conseguiría un periodo de amortización muy acorde con el desembolso inicial.
- **Los periodos de amortización han de mirarse a medio-largo plazo.** Según los cálculos realizados, los periodos de amortización viables se encuentran entre los 23 y 30 años dependiendo de la propuesta de mejora que se vaya a realizar. Esto supone un tema de estudio ya que el periodo de amortización equivale aproximadamente a la mitad de la vida útil del edificio estipulada por la normativa (50 años); evidentemente el edificio no se declara en ruinas a partir del año 51, pero si sería necesario realizar un estudio previo del edificio y ver en qué condiciones se encuentra. Normalmente, para los edificios que entrarían dentro del campo de estudio de este proyecto la opción de rehabilitar energéticamente resulta muy interesante porque se podrían obtener beneficios durante unos cuantos años hasta declarar el edificio inadecuado para su uso
- **Introducción de las energías renovables en la rehabilitación energética.** En el caso del presente proyecto, el uso de la energía renovable solar supone que, una vez se amortice la inversión de la instalación de las placas solares (de 10 a 15 años), el agua caliente sanitaria que se consuma

sería gratuita durante unos 10 años más (vida útil de la instalación igual a 25 años).

- **La viabilidad energética positiva y la viabilidad económica negativa.** Quizá uno de los resultados que más clarividencia ofrece sobre el panorama actual reside en la diferencia de plazos de amortización de la parte económica frente a la parte energética. Como se ha explicado en el apartado 5, el plazo de amortización económico oscila entre los 23 y los 30 años, mientras que el plazo de amortización energético requiere entre 2 y 5 años para cubrir costes. Esta magnitud de diferencia sirve para reforzar que, donde está la crisis es en la energía, pero el modelo económico se resiste a aceptarlo, exprimiendo el modelo energético actual hasta las últimas consecuencias.
- **El precio futuro de la energía, la gran incógnita.** La incertidumbre en la evolución de los precios de la energía promueve un escepticismo en torno a las inversiones necesarias para acometer este tipo de proyectos. Por ello se deberían realizar esfuerzos directos para fomentar que los inversores consideren como una posibilidad de rentabilidad la inversión en construir de manera sostenible. La evolución del precio de la energía puede dictar el camino forzado a esa manera de actuar, ya que si el precio de los combustibles fósiles se dispara a causa de la escasez, la única posibilidad de conseguir energía rentable será la procedente de energías renovables.

Capítulo 7.

Referencias Bibliográficas

Publicaciones:

- Instituto de Tecnología de la Construcción, (2002): “Parámetros de Sostenibilidad”.
- ⁽⁷⁾ ⁽¹²⁾ ⁽¹³⁾ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio: “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012”.
- Ortega Madrigal, L. (2011): “Regeneración urbana integral, revitalización de barrios y rehabilitación energética de edificios existentes. Nuevas estrategias y modelos de gestión inteligentes” Instituto Valenciano de la Edificación.
- ⁽¹¹⁾ Boletín Oficial del Estado (13 de abril de 2013): “Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios”.

Catálogos:

- Comunidad de Madrid (2008): “Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas” Consejería de Economía y Consumo, organización Dirección general de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Renovarte (2009): “Guía práctica de rehabilitación energética en edificios”.

- ⁽¹⁾ ⁽²³⁾ ⁽²⁴⁾ Envolvalia (2011): “La rehabilitación energética aporta valor al patrimonio”.
- ⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾ GBC España (2012): “Guía para los evaluadores acreditados. VERDE NE Residencial y Oficinas v1.a”.
- ⁽²⁰⁾ GBC España (2012): “Guía para los evaluadores acreditados. VERDE NE Unifamiliar v1.b”.
- ⁽¹⁶⁾ ⁽¹⁷⁾ GBC España (2013): “Guía de certificación. VERDE RH Residencial v1.a”.

Tesis y trabajos:

- ⁽⁶⁾ Wadel, G., (2009) “Tesis doctoral: “La sostenibilidad en la construcción industrializada, la construcción modular ligera aplicada a la vivienda”.
- Lourdes Renove (2009): “Rehabilitación energética integral del barrio de Lourdes. Tudela” Candidatura a la XII edición del premio “Ciudad, Urbanismo y Ecología”.
- ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾ ⁽⁸⁾ ⁽¹⁰⁾ ⁽²⁶⁾ ⁽²⁷⁾ Busquets Hidalgo, J., (2011): “Tesina final de máster: Rehabilitación energética” UPC. Cataluña.
- ⁽²¹⁾ ⁽²²⁾ Rodríguez Abad, I., (2013): “Unidad 6. Termografía de infrarrojos” UPV. Valencia.

Páginas web:

- ⁽¹⁴⁾ ⁽¹⁵⁾ www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos
- www.envolvalia.es
- ⁽⁹⁾ www.controlmand.com

- www.cener.com
- (25) www.worldenergy.org
- (2) www.ine.es
- (2) www.larioja.org
- (3) www.ayto-calahorra.es

Anexos