



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Estudio comparativo de los procesos de calificación y certificación energética de viviendas realizado a través de aplicaciones informáticas. Caso de estudio: edificio residencial de 1965 en Valencia

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Rivera Gonzalez, Samuel

Tutor/a: López Mateu, Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA AVANZADA, PAISAJE, URBANISMO Y DISEÑO
TRABAJO FINAL DE MÁSTER



“ESTUDIO COMPARATIVO DEL PROCESO DE CALIFICACIÓN Y
CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS REALIZADO
A TRAVÉS DE APLICACIONES INFORMÁTICAS.
CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO RESIDENCIAL DE 1965 EN VALENCIA”

Autor: Samuel Rodrigo Rivera González
Tutor: Vicente López Mateu

MAAPUD | Año 2023-2024

ÍNDICE

NOMENCLATURA UTILIZADA	3
RESUMEN	5
1. GENERALIDADES	7
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	7
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TFM	8
1.3. MOTIVACIÓN PERSONAL	9
1.4. OBJETO Y OBJETIVOS	10
1.5. HIPÓTESIS	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. CONTEXTO GLOBAL: LA SOSTENIBILIDAD COMO EJE TRANSVERSAL	13
2.2. CONTEXTO ESPECÍFICO: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA UE Y ESPAÑA	20
2.3. NORMATIVA SOBRE LA SOSTENIBILIDAD	27
2.3.1. NORMATIVA EUROPEA	27
2.3.2. NORMATIVA ESPAÑOLA	29
2.3.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA	30
2.4. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA	32
2.4.1. MEDICIÓN ENERGÉTICA	33
2.4.2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	35
2.4.3. CERTIFICADO ENERGÉTICO	36
2.5. HERRAMIENTAS DIGITALES PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA	38
2.5.1. HERRAMIENTA CERMA	39
2.5.2. HERRAMIENTA HULC	39
2.5.3. HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS	39
2.6. REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS	40
2.6.1. REHABILITACIÓN EN MUROS EXTERIORES	40
2.6.2. REHABILITACIÓN EN HUECOS	42
2.6.3. REHABILITACIÓN EN CUBIERTA	46
2.7. CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA	51
2.7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN ENTRE 1960-1980	51
3. METODOLOGÍA	53
3.1. FASE 1: MODELO INICIAL	53
3.2. FASE 2: SIMULACIÓN DE REHABILITACIÓN	54
3.2.1. SIMULACIÓN 1: ACTUACIÓN EN MUROS EXTERIORES (S1)	54
3.2.2. SIMULACIÓN 2: ACTUACIÓN EN HUECOS (S2)	54
3.2.3. SIMULACIÓN 3: ACTUACIÓN EN CUBIERTA (S3)	54
3.2.4. SIMULACIÓN COMBINADA (SC)	54
4. CASO DE ESTUDIO	56
4.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	56
4.1.1. EMPLAZAMIENTO	56
4.1.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	58
4.1.3. SUPERFICIES	59
4.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	61
4.2.1. ESTRUCTURA	61
4.2.2. MUROS Y TABIQUERÍAS	61
4.2.3. HUECOS	61
4.2.4. FORJADOS	62
4.2.5. CUBIERTA	62

4.3.	TRANSMITANCIA TÉRMICA	63
5.	FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL	66
5.1.	MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CERMA (CR_MI)	67
5.2.	MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA HULC (HL_MI)	72
5.3.	MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_MI)	79
5.4.	CUADRO RESUMEN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	84
5.5.	CONCLUSIONES FASE 1: COMPARACIÓN DE USABILIDAD	87
6.	FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN	90
6.1.	SIMULACIÓN 1: MUROS EXTERIORES (S1)	92
6.1.1.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S1)	93
6.1.2.	APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S1)	95
6.1.3.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S1)	97
6.2.	SIMULACIÓN 2: HUECOS (S2)	99
6.2.1.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S2)	99
6.2.2.	APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S2)	101
6.2.3.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S2)	103
6.3.	SIMULACIÓN 3: CUBIERTA (S3)	106
6.3.1.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S3)	107
6.3.2.	APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S3)	109
6.3.3.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S3)	111
6.4.	SIMULACIONES COMBINADAS (SC=S1+S2+S3)	113
6.4.1.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_SC)	114
6.4.2.	APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_SC)	117
6.4.3.	APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_SC)	120
6.5.	RESULTADOS FINALES	123
6.5.1.	RESULTADOS APLICACIÓN CERMA (CR)	125
6.5.2.	RESULTADOS APLICACIÓN HULC (HL)	126
6.5.3.	RESULTADOS APLICACIÓN CYPETHERM HE PLUS (CT)	127
6.5.4.	RESULTADOS SIMULACIÓN 1 (S1)	128
6.5.5.	RESULTADOS SIMULACIÓN 2 (S2)	129
6.5.6.	RESULTADOS SIMULACIÓN 3 (S3)	130
6.5.7.	RESULTADOS SIMULACIÓN COMBINADA (SC)	131
7.	CONCLUSIONES	135
8.	BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS ELECTRÓNICOS	138
8.1.	BIBLIOGRAFÍA	138
8.2.	DOCUMENTOS DIGITALES	141
8.3.	RECURSOS ELECTRÓNICOS	142
8.4.	ÍNDICE DE TABLAS	145
8.5.	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	146
9.	ANEXOS	148

NOMENCLATURA UTILIZADA

SIGLA	SIGNIFICADO
ACS	Agua Caliente Sanitaria
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AFS	Agua Fría Sanitaria
ASA	Asociación Sostenibilidad y Arquitectura
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelado de información de construcción)
BPIE	Buildings Performance Institute Europe (DEEE)
BOE	Boletín Oficial del Estado
CDE	Centro de Documentación Europea de Almería
CEE	Certificado de Eficiencia Energética
CERMA	Calificación Energética Residencial Método Abreviado
CMMAD	Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CTE	Código Técnico de la Edificación de España
DB	Documento Básico
DEEE	Directiva de Eficiencia Energética de Edificios
DOGV	<i>Diari Oficial de la Generalitat Valenciana</i> (Diario oficial de la Generalitat Valenciana)
EEA	<i>European Environment Agency</i> (Agencia europea del medioambiente)
ELI	Identificador Legislativo Europeo
ERESEE	Estrategia para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España
ET	Envolvente Térmica
EU	Unión Europea
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional
GBCe	Green Building Council España
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HULC	Herramienta Unificada Lider Calener
ICAEN	Instituto Catalán de Energía
ICLEI	Consejo Internacional de Iniciativas Ambientales Locales
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agencia internacional de energía)
IEE.CV	Informe de Evaluación de los Edificio. Comunitat Valenciana
IEEV	Informe de Evaluación del Edificio de Viviendas
ITE	Inspección Técnica de Edificios
IVE	Instituto Valenciano de la Edificación
K	Transmitancia térmica
MINETAD	Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
MITMA	Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
MV	Ministerio de la Vivienda
NBE-CT-79	Norma Básica de la Edificación. Condiciones Térmicas en los edificios. Año 1979
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i> (Edificios con consumo de energía cero o nulo)
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio / Objetivos del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PK	Protocolo de Kioto
PVE	Pacto Verde Europeo
RD	Real Decreto
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
RT	Resistencia térmica
SDGF	<i>Sustainable Development Goals Fund</i> (Fondo de objetivos de desarrollo sostenible)
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático)
UVA	Unidad de Vidrio Aislante

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a muchas personas que han estado involucradas en este proceso y sin ellas no se hubiera concretado.

Al Creador del Universo, quien me abre las puertas y me permite cumplir los anhelos de mi corazón.

A mi esposa, quien complementa mi vida, alegra mis mañanas, me alienta y pone mis pies en la tierra.

A mi mamá, mi papá y mis hermanos, quienes han tomado como suyo este sueño y me han apoyado en todo momento.

A mi profesor tutor, quien me ha guiado con total dedicación y esmero, cuidando cada detalle de este trabajo.

A todos ustedes, muchísimas gracias. Es un honor tenerlos en mi vida.

RESUMEN

Resumen

El presente trabajo final de máster (TFM) realiza un estudio comparativo de las herramientas digitales de mayor uso en España, y en particular en la Comunidad Valenciana, para la realización de calificaciones energéticas en edificios residenciales. Se toma como caso de estudio un edificio plurifamiliar tipo construido en la década de los 60 en la ciudad de Valencia con unas características comunes a otros edificios de la misma fecha o zona. El estudio compara las tres herramientas más utilizadas actualmente (HULC, CERMA y CYPETHERM HE Plus) por estar reconocidas por el CTE (Código Técnico de la Edificación). En el trabajo se analiza desde el propio proceso de introducción de datos, hasta los resultados finales, así como las propuestas de mejora que brinda cada software. De esta manera se analizan y comparan los distintos procedimientos para la obtención de la certificación de la eficiencia energética de los edificios requerida por la legislación vigente para todas las viviendas.

Durante el estudio, se aplican fundamentalmente variaciones "pasivas" al caso de estudio, se comparan los resultados y cálculos obtenidos por las distintas herramientas, analizando las implicaciones que generan las modificaciones aplicadas. Todo ello ofrece un visión global y comparada de los procesos de calificación y certificación energética de los edificios y en particular de las viviendas.

Palabras claves:

Eficiencia energética, HULC, CERMA, CYPETHERM HE Plus, auditorías energéticas, certificación energética, calificación energética.

Abstract

This Master's Final Project carries out a comparative study of the most widely used digital tools in Spain and in the Valencian Community for carrying out energy audits in residential buildings in the Valencian Community, taking as a case study a typical multi-family building built in the 1960s in the city of Valencia. The study compares the 3 most used software's (HULC, CERMA and CYPETHERM HE Plus) accepted by the Spain regulations, analysing the process and the results and the proposals for improvement that they provide. The basic procedure for obtaining the energy efficiency certification for buildings currently required by Royal Decree 390/2021 for all buildings is followed.

Subsequently, different variations to the case study are studied, results and calculations obtained by the different software's are compared, analysing the implications generated by the applied modifications.

Keywords:

Energy efficiency, HULC, CERMA, CYPETHERM HE Plus, energy audits, energy certification, energy rating application.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El presente trabajo final de máster (TFM) realiza **un estudio a las herramientas de certificación energética**, utilizando como caso de estudio un edificio tipo construido en la década del 60 en Valencia. Para la realización del estudio se utilizan **3** de las 7 aplicaciones reconocidas por el MITECO, con el fin de **comparar** las diferencias que presentan las herramientas digitales y **analizar** desde el proceso de introducción de datos, el uso mismo de las herramientas, hasta los resultados obtenidos.

En desglose, el **Capítulo 1** hace referencia a las **generalidades** e **introducción** del TFM, abordando la motivación de estudio, los objetivos perseguidos y las hipótesis planteadas.

El **Capítulo 2** establece el **marco teórico** sobre el cual se desarrolla el TFM; por un lado, aborda el contexto general de la sostenibilidad en Europa: la historia más reciente, los últimos acuerdos internacionales que han afectado a la Unión Europea frente a la crisis energética, la respuesta que ha tenido Europa en materia de eficiencia energética y las repercusiones que ha tenido en España. De esta manera, es posible comprender la estrategia energética europea y, en consecuencia, la normativa española sobre la sostenibilidad.

Posteriormente, el marco teórico ahonda en la calificación energética y la rehabilitación de los edificios en España, detallando los procesos de certificación energética en conjunto con las herramientas digitales que se suelen utilizar y el proceso de mejora de las viviendas españolas necesitadas de rehabilitación.

El Capítulo 3 detalla la metodología de estudio aplicada.

El **Capítulo 4** realiza una **descripción del edificio** a utilizar como **caso de estudio**, detallando las características constructivas y las superficies.

En el **Capítulo 5** se realizan **mediciones energéticas al modelo inicial** con 3 herramientas digitales. Este proceso se conocerá como Fase 1.

El **Capítulo 6** desarrolla la Fase 2, que corresponde a **4 simulaciones de rehabilitación** energética en la envolvente del caso de estudio.

Finalmente, el **Capítulo 7** arroja las **conclusiones** obtenidas.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TFM

Hoy en día es común encontrarse con índices de calificación energética en una gran variedad de ámbitos, desde un aeropuerto, hasta un sinnúmero de objetos y electrodomésticos, desde ampollas hasta lavadoras, desde vehículos hasta edificios. Incluso, hasta los productos alimenticios están exponiendo el valor energético o calórico de sus productos a través de una calificación de letras y colores similares a la certificación energética.

Tras las crecientes alzas en los precios de la electricidad, poco a poco comenzaron a adquirir más importancia las certificaciones energéticas de los inmuebles. Desde hace 1 década y en forma paulatina el parque edificado está siendo calificado en función de la eficiencia energética y las emisiones de CO₂ que cada vivienda tiene. Sin embargo, la calificación energética todavía no es un tema totalmente instalado en el inconsciente de los ciudadanos.

Conforme a la normativa vigente, es obligatorio para toda edificación nueva contar con una certificación energética, así también para todo edificio existente que sea de uso público o que se encuentre en venta o alquiler. Por lo cual, el trabajo que se está ejecutando y que se debe ejecutar en las certificaciones energéticas es enorme; actualmente **menos del 20%** del parque edificado cuenta con una **calificación energética**, según informe del IDAE de diciembre del 2020 (IDAE, 2020).

A raíz de la necesidad presente, han ido surgiendo varias **herramientas digitales** que prestan ayuda a los técnicos calificados que ofrecen el servicio de auditorías energéticas, incluso algunas impulsadas por ayuntamientos, como es el caso de la extensión IEEC.CV¹ creada por la Conselleria de la Comunidad Valenciana en complemento al software CERMA.

En el contexto de los distintos softwares disponibles para auditorías energéticas surgen una serie de preguntas que motivan este trabajo investigo: **cuál herramienta digital se adapta más** a las necesidades de los técnicos calificadores; **qué diferencia** una **herramienta** de otra; se **obtendrán** los **mismos resultados** si se realiza una misma certificación con **diferentes herramientas digitales**; entre otras preguntas.

Estos cuestionamientos han llevado al desarrollo del presente TFM.

¹ Informe de evaluación del edificio de uso residencial de vivienda de la Comunitat Valenciana.

1.3. MOTIVACIÓN PERSONAL

Considero que es de vital importancia abordar los grandes desafíos que el calentamiento global ha traído consigo. El diseño y la construcción han volcado su mirada a las edificaciones de antaño, a la arquitectura vernácula, a aquella arquitectura que no demandaba energía para calefaccionar o refrigerar.

La tendencia por la sostenibilidad está llevando a **limitar las nuevas edificaciones** y a **repensar las infraestructuras** vigentes, con una amplia mirada hacia la rehabilitación y reutilización del parque inmobiliario, tal como lo han expresado los arquitectos Lacaton & Vassal con su filosofía **renovar antes que derribar**². Por lo cual, un **diagnóstico exhaustivo** de las edificaciones vigentes es fundamental para tomar decisiones de cara al futuro.

A través del presente trabajo investigativo busco desmembrar las edificaciones residenciales y **profundizar en la eficiencia energética** que tienen las partes de la **envolvente** de un edificio (muros, carpinterías, huecos, ventanas, cubierta y forjado), acorde a la valoración que reciben a través de las aplicaciones. De esta manera, se pretende comprender las **partes esenciales** de una edificación que podrían hacer **energéticamente eficiente** a un edificio con las **mínimas intervenciones posibles** y/o al mínimo costo de inversión.

Por lo anterior, pretendo experimentar en un edificio típico de la década del 60 con distintas **herramientas digitales**, aplicando **variaciones** en los **parámetros** más relevantes de la **envolvente**, sorteando diversos resultados en una suerte de “prueba y error”, con el fin de analizar el conjunto de un edificio a partir de sus partes.

En resumen, mi motivación personal está dada por la experimentación y el conocimiento de la valorización de las partes que tienen una mayor implicación dentro del conjunto, a través de la comparación de diversas herramientas digitales para un mismo edificio.

² Anne Lacaton y Jean-Philippe Vassal. Premios Pritzker 2021.

1.4. OBJETO Y OBJETIVOS

Los objetivos propuestos en el presente trabajo final de máster se dividen en 2 categorías.

OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales son:

- Estudiar los programas de calificación energética comúnmente usados.
- Profundizar en los procesos que conlleva la certificación energética.
- Aplicar distintas herramientas digitales en un mismo caso de estudio.
- Comparar las herramientas digitales más usadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos son:

- Investigar un edificio típico construido en la década del 60.
- Estudiar las posibilidades de rehabilitación energética de un edificio a través de sistemas pasivos.
- Investigar que implicancias tienen las variaciones de la envolvente en la eficiencia energética de una edificación.
- Analizar las diferencias que poseen las distintas herramientas digitales al compararlas entre si a través de un mismo caso de estudio.
- Analizar los resultados de las calificaciones energéticas obtenidas a través de distintas herramientas energéticas frente a un mismo caso de estudio.
- Estudiar el grado de actualización de las herramientas digitales y si éstas responden a las técnicas y soluciones constructivas actuales.
- Profundizar en las repercusiones que un modelo BIM puede presentar frente a las diferentes herramientas de eficiencia energética.

1.5. HIPÓTESIS

Como se ha indicado en los objetivos, el presente TFM busca **estudiar, analizar y comparar** los procedimientos y resultados de las distintas **herramientas digitales** especializadas en certificación energética.

En forma preliminar se establece la hipótesis que:

- Todas las herramientas digitales que se encuentran validadas por el MITECO³ **arrojarán la misma calificación energética**, teniendo una diferencia mínima en un rango entre el 5-10% en los cálculos obtenidos en cada aplicación de manera que no afectará la calificación energética final

A partir del presente estudio se comprobará si los resultados obtenidos son iguales (o similares) y si cumplen con la misma calificación.

³ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, encargado de las certificaciones energéticas.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



2. MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

El presente capítulo establecerá el marco teórico en el cual se desarrollará el presente TFM. El eje principal del capítulo será el concepto de sostenibilidad.

De manera resumida, se abordará el desarrollo y evolución de la **sostenibilidad** en las últimas 4 décadas. Se establecerá el contexto global haciendo hincapié en los principales acuerdos mundiales y las repercusiones que estos ha tenido en los lineamientos políticos europeos.

Posteriormente, se detallará la evolución de la **normativa europea** y el impacto sobre la **reglamentación española** en materia de **eficiencia energética**, hasta llegar a las normas vigentes de la **certificación** energética.

Por otro lado, se detallará el **proceso de certificación energética** y las herramientas digitales que actualmente se encuentran validadas por el MITECO.

Además, se precisará en el **proceso de rehabilitación energética** comúnmente utilizado en España.

Por último, y con el fin de contextualizar el caso de estudio, se abordará la **construcción en España** en la década del **60** junto con sus principales características técnicas.

2.1. CONTEXTO GLOBAL: LA SOSTENIBILIDAD COMO EJE TRANSVERSAL

“La sostenibilidad supone la mejora del nivel de vida conforme a la capacidad de carga del medio ambiente natural y urbano. La sostenibilidad implica que el consumo de recursos no supere la capacidad de la naturaleza para reemplazarlos. Aborda el mantenimiento de la biodiversidad, la salud y la calidad de vida en el futuro. La sostenibilidad es un equilibrio dinámico, y un camino en el cual las metas se dan articulando a medio y largo plazo, en base a los condicionantes intrínsecos de cada localidad.” (ICLEI, 1994)

INTRODUCCIÓN

El presente apartado describe la sostenibilidad en un contexto global, señalando la evolución que ha tenido la sostenibilidad, desde las primeras definiciones, los principales acuerdos mundiales hasta las repercusiones que ha tenido en la actualidad.

Se pretende destacar los principales eventos mundiales, de manera cronológica, con el fin de exponer el desarrollo evolutivo y el impacto mundial.

INFORME DE BRUNDTLAND (1987)

El concepto de **sostenibilidad** es relativamente nuevo; recién tiene su aparición en 1987 con la doctora Gro Harlem Brundtland, ex Primera Ministra de Noruega, en el famoso “Informe de Brundtland” elaborado en la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD) de la Asamblea de las Naciones Unidas.

En el reconocido informe que lleva el nombre de la doctora que presidió la Comisión Brundtland, se definió el concepto de **desarrollo duradero** que más tarde evolucionó en lo que actualmente conocemos como **desarrollo sostenible**.

En el Informe de la Comisión Brundtland titulado “Nuestro Futuro Común”, en el capítulo 1, artículo 3, se detalla lo siguiente:

“El **desarrollo duradero**: está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. El concepto de desarrollo duradero implica límites, no límites absolutos, sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social, la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas” (CMMAD, 1987).

El Informe de Brundtland **asienta las primeras bases** de lo que más tarde se conocerá como **sostenibilidad**, estableciendo principios fundamentales del desarrollo sostenible en lo económico, ambiental y social.

Finalmente, la Comisión Brundtland recomienda la convocatoria de conferencias de carácter mundial para discutir sobre los problemas ambientales y de sostenibilidad expuestos en el informe. De estas recomendaciones surgirán las futuras conferencias y cumbres mundiales.

CUMBRE DE RÍO (1992)

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en junio de 1992, conocida como la Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra, desarrollada en la ciudad de Río de Janeiro (Brasil), se reúnen 179 representantes o líderes mundiales con el objetivo de discutir sobre **cómo alcanzar un desarrollo sostenible** que reconozca el derecho de las personas a una vida saludable en armonía con el medio ambiente.

En la Cumbre de Río se establecieron **27 principios** conocidos como “la Declaración de Río”, que da explícita responsabilidad a los Estados de velar por la **conservación medioambiental** y de evitar la realización de actividades que causen daño al medio ambiente bajo la jurisdicción o control de cada estado comprometido.

Es en la Declaración de Río donde se acata el término inglés *sustainable development* (en español, **desarrollo sostenible** o desarrollo sustentable) en concordancia con las ideas planteadas en la Comisión de Brundtland, y se establece el desarrollo sostenible como **eje principal de acción** en los lineamientos que trabajará y fomentará la ONU en los años siguientes.

El concepto de desarrollo sostenible es ampliamente mencionado en la Declaración de Río, siendo incluido en 12 de los 27 principios declarados, es decir, cerca del 50% de los principios establecidos lo mencionan explícitamente.

Algunos de los principios acordados en la Cumbre de la Tierra son:

(Principio N°1) Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

(Principio N°12) Los Estados deberían cooperar en la promoción de un sistema económico internacional favorable y abierto que llevara al crecimiento económico y el desarrollo sostenible de todos los países, a fin de abordar en mejor forma los problemas de la degradación ambiental

(Principio N°22) Las poblaciones indígenas y sus comunidades, así como otras comunidades locales, desempeñan un papel fundamental en la ordenación del medio ambiente y en el desarrollo debido a sus conocimientos y prácticas tradicionales. Los Estados deberían reconocer y apoyar debidamente su identidad, cultura e intereses y hacer posible su participación efectiva en el logro del desarrollo sostenible.

(Principio N°27) Los Estados y las personas deberán cooperar de buena fe y con espíritu de solidaridad en la aplicación de los principios consagrados en esta Declaración y en el ulterior desarrollo del derecho internacional en la esfera del desarrollo sostenible. (CNUMAD 1992)

En esta importante cumbre surge el Proyecto XXI de la ONU, que es un acuerdo de las Naciones Unidas para promover el desarrollo sostenible. Más tarde se conoció con el nombre de Agenda 21.

PROYECTO XXI O AGENDA 21 (1992)

El Proyecto XXI o Programa 21 se comenzó a desarrollar en diciembre del 1989 en la Asamblea extraordinaria de las Naciones Unidas en Nueva York, una conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo que recomendó la Comisión de Brundtland y que ya había iniciado un programa borrador de acciones a desarrollar en 1987.

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo durante algunos años desarrolló el Programa 21, el cual es revisado y aprobado por los líderes mundiales en la Cumbre de Río en 1992, estableciendo un compromiso de adopción.

El Programa 21 de la ONU **es un plan** muy amplio **de acciones** que se deben llevar a cabo a nivel mundial, nacional y local, por todas las entidades y en todas las áreas en las que ocurren **impactos humanos sobre el medio ambiente** con el fin de preparar al mundo para los desafíos del siglo XXI.

Del Proyecto 21 surgen todas las iniciativas que actualmente se conocen como Agenda 21, no obstante, el nombre original fue Programa 21, haciendo alusión al siglo XXI que en ese tiempo se avecinaba.



Imagen 1 - Cartel del Programa 21, Cumbre de Río, Naciones Unidas. Año 1992. Fuente: ONU

La Agenda 21 posee 40 capítulos dividido en las siguientes 4 secciones: 1) Dimensiones sociales y económicas; 2) Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo; 3) Fortalecimiento del papel de los grupos principales; y 4) Medios de ejecución (ONU 1992).

La Agenda 21 ha tenido una serie de revisiones y actualizaciones, transformándose en la hoja de ruta que mayor alcance ha tenido en el mundo en materia de sostenibilidad.

Es la Agenda 21 la que popularizó la conocida frase “*think globally and act locally*” (**piensa global y actúa local**), otorgando un rol preponderante a las ciudades medianas y pequeñas (escala local) como componente clave para lograr una mejora mundial (escala global). De esta forma, la Agenda 21 **definió los criterios de sostenibilidad**, la filosofía, la estrategia y los programas operativos que se desarrollaron en los próximos años en cualquier municipio para mejorar la calidad de los ciudadanos (Higueras 2009).

CARTA DE AALBORG (1994)

En la ciudad danesa de Aalborg se realiza la 1º Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles en el año 1994. Esta conferencia es fruto del trabajo que Europa venía desarrollando desde 1987 con el Manifiesto Europeo sobre el Medio Ambiente Urbano y la publicación de “El Libro Verde del medio ambiente urbano” en 1990.

En la Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles se aprueba la “Carta de Aalborg”, también llamada “Carta de las Ciudad Europeas hacia la Sostenibilidad”, un documento importante para la comunidad europea que parte de la base que **las ciudades europeas son fundamentales en el proceso de cambio** de los modos de vida, de la producción y del consumo (Cañizares Ruiz, 2005).

En este renombrado documento, firmado por 80 autoridades locales europeas, se establece un **compromiso común** que consta de **3 partes**: la primera parte llamada “Declaración de consenso. Las ciudades europeas hacia la sostenibilidad” es un manifiesto que engloba **el rol de la ciudades europeas**, los principios de la sostenibilidad, la responsabilidad de adaptar **estrategias locales**, resolver problemas locales, la economía urbana sostenibles, la justicia social, la ocupación del suelo sostenible, la movilidad urbana, la responsabilidad frente al cambio climático, el protagonismo de los ciudadanos, entre otros aspectos de gran importancia; la segunda parte es la “Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles” en la que se señalan los principales objetivos que tendrá la campaña que realizarán para alentar y apoyar a las ciudad europeas en el **trabajo** a favor de un **desarrollo sostenible**; y la tercera parte es el compromiso de “Participación en las iniciativas del Programa 21: **Planes de acción** local en favor de la sostenibilidad” que detalla los lineamientos de la preparación de un plan de acción local para el año 1996, conforme a las responsabilidades adquiridas en la Cumbre de Río y la propuesta de la Agenda 21 (Carta de Aalborg 1994).

La importancia de la Carta de Aalborg está en el compromiso que adquirieron las ciudades europeas por buscar un cambio hacia el desarrollo sostenible europeo y sumarse al acuerdo de la Agenda 21.

Posteriormente, se siguieron realizando distintos encuentros titulados “Conferencias Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles” que continuaron profundizando en los planes de acción de sostenibilidad en las ciudades europeas. La 2º conferencia se realizó en Lisboa en 1996; la 3º se realizó en Hannover en 2000 y la 4º nuevamente en la ciudad de Aalborg en el año 2004. De esta última conferencia surge el documento “Los Compromisos de Aalborg”, también conocido como “Aalborg +10” en alusión a los 10 años desde la Carta de Aalborg.

PROTOCOLO DE KIOTO (1997)

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional firmado en la ciudad de Kioto, Japón, en el año 1997. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), conforme a las directrices que se habían gestado en la Cumbre de Río, **estableció el protocolo medioambiental** que las naciones adoptarían con el objetivo de limitar o **disminuir el calentamiento global** del planeta, **reduciendo** las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en forma obligatoria, de manera cuantificada y específica.

En el Protocolo de Kioto, 37 países industrializados junto con la UE se comprometieron a cumplir metas vinculadas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, acordando **reducir en un 5,0%** las emisiones de gases respecto al año 1990, durante el periodo del 2008-2012. En teoría, Japón reduciría un 6%, Estados Unidos un 7% y la UE un 8% (Naciones Unidas, 1998). Posteriormente, se estableció un segundo periodo del 2013-2020 que no ha entrado en vigor por faltas de países firmantes. La UE se comprometió con la reducción del 8% de la emisión de GEI en su región, distribuyendo una cuota de reparto en sus estados miembros.

Además de los compromisos adquiridos, el Protocolo de Kioto cobra especial valor dado que en él los países industrializados reconocen implícitamente que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI en la atmósfera y **se comprometen** jurídicamente a **mitigar las emisiones de GEI**. Los países en vía de desarrollo quedaron exentos de los objetivos de reducción de las emisiones.

Si bien el Protocolo de Kioto conllevó buenos resultados logrando reducir en un 5,2% las emisiones de GEI a nivel mundial respecto a 1990, este esfuerzo fue el mínimo requerido y no ha sido suficiente para enfrentar la situación mundial. Según el mismo Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), el área científica de la CMNUCC, para reducir o frenar el cambio climático es necesario la reducción de un 60% de las emisiones de GEI respecto a 1990 (Ortiz Palafox, 2019)

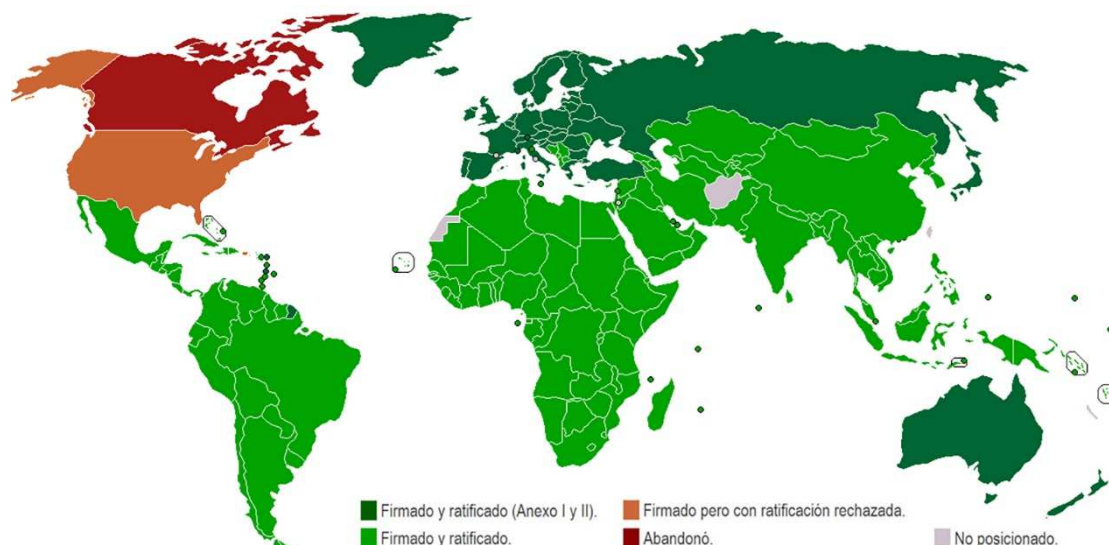


Imagen 3 - Mapa mundial de los países firmantes del Protocolo de Kioto en 2012. Fuente: Wikipedia

OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO (2000)

De la Agenda 21 nacen los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), también conocidos como Objetivos del Milenio. Los ODM son **8 objetivos** que establecieron en el año 2000 los 189 miembros de la ONU, con el fin de generar **planes de acción** que permitieran **mejorar** la vida de las personas más pobres en el mundo para el año 2015.

Los ODM se encuentran divididos en 28 metas específicas, fáciles de medir y cuantificar, referentes a erradicar la pobreza, educación primaria universal, promoción de la igualdad de género, mortalidad infantil, maternidad, lucha contra enfermedades mortíferas y sostenibilidad medioambiental.



Imagen 4 - Infografía de los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Fuente ONU

Respecto a la sostenibilidad, el objetivo 7 la aborda parcialmente como un objetivo global a alcanzar. Al revisar las 4 metas propuesta dentro de ese objetivo, se observa que 2 abordan el desarrollo sostenible como propósito para el 2015 en “la incorporación de principios de **desarrollo sostenible** en las **políticas** y **programas nacionales**” y en el “cuidado de la biodiversidad”. Las otras 2 metas del 7º objetivo apuntan a la ayuda de personas vulnerables en contextos de pobreza.

Los ODM vienen a ser los objetivos antecesores de los actuales ODS.

OBJETIVOS 20/20/20 DE LA UE (2008)

En el 2008 la Unión Europea aprobó el plan Objetivos 20/20/20 que establece 3 objetivos concretos para el año 2020, que son: 1) **reducir las emisiones** totales de **gases** de efecto invernadero en 2020 en un **20%** respecto de los niveles de 1990; 2) **aumentar la obtención** de **energías renovables** hasta llegar a un 20% en el 2020; y 3) **mejorar la eficiencia energética** en un 20%.

La *European Environment Agency* (EEA) publicó que la EU superó los objetivos climáticos propuestos para el 2020. Incluso, la publicación señala que la reducción de los GEI fue del 31% respecto a 1990, pese a que no todos los estados miembros cumplieron su objetivo (European Environment Agency 2021). En cuanto a la obtención de energías renovables, este tópico aumentó llegando al 21,3% (EEA Report 2021)

En el gráfico de la imagen 4 se aprecia la tendencia que tenían los indicadores y los objetivos fijados. Es pertinente destacar que la última pandemia mundial (por COVID19) benefició en la reducción de GEI debido al freno que tuvieron las industrias y la economía (European Environment Agency 2020).

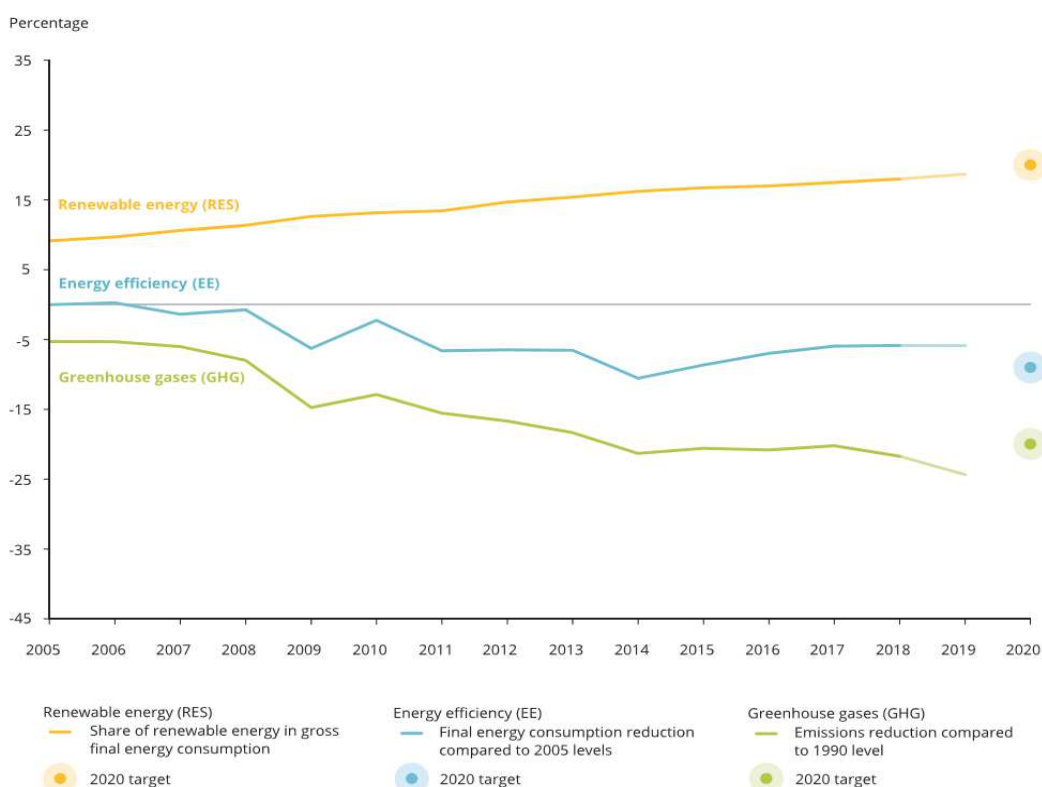


Imagen 5 - Gráfico del progreso de los Objetivos 20/20/20. Fuente: EEA Report N°13/2020.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (2015)

De la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se desprenden los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que surgen como reemplazo de los ODM en el año 2015, luego de un proceso de 3 años de consulta mundial de gran envergadura y tras la aprobación de los 193 Estados Miembros de la ONU.

La Agenda 2030 es el fruto de una **amplia participación ciudadana** de colaboración con organizaciones de la sociedad civil, científicos, académicos, representantes del sector privado y ciudadanos en general de todo el mundo. Además, se desarrollaron paneles de debate a nivel intergubernamental con especialistas (ONU 2012).

La Agenda 2030 se sitúa como **la nueva agenda mundial** que trazará **17 objetivos** a cumplir durante el período comprendido entre los años 2015 y 2030. El enfoque está en la **construcción de un mundo sostenible** en el que se valore de igual manera la sostenibilidad del **medio ambiente**, la **inclusión social** y el **desarrollo económico** (ONU 2012).

Los ODS, a diferencia de los ODM, incorporan dentro de sus propósitos nuevas esferas como el **cambio climático**, la **desigualdad económica**, la **innovación**, el **consumo sostenible**, la paz y la justicia, entre otras prioridades.

En la revisión de los 17 ODS se aprecia que la sostenibilidad está directamente relacionada en 7 de los 17 objetivos, y que el **desarrollo sostenible es el eje estructurante** que impregna toda la Agenda 2030.



Imagen 6 - Infografía 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Fuente ONU

ACUERDO DE PARÍS (2015)

En forma posterior al Protocolo de Kioto se comienza a gestar el Acuerdo de París (ADP), como una medida que pretende continuar con las **limitaciones y reducciones de las emisiones** de GEI. El ADP es un **tratado internacional** jurídicamente vinculante sobre el cambio climático. Fue adoptado por 196 estados miembros en la COP21 en París y entró en vigor en el 2016.

En el Artículo 2 del ADP se señala el objetivo de **limitar el calentamiento mundial** por debajo de 2°C en comparación con los niveles preindustriales. Incluso aspira a limitar a 1,5 °C el calentamiento global (ONU 2015).

Al igual que en el Protocolo de Kioto, los países firmantes se comprometen a limitar y reducir las emisiones de GEI en forma progresiva. El Artículo 4 del Acuerdo de París se muestra que la diferencia está en la mirada en el **largo plazo** pretendiendo lograr un planeta con **clima neutro** para el 2050 (ONU 2015).

En el Acuerdo de París todas las partes involucradas presentan un plan nacional de estrategias de desarrollo a largo plazo con bajas emisiones de GEI. A la fecha se han presentado 190 planes de acción cubriendo un **99%** de las **emisiones** de todas las partes de la Convención (MITECO 2017).

Los planes presentados tendrán un **ciclo de revisión y evaluación** cada 5 años. En el año 2023 se realizará el primer balance de cada estado y un balance global, con el fin de evaluar y determinar la evolución que tendrá el programa de acciones que deberá reflejar medidas climáticas más ambiciosas (ONU 2015).

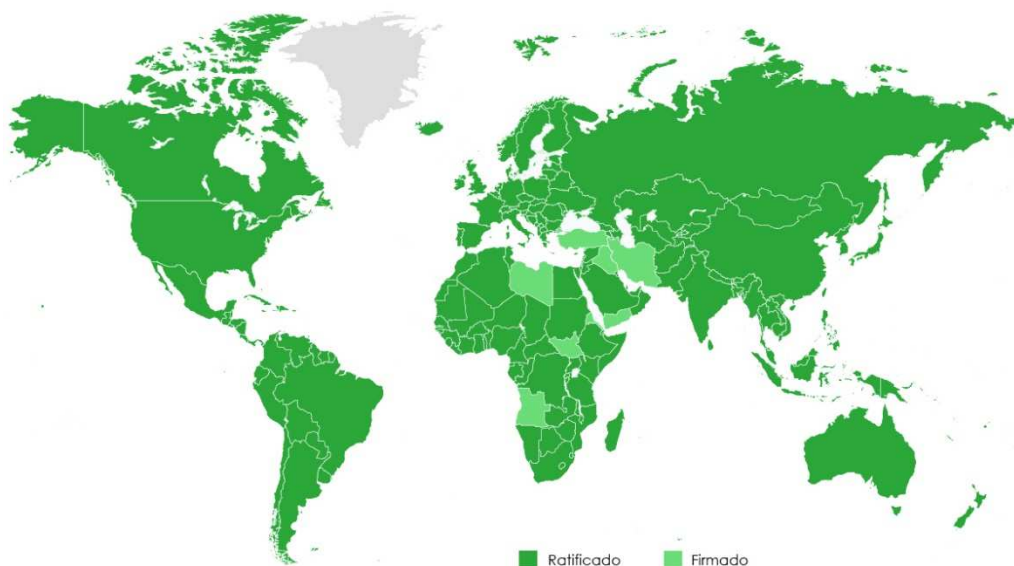


Imagen 7 - Mapa mundial de los países firmantes del Acuerdo de París en el 2021. Fuente: CMNUCC

PACTO VERDE EUROPEO (2019)

El Pacto Verde Europeo, también conocido en inglés como *European Green Deal*, es la **hoja de ruta** que adoptó la UE para que Europa se convierta en un **continente neutro** en emisiones de carbono para el 2050.

La UE propuso un plan de acción para combatir el calentamiento global, fijándose ambiciosas metas que pretenden situar a Europa como el **primer continente con neutralidad climática** y con una economía sostenible (GBCe 2021).



Imagen 8 - Infografía que presenta la nueva hoja de ruta de la Comisión Europea para dotar a la UE de una economía sostenible. Fuente: Comisión Europea 2020

Dentro de las **47 acciones** propuestas en la hoja de ruta, destaca la orientada al sector de la edificación llamada *Renovation Wave* (traducida como **Oleada de Renovación**) como una iniciativa emblemática que tiene por objetivo **mejorar la eficiencia energética** de los edificios a través de la renovación, promover y desarrollar **inversiones innovadoras en eficiencia energética**, aumentar la **digitalización de los edificios** y prestar especial atención a la rehabilitación de las viviendas sociales. A raíz de esta iniciativa surgen los fondos *Next Generation EU* como instrumento de apoyo en la transición ecológica y digital para toda Europa (Comisión Europea 2020).

Dentro de los hitos relevantes propuestos por el Pacto Verde Europeo se encuentra el **Objetivo 55**, titulado así porque establece la reducción de emisiones de GEI en un 55% para el 2030 respecto a 1990 (Comisión Europea 2020).

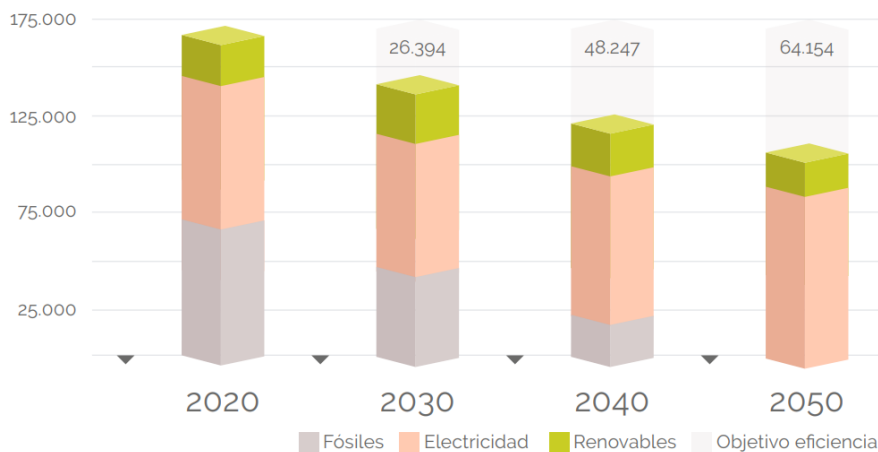


Imagen 9 - Proyección de los objetivos del Pacto Verde Europeo para el periodo 2020-2050 en el consumo de energía (GWh) en la edificación residencial. Fuente: Informe País GBCe 2021.

ACTUALIDAD MUNDIAL

En la actualidad, las altas emisiones de GEI siguen siendo un **gran problema de implicancia mundial**. En la imagen 9 se observa el **aumento de las emisiones de CO2** respecto a 1990, en especial sobresale el exponencial aumento que están teniendo los países en vías de desarrollo y las reducciones que han mantenido las políticas ambientales de Rusia y de gran parte de la UE.

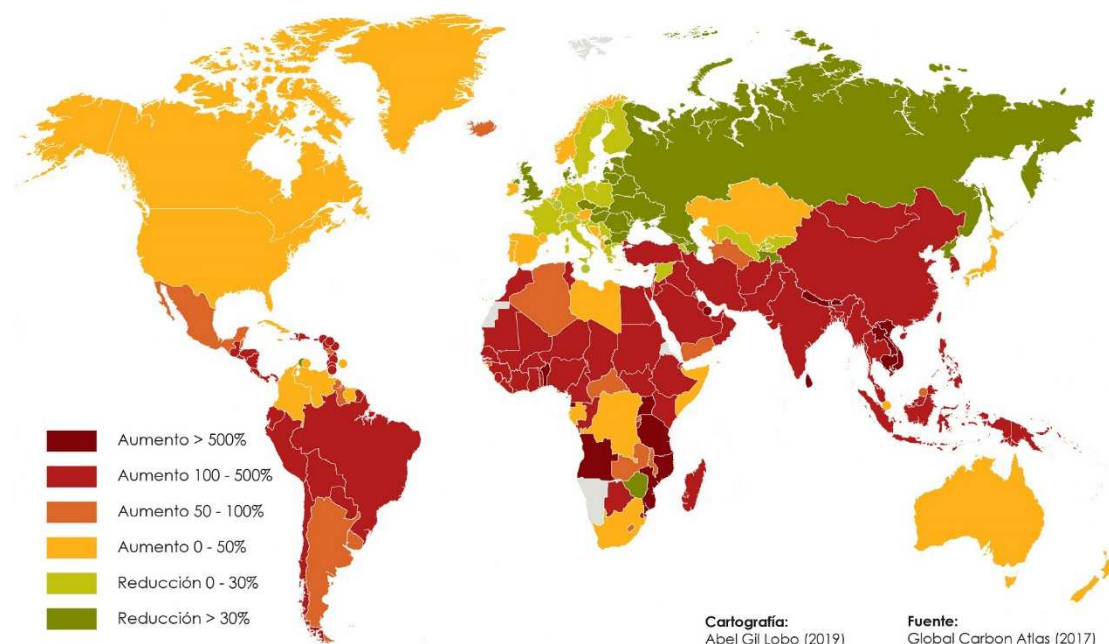


Imagen 10 - Mapa mundial de Emisiones de CO2 respecto a 1990. Fuente Global Carbon Atlas (2017)

2.2. CONTEXTO ESPECÍFICO: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA UE Y ESPAÑA

INTRODUCCIÓN

“La ciudad del siglo XX se mueve y funciona gracias a energías no renovables, finitas, costosas y sobre todo contaminantes. El continuo incremento de contaminantes al aire, al suelo y al agua procedentes de proceso urbanizador, restan calidad de vida a todos. El creciente consumo de recursos es extraordinario desde la Revolución Industrial, más allá de la capacidad de regeneración planetaria”. (Higueras 2009)

La Unión Europea ha tenido una constante preocupación por la crisis energética global que el mundo atraviesa. Frente a esta situación y sumado los compromisos internacionales adquiridos, los cuales se detallan en el capítulo anterior, la EU ha analizado los **mayores consumos energéticos** en la región y ha desarrollado **planes y estrategias sostenibles** que permitirán **disminuir las emisiones de CO2** paulatinamente.

En este escenario, **las ciudades tienen un rol importante** debido al alto consumo energético que tiene el parque edificado europeo.

España, en su calidad de miembro de la EU, tiene una participación que se destaca por un comportamiento energético distinto al promedio de la región debido al predominante clima templado que la caracteriza.

Este capítulo describe el **contexto de Europa**, la preocupación de la región en materia de eficiencia energética y la **participación de España** dentro del contexto señalado.

EUROPA FRENTE A LA CRISIS ENERGÉTICA

El **consumo energético residencial** se ha ido **incrementando en el tiempo** en función de las nuevas necesidades, del aumento del uso de artefactos eléctricos y del incremento de los requerimientos de confort en las viviendas.

Los países desarrollados y con mayor PIB han tenido un **pronunciado aumento del consumo energético** durante las últimas décadas, y con ello un notable incremento de los costos económicos de la electricidad.

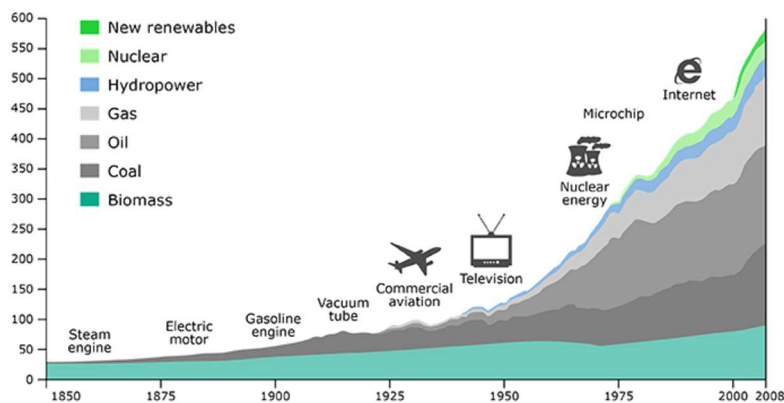


Imagen 11 - Gráfico del consumo energético mundial, periodo 1850-2008. Fuente: Our World in Data.

La implementación de la Agenda 21 y el fomento de los ODS impulsados por las Naciones Unidas ha desencadenado en los últimos años una revisión profunda a todas las esferas del desarrollo humano. Esto ha supuesto una gran inversión de los gobiernos en materia de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, más eficientes y menos contaminantes.

En el 2015, Europa se situó como **la tercera región mundial** con más **emisiones de carbono**, lo que llevó a una revisión exhaustiva del consumo energético y a un **replanteamiento de la normativa europea**. Como respuesta a la alarmante situación mundial nace el Pacto Verde Europeo (PVE) que pretende transformar a la UE en un **referente mundial en eficiencia energética**, tal como se detalló en el capítulo anterior.

EL PARQUE EDIFICADO EUROPEO

Al analizar el parque edificado europeo, la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (más conocida por la sigla en inglés BPIE, *Buildings Performance Institute Europe*) emitió el informe "97% of buildings in the EU need to be upgraded" (BPIE 2017) en el que concluye tajantemente que el **97% del parque edificado en Europa es ineficiente** y necesita ser actualizado, tal como lo señala su título.

Estas drásticas conclusiones vienen de la mano con los **nuevos patrones de eficiencia energética** que estableció la UE. Tal como se aprecia en la imagen 11, este estudio pone de manifiesto que: 1) el **75% del parque edificado en Europa fue construido anterior a 1989**, conforme a precarios lineamientos energéticos que no consideraban criterios de eficiencia energética; 2) el **22% edificado** fue construido en el **periodo de 1990-2010**, siguiendo una normativa básica y relativamente eficiente; 3) solo el **3% del parque edificado en Europa** ha sido construido **posterior al 2010**, acorde a los criterios de eficiencia energética que la UE estableció y que se pueden considerar como **edificios energéticamente eficiente**.

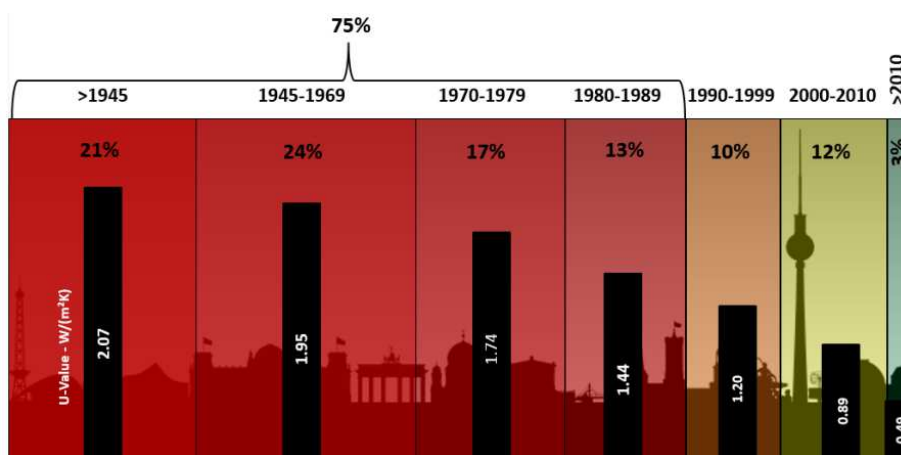


Imagen 12 - Gráfico ilustrativo de los periodos en que se edificó el parque inmobiliario de la UE. Fuente: BPIE 2017.

A esto se suma que entre el 85% y el 95% de los edificios europeos existentes seguirán en pie en el año 2050 (Comisión Europea 2020) por lo cual **es crucial la renovación del parque edificado europeo**, tal como propone el plan *Renovation Wave* del Pacto Verde Europeo (ver capítulo 2.1 Contexto Global).

EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS EUROPEOS

Según el informe “*Buildings performance factsheet*” (Comisión Europea 2019) los **edificios son responsables del 40% del consumo energético** de la UE y del **36% de las emisiones de gases** de efecto invernadero de Europa, generadas principalmente **durante la construcción** y utilización de la infraestructura residencial.

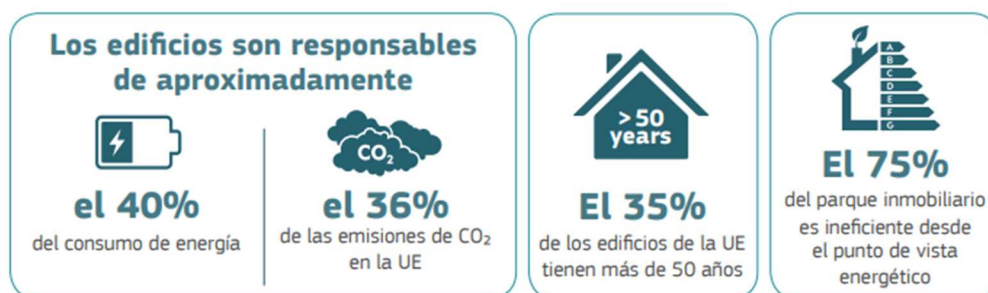


Imagen 13 - Ilustración gráfica del consumo energético en la Unión Europea. Fuente BPIE

El principal consumo energético de los edificios europeos es para suplir las **necesidades de calefacción**, que alcanzan los 2/3 del consumo residencial (GBCe, DGNB 2021). Existen algunas excepciones a la regla, que son los estados miembros del sur europeo, que no precisan de gran demanda de calefacción debido a climas predominante más cálidos, como es el caso de España.

PARQUE EDIFICADO DE ESPAÑA

En España, el parque edificado residencial fue mayormente **construido antes del 2001**. La necesidad de la reconstrucción y las elevadas tasas de natalidad posterior a la segunda guerra mundial (periodo de los *baby boomers*), sumado a la gran migración de población del campo a la ciudad, el acelerado progreso de la industrialización en la construcción y la expansión económica española, provocaron que durante las décadas del 60 y 70 España viviera un **gran boom inmobiliario** en todo su territorio, contabilizando más de **8.6 millones de viviendas nuevas** que triplicaron el parque edificado de la época. Las viviendas construidas en el periodo 1960-1980 actualmente representa el **31%** del parque edificado español (imagen 13).

Este boom inmobiliario de viviendas conllevó la construcción de muchas edificaciones económicas, de baja calidad constructiva y con una arquitectura estándar de vivienda (Higueras 2009); por otro lado, se produjo un cambio en la tipología de las viviendas, teniendo una gran preponderancia las **viviendas en bloque**. El **80%** de las viviendas construidas en ese periodo corresponde a edificios de **viviendas plurifamiliares** de construcción en altura (Arcas-Abella et al. 2019). Las **exigencias constructivas** de la época eran **precarias** y la calidad térmica se alejó completamente de las antiguas viviendas que contaban con muros anchos de mampostería de gran inercia térmica.

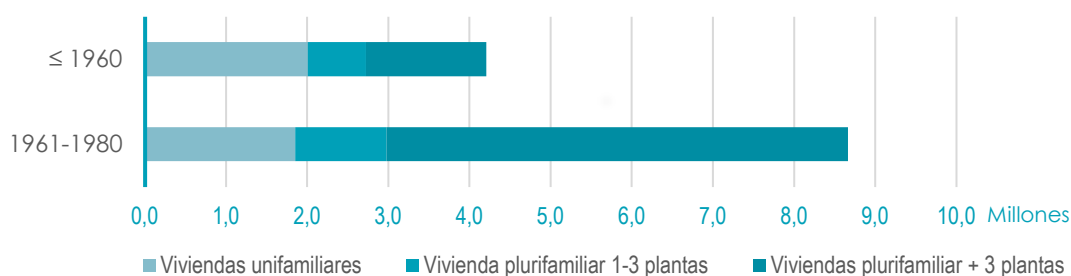


Imagen 14 - Parque edificado en España hasta 1980, categorizado por tipo de vivienda. Elaboración propia. Fuente: Eresee 2020 y MITMA catastro 2017.

El año 1980 fue decisivo en la construcción española dado que a partir de ese año toda edificación nueva debió regirse por la primera normativa española, la cual obliga a utilizar aislamiento térmico en las edificaciones. Esta normativa fue la “Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios” conocida como NBE-CT-79; si bien la NBE-CT-79 comienza a regir a fines de 1979, el **año 1980** se ve marcado como el **inicio de un nuevo periodo de construcción en España**.

En concordancia con lo anterior, el objetivo principal de las actuales **políticas de rehabilitación** de viviendas en España son las **viviendas construidas antes de 1980**. Esto se debe a que, del total de edificios construidos con

anterioridad a 1980, el **16,21%** se encuentran en **mal estado de conservación** (catalogándose en estado ruinoso, malo o deficiente) y el **78,90%** **no son edificios accesibles**⁴ (Cuchí, De La Puerta 2016).

En términos generales, por el motivo expuesto referido a la normativa y a modo de análisis cuantitativo, el parque edificado español se subdivide en **5 periodos**, según la fecha de edificación: **1)** antes de 1960; **2)** periodo entre 1961-1980; **3)** periodo entre 1981-2001; **4)** periodo entre 2002-2011; **5)** del 2012 en adelante.

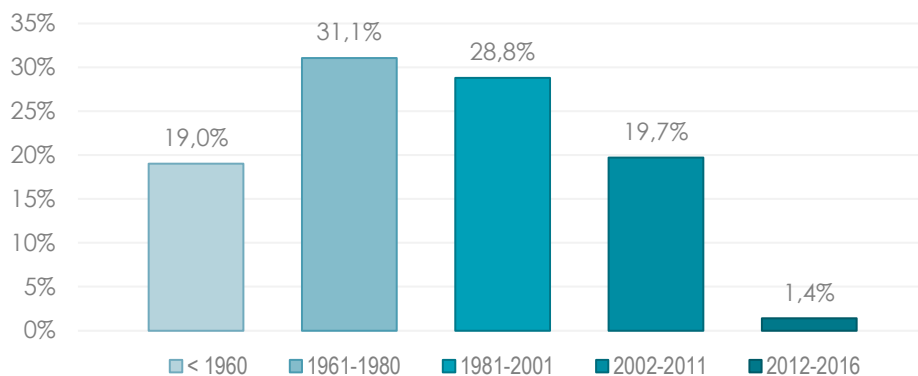


Imagen 15 - Parque edificado en España en porcentajes. Elaboración propia. Fuente: Eresee 2020 y MITMA catastro 2017.

En el presente gráfico se detallan las subdivisiones antes mencionadas. De las cifras se desprende que: el **50%** de las viviendas españolas se **construyeron antes de 1980** (sin normativa sobre aislamiento térmico); alrededor del **80%** del parque edificado se construyó **antes del siglo XXI**, con una precaria normativa energética; en la primera década del siglo XXI se construyó alrededor del **20%** con una normativa más robusta; por último, solo el **1,4%** del parque actual se ha construido con una normativa que pone especial cuidado al consumo y la eficiencia energética.

LA NECESIDAD DE LA REHABILITACIÓN DE LOS EDIFICIOS

Tanto por la **baja calidad técnica constructiva** como por la **falta de renovación**, el parque edificado español dentro de Europa es uno de los que presenta **mayores deficiencias** en cuanto a el aislamiento térmico y la **eficiencia energética** de sus edificios (GBCe 2021).

En las últimas mediciones europeas, España se encuentran en la **última posición** respecto a la **tasa de renovación** de sus edificios. Según el informe "Diagnóstico de rehabilitación de las Comunidades Autónomas" (Cuchí, De La Puerta 2016), solamente el **0,62%** de los edificios construidos antes de 1980 se encuentran rehabilitados, lo que representa el **2,98%** de las viviendas construidas con anterioridad a 1980, equivalente a menos de 400 mil viviendas.

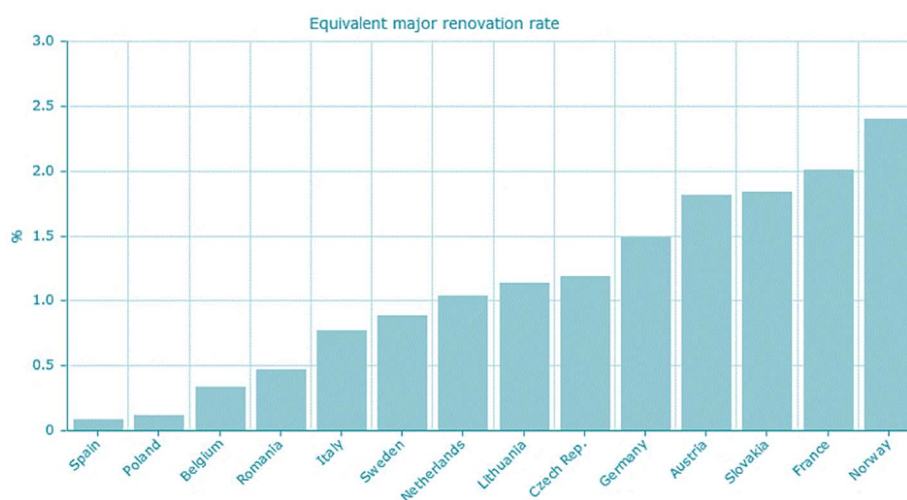


Imagen 16 - Gráfico de la tasa de renovación de parque edificado europeo. Fuente Zebra2020 (2016)

⁴ Nota: Según el Glosario General del INE: "Un edificio es accesible cuando una persona en silla de ruedas puede acceder desde la calle hasta dentro de cada una de sus viviendas sin ayuda de otra persona".

En este aspecto, **España debe realizar importantes esfuerzos para renovar su parque edificado** con el fin de lograr **edificios energéticamente eficientes**, conforme a los compromisos europeos (Pacto Verde Europeo) y, en consecuencia, disminuir las emisiones de GEI hasta lograr la descarbonización de los edificios.

CONSUMO ENERGÉTICO DEL PARQUE EDIFICADO ESPAÑOL

El consumo energético residencial de España es inferior al promedio de la UE. Según datos estadísticos del año 2021 (Datosmacro 2022), el **consumo per cápita español** fue de **5.407 kWh** y el consumo per cápita promedio de la **Unión Europea** fue de **6.158 kWh**. En los extremos se encuentra Finlandia con un consumo per cápita de 15.083 kWh y Rumania con un consumo per cápita de 2.580 kWh.

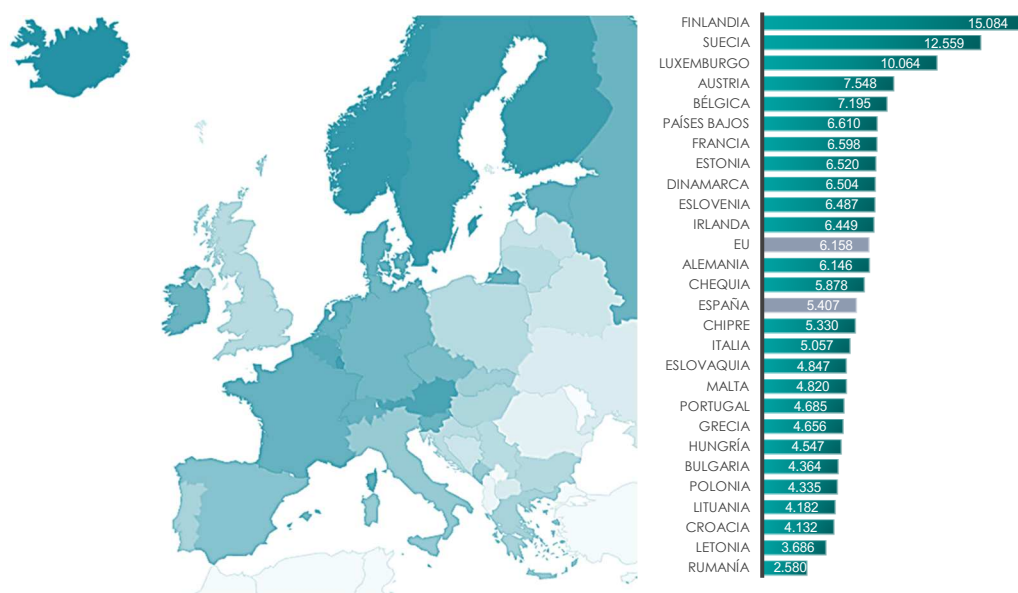


Imagen 17 - Gráfico del consumo de electricidad per cápita en UE (kWh), año 2021. Fuente Datosmacro (2022)

España se encuentra un **12%** por debajo de la media del consumo final per cápita europeo⁵, con uno de los **consumos energéticos más bajos** en calefacción residencial dentro de la Unión Europea, situándose en el quinto lugar con un consumo del 58% (de 2.200 kWh) respecto a la media europea en calefacción que es de 3.768 kWh (Eurostat 2023). Los países con menor consumo en calefacción (Rumania, Portugal, Malta, Chipre y España), en general, gozan de un **clima predominantemente cálido**, tal como se aprecia en el segmento inferior (ítem calefacción) del gráfico de barras de la imagen 17.

⁵ NOTA: Es importante señalar que el análisis corresponde al consumo per cápita (por persona) y no por vivienda, dado que la alta cantidad de viviendas vacías en España distorsionaría los datos estadísticos recabados.

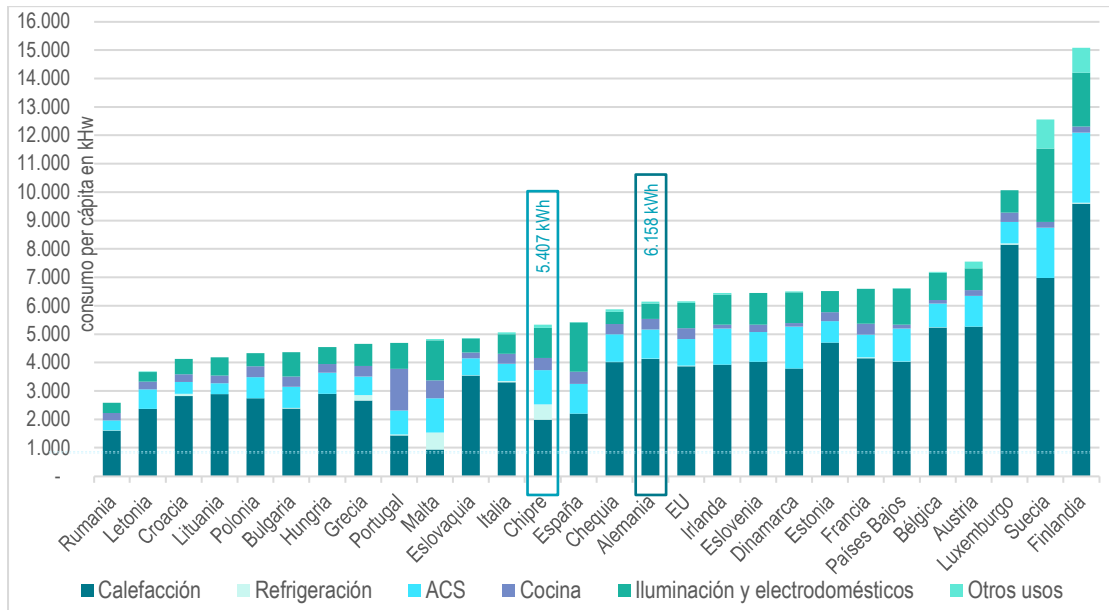


Imagen 18 - Gráfico del consumo energético residencial final y desglosado de la UE-27. Elaboración propia. Fuente Eurostat y DatosMacro. (2021)

En España, el **consumo energético del sector residencial es del 30%** del consumo de energía final, según las estadísticas correspondientes al periodo 2000-2015 (IDAE 2017), lo que se calcula de la sumatoria entre el consumo de energía residencial y el consumo de servicios.

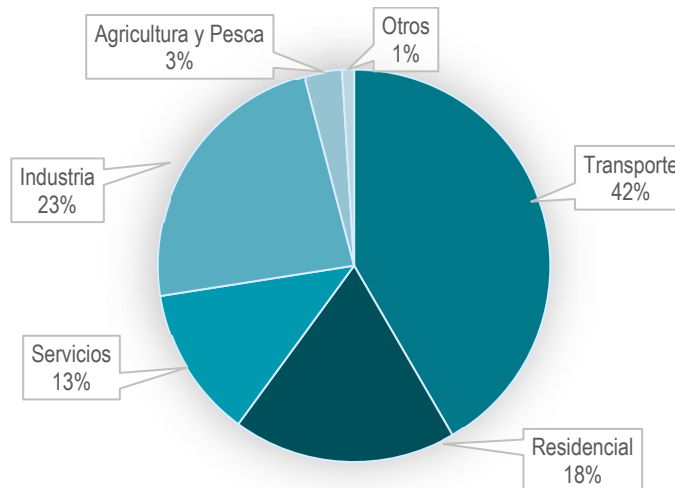


Imagen 19 - Gráfico del consumo español de energía final por sectores, en el año 2015. Fuente Eurostat, Minetad e IDAE.

A pesar del predominante clima templado que goza el territorio español y que las demandas energéticas residenciales no son elevadas en comparación al resto de Europa, en el 2011 el 47% del consumo total residencial era destinado a calefacción (IDAE 2011). Actualmente, el **consumo residencial de calefacción ha disminuido** y es del **40% del consumo total residencial** (IDAE 2021a).

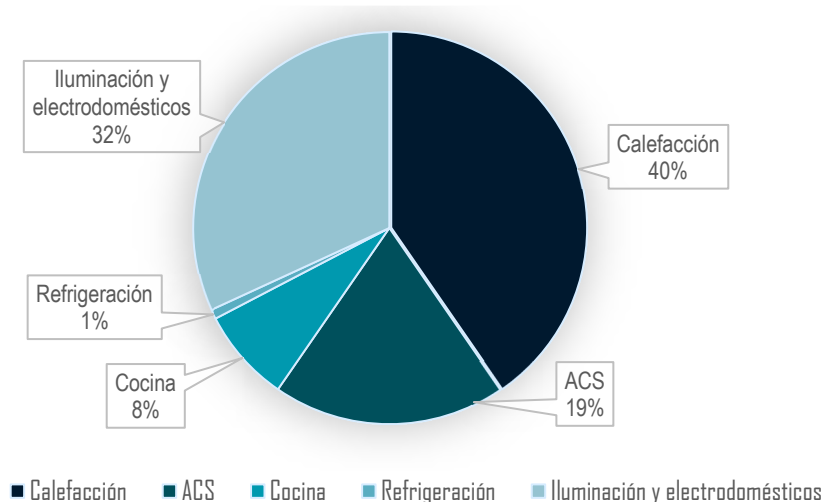


Imagen 20 - Gráfico del consumo residencial de energía en España. Elaboración propia. Fuente Eurostat, datos del año 2020.

Es importante señalar que los **artefactos eléctricos para refrigerar** las viviendas también pueden estar considerados dentro de la categoría “iluminación y electrodomésticos”, como son el caso de ventiladores o **equipos de aire acondicionado portátil**. La categoría “iluminación y electrodomésticos” considera una amplia variedad de artículos de uso doméstico que se conectan al sistema eléctrico sin poseer un circuito independiente a diferencia de los artefactos de cocina o artefacto como el termo eléctrico para ACS (Energy Agency 2016). De esta manera se podría responder a por qué el consumo eléctrico residencial español de refrigeración sea tan bajo (1%) y el de “iluminación y electrodomésticos” sea tan alto (32%). Esta idea tiene aún más fuerza al comparar, en la categoría “iluminación y electrodomésticos”, el 13,6% del consumo promedio europeo en el año 2021 (Eurostat 2023) con el 32,1% del consumo promedio español en el año 2020 (IDAE 2021b)

LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

España se ha visto obligado a tomar medidas importantes en su legislación de edificación. A esto se debe el cambio de la normativa española en el 2006 con el establecimiento del **Código Técnico de la Edificación (CTE)** y las importantes modificaciones que el mismo ha venido sufriendo, alineándose a los **objetivos energéticos europeos**.

Respecto a la certificación energética, en el 2007 España estableció la obligatoriedad de la **certificación de eficiencia energética** de los **edificios de nueva construcción** (Ministerio de la Presidencia 2007). La normativa también incluyó los edificios de superficie superior a 1.000 m² que fueran remodelados en más del 25% de sus cerramientos.

Posteriormente, en el 2013 se estableció el Real Decreto 235/2013, una normativa más general que determinó la **certificación energética** en todo **edificio de uso público** de superficie útil superior a 250 m² y en todas las viviendas (o partes de éstas) que sean objeto de venta o alquiler y que posean una superficie superior a los 50 m² (Ministerio de la Presidencia 2013).

Es evidente que para controlar las emisiones de GEI en los edificios existentes e impulsar la eficiencia energética, es determinante establecer un **detallado diagnóstico del parque edificado** existente en esos momentos. En este aspecto, las certificaciones energéticas en los edificios son una importante herramienta que permite **conocer y catalogar a cada edificación** conforme a la **eficiencia energética de la misma**.

España posee un parque edificado de 26 millones de viviendas; al inicio del 2022 se registró que 4.7 millones de viviendas españolas poseen la certificación energética, es decir, solo el 18% del parque edificado existente (IDAE 2021a). A partir del establecimiento del RD 235/2013 se ha generado una demanda al alza hacia los especialistas del área en la realización de certificaciones energéticas, tal como se aprecia en la imagen 20 de la siguiente página.

En el siguiente apartado se recopila la evolución de la normativa española.



Imagen 21 - Evolución del registro de certificados de eficiencia energética en vivienda españolas (periodo 2013-2021). Fuente IDAE año 2021

2.3. NORMATIVA SOBRE LA SOSTENIBILIDAD

En este capítulo se estudiará el marco normativo europeo y español, entendiendo la legislación como un proceso en constante avance. Se revisarán las normas de eficiencia energética más emblemáticas durante las últimas 3 décadas.

2.3.1. NORMATIVA EUROPEA

En la Unión Europea, la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios (DEEE), más conocida como BPIE (por la sigla en inglés de *Buildings Performance Institute Europe*) es la encargada de establecer la legislación comunitaria europea por la cual se regirán los estados miembros en materia de eficiencia energética y sostenibilidad. La BPIE, acorde a los objetivos europeos, **persigue la eficiencia energética, la descarbonización, la disminución del consumo energético** y la generación de **energía** a partir de **fuentes renovables**.

Dentro del marco legislativo que ha establecido la BPIE es pertinente mencionar las normas que han tenido un mayor impacto en la eficiencia energética de las edificaciones y que se consideran relevantes para el desarrollo del presente TFM.

DIRECTIVA 93/76/CEE

El 13 de septiembre de 1993 se aprobó la Directiva 93/76/CEE del Consejo relativa a la **limitación de las emisiones de dióxido de carbono** mediante la mejora de la eficacia energética que tenía por objetivo la limitación de las emisiones de dióxido de carbono, la mejora de la eficiencia energética, el establecimiento y la aplicación de programas en: certificación energética de los edificios; financiación de inversiones en eficiencia energética en el sector público; aislamiento térmico de los edificios nuevos; auditorías energéticas en las empresas de elevado consumo de energía, entre otros (BPIE 1993).

La Directiva 93/76/CEE no fue rígida ni estableció una normativa concreta a seguir en Europa, no obstante, fue la **génesis de las legislaciones europeas que más tarde se establecieron en eficiencia energética y sostenibilidad**.

DIRECTIVA 2002/91/CE

En el 2002 se desarrolla la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios, basada en los acuerdos y compromisos tomados en el Protocolo de Kioto respecto a la disminución de las emisiones de GEI (BPIE 2003).

Esta Directiva es de gran relevancia porque fue la **primera que obligó a cambiar la normativa de edificación de todos los países miembros de la UE**, enfocándose en la gran problemática del aumento del consumo energético.

La Directiva 2002/91/CE determinó las siguientes indicaciones: 1) la incorporación de una metodología para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios; 2) el establecimiento de los requisitos mínimos que deberán tener las edificaciones respecto al uso de la energía, mejorando la eficiencia energética a través del aislamiento térmico y las instalaciones térmicas y lumínicas de los edificios, nuevos y existentes; 3) la introducción de calificaciones energéticas de los edificios a través de certificados de eficiencia energética; 4) la realización de inspecciones periódicas a los sistemas de climatización (calderas) y ventilación (aire acondicionado) de los edificios (Zabalza et al. 2010).

DIRECTIVA 2010/31/UE

La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios surge como una continuación de la Directiva 2002/91/CE, derogándola y manteniendo objetivos similares va un paso más allá **para aumentar la eficiencia energética de las edificaciones**, otorgando una metodología definida para gestionar el cálculo de los niveles óptimos de eficiencia energética de los edificios, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales y la rentabilidad en términos de coste-eficacia.

La Directiva 2010/31/UE establece: **a)** el marco común general de una **metodología de cálculo de la eficiencia energética** integrada de los edificios o de unidades de edificio; **b)** la aplicación de **requisitos mínimos a la eficiencia energética de los edificios nuevos** o de nuevas unidades de edificio; la aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de: edificios y unidades y elementos de edificios existentes que sean objeto de reformas importantes, elementos de construcción que formen parte de la envolvente del edificio y tengan repercusiones significativas sobre la eficiencia energética de tal envolvente cuando se modernicen o sustituyan, e instalaciones técnicas de los edificios cuando se instalen, sustituyan o mejoren; **d)** los planes nacionales destinados a aumentar el número de **edificios de consumo de energía casi nulo**; **e)** la **certificación energética de los edificios** o de unidades del edificio; **f)** la inspección periódica de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado de edificios, **g)** los sistemas de control independiente de los certificados de eficiencia energética y de los informes de inspección (Granados 2014).

Uno de los hitos que marca esta Directiva es la **aparición del concepto de Edificio de Consumo Energético Casi Nulo** (también llamado nZEB por la sigla inglesa *Nearly Zero Energy Buildings*) en referencia a un edificio que se caracteriza por **poseer un nivel de eficiencia energética muy alto** y una **demanda de energía muy baja o casi nula** (Directiva 2010/31/UE, 2010).

En síntesis, la Directiva 2010/31/CE pone de manifiesto **exigencias más altas en eficiencia energética** y da más importancia a temas esenciales, intentando **mejorar la calidad y el impacto de los certificados energéticos**. De esta forma, se propone: cumplir requisitos más restrictivos de eficiencia energética en los sistemas centralizados de calefacción; aumentar la información que poseen los certificados de eficiencia energética; establecer la posesión obligatoria del certificado de eficiencia energética a todo edificio público y a todo edificio residencial o unidad de vivienda que se venda o alquile; proyectar que todo edificio público y toda edificación nueva sea "nZEB" (Rey Martínez 2018)

DIRECTIVA 2012/27/UE

La Directiva 2012/27/UE, adoptada con el propósito de **impulsar la eficiencia energética** en la Unión Europea, estableció como **objetivo principal alcanzar un ahorro del 20% para el año 2020**, para lo cual se busca establecer un marco común que no solo cumpla con las metas inmediatas, sino que también sienta las bases para mejoras continuas más allá de ese año.

En virtud de este compromiso, cada Estado miembro se compromete a asegurar que, a partir del 1 de enero de 2014, el 3% de la superficie total de los **edificios con calefacción y/o sistemas de refrigeración** pertenecientes y ocupados por su Administración central sea **renovado anualmente**. Esta renovación debe cumplir, como mínimo, con los requisitos de rendimiento energético establecidos. Cabe destacar que la aplicación de este porcentaje se calcula sobre la superficie total de edificios con una superficie útil superior a los 500 m².

DIRECTIVA 2018/2001/UE

La Directiva 2018/2001/UE, en vigor desde el 11 de diciembre de 2018, **impulsa el uso de energía de fuentes renovables** con disposiciones destinadas a la integración y autoconsumo de dicha energía. También promueve el **aprovechamiento de calor y frío residuales** en la planificación y renovación de infraestructuras urbanas. Los Estados miembros deben fomentar la inclusión de sistemas de calefacción y refrigeración renovables en la planificación urbana.

Esta Directiva se enfoca en lograr el incremento de la proporción de energía renovable en el sector de la construcción mediante medidas de autoconsumo, almacenamiento local de energía y eficiencia energética, especialmente en cogeneración y edificaciones de baja energía, energía cero o pasiva.

En cuanto a los edificios públicos nuevos y renovados estos deben ejercer un papel ejemplar, aplicando **estándares de consumo casi nulo** o utilizando **techos para instalaciones de energía renovable**.

Otro de los principales lineamientos de la Directiva es impulsar la adopción de sistemas de calefacción y refrigeración renovables, **reduciendo el consumo de energía mediante etiquetas energéticas** e informando sobre incentivos. Se evalúa el potencial de utilizar calor y frío residuales en el sector de calefacción y refrigeración. En orden a aumentar la cuota de energías renovables, se consideran opciones como incorporar energías renovables o residuales en el suministro de calefacción y refrigeración, o instalar sistemas renovables de alta eficiencia en edificaciones.

DIRECTIVA 2023/1791/UE

La Directiva 2023/1791/UE relativa a la eficiencia energética, en vigor desde 13 de septiembre de 2023, modifica el Reglamento (UE) 2023/955 y pretende **una reducción del consumo de energía de al menos el 11,7% en 2030** (en comparación con las previsiones de la hipótesis de referencia de 2020), en concordancia con los ODS y el Pacto Verde Europeo, de modo que el consumo de energía final de la Unión no supere los 763 Mtep (Directiva 2023/1791/UE, 2023).

2.3.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

La normativa española se ha visto afectada notoriamente por las directivas (normas) europeas resumidas anteriormente.

Las exigencias que el gobierno español ha ido estableciendo están en un constante crecimiento, con normativas cada vez más exigentes, persiguiendo una mayor eficiencia energética. El objetivo final es lograr un alto estándar de eficiencia energética, idealmente de **Edificio de Consumo Energético Casi Nulo**.

En este apartado se abordará la evolución de la normativa española en la edificación, con énfasis en las legislaciones que competen a la búsqueda de una mayor eficiencia energética.

REAL DECRETO 314/2006

El Real Decreto 314/2006 del 17 de marzo de 2006 es el texto normativo por el cual se aprobó el Código Técnico de la Edificación (CTE) en España, unificando las normas y requisitos técnicos que establece los estándares de calidad y seguridad que deben cumplir los edificios. Parte fundamental de los objetivos de esta norma es **promover el ahorro de energía** en el sector de la construcción y **mejorar la eficiencia de los edificios existentes y de nueva construcción**. En cuanto a su estructura, se compone de Documentos Básicos (DB), cada uno dedicado a una materia específica, los cuales contienen procedimientos, reglas técnicas y, en muchos casos, ejemplos de soluciones que permiten determinar si un edificio cumple con los niveles de calidad establecidos en áreas específicas, con lo cual ofrecen orientación detallada en relación con el estándar que exige en cada materia. El RD 314/2006 fue modificado por el Real Decreto 732/2019 (Ministerio de Fomento 2019).

En lo que respecta al objeto de esta investigación, cabe mencionar los siguientes Documentos Básicos :

- **HE1 Limitación de la demanda energética:** Los edificios deben ser diseñados con una envolvente que regule la cantidad de energía necesaria para mantener condiciones térmicas confortables, teniendo en cuenta el clima local, el uso que se le dé al edificio y las variaciones estacionales.
- **HE2 Rendimiento de las instalaciones térmicas:** Los edificios deben contar con sistemas térmicos eficientes diseñados para garantizar el bienestar térmico de los usuarios, cuidando el control óptimo del rendimiento de estas instalaciones.
- **HE3 Eficiencia energética de instalaciones de iluminación:** Se debe instalar sistemas de iluminación que se ajusten a las necesidades de los usuarios, asegurando al mismo tiempo una eficiencia energética, mediante la implementación de controles y regulaciones adecuadas.
- **HE4 Contribución solar mínima de ACS:** En aquellos edificios con demanda estimada de Agua Caliente Sanitaria (ACS) o para la climatización de piscinas cubiertas, es necesario que se incorporen sistemas que capten, almacenen y utilicen energía solar de baja temperatura, adaptados a las condiciones de radiación solar del lugar y a las necesidades específicas de agua caliente del edificio.
- **HE5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica:** En los edificios que se designen por las reglas del CTE, se debe integrar sistemas de generación eléctrica a partir de energía solar, ya sea para consumo interno o para suministro a la red eléctrica.

REAL DECRETO 47/2007

Mediante el Real Decreto 1027/2007 del 20 de julio de 2007, se aprobó el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) estableciendo **requisitos mínimos de eficiencia energética para las instalaciones térmicas** tanto en edificios nuevos como existentes. La finalidad del RITE es promover prácticas que reduzcan el consumo de energía convencional y, al mismo tiempo, disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se fomenta el diseño de instalaciones térmicas que **empleen sistemas más eficientes**, permitan la **recuperación de energía** y hagan **uso de fuentes de energía renovable**. Lo que se busca alcanzar es un rendimiento térmico óptimo y, en consecuencia, la reducción al máximo del consumo de energía convencional.

REAL DECRETO 238/2013

A través del Real Decreto 238/2013 se introducen modificaciones en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Una de ellas es la que redefine como **instalaciones térmicas** aquellas de climatización y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), destinadas a garantizar bienestar térmico e higiene. Su ámbito de aplicación incluye edificios nuevos y aquellos con reformas sustanciales, destacando la **necesidad de adaptar instalaciones existentes a estándares actuales**. Además, establece una excepción en la sustitución de equipos de generación hasta 70 kW, siempre que la variación de potencia útil no exceda el 25% y el equipo instalado no supere los 70 kW.

REAL DECRETO 235/2013

El Real Decreto 235/2013, promulgado el 5 de abril de 2013, marcó un cambio significativo al aprobar el **procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios en España**. Esta legislación sustituyó al Real Decreto 47/2007 y transpuso la Directiva 2010/31/UE, incorporando al proceso básico los edificios existentes.

La normativa establece la **obligación de certificar los edificios o partes que se vendan o alquilen** a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de un certificado vigente. Asimismo, se establece un proceso de certificación para edificios de nueva construcción que consta de dos fases: **certificación del proyecto** y **certificación del edificio terminado**. Esta última confirma que el edificio ha sido ejecutado de acuerdo con el proyecto de ejecución, alcanzando la calificación indicada en el certificado de eficiencia energética del proyecto.

Esta norma **introdujo** el concepto de **edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB)**, definidos como aquellos con una **eficiencia energética muy alta**. Estos edificios deben cubrir una cantidad casi nula de energía, principalmente procedente de fuentes renovables, incluyendo la producción "in situ" o en el entorno.

REAL DECRETO 564/2017

El Real Decreto 564/2017 aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, introduciendo modificaciones significativas en la normativa existente. La más importante tiene que ver con la **redefinición de la descripción de los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB)**, estableciendo que estos deben cumplir los requisitos especificados en el Código Técnico de la Edificación, con lo que se busca una alineación más precisa con las normativas técnicas en vigor. Además, se efectúan ajustes en los tipos de edificios exentos de la aplicación del CTE, ampliando esta categoría para incluir viviendas de uso temporal, con periodos inferiores a 4 meses, y aquellos con una superficie total inferior a 50 m². El enfoque de estas modificaciones está puesto en adaptar la normativa a las distintas realidades constructivas, reconociendo la diversidad en el uso y tamaño de los edificios.

REAL DECRETO 56/2016

El Real Decreto 56/2016 fue promulgado el 12 de febrero de 2016 y tiene como objetivo la transposición de la Directiva 2012/27/UE en el ámbito de la Unión Europea. Dicha directiva establece un marco común para **impulsar la eficiencia energética** y concretar acciones contempladas en el Plan de Eficiencia Energética 2011. El propósito es materializar propuestas que **aprovechen el potencial de ahorro energético** hasta entonces no realizado. En tal sentido, se enfoca en aspectos específicos de la directiva, como la certificación energética, sistemas de acreditación para proveedores de servicios energéticos y auditores energéticos, así como en la **promoción de la eficiencia energética en los procesos de producción y uso de calor y frío**.

Junto con lo anterior, establece la obligación de llevar a cabo auditorías energéticas en empresas que no sean pequeñas y medianas empresas (PYMES), conforme a la Recomendación 2003/361/CE, con el objetivo de impulsar la eficiencia energética en sectores no PYMES.

2.3.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA

En el ámbito de la certificación energética es necesario precisar los **conceptos más utilizados**, de esta manera se podrá establecer un lenguaje común que contenga la **uniformidad** y **estandarización de la terminología**.

En el Real Decreto 47/2007 (normativa inicial) y el Real Decreto 235/2013 (normativa actual) se establecen las definiciones que se usarán en los procedimientos de certificación energética de la siguiente manera:

Eficiencia energética de un edificio

Consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

Calificación de eficiencia energética de un edificio

Expresión de la eficiencia energética de un edificio que se determina de acuerdo con una metodología de cálculo y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.

Certificación de eficiencia energética del edificio terminado

Proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto con la del edificio terminado y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética del edificio terminado.

Certificado de eficiencia energética de proyecto

Documentación suscrita por el proyectista como resultado del proceso de certificación, que incluye la calificación de eficiencia energética del proyecto, señalada en la escala de eficiencia energética.

Certificado de eficiencia energética del edificio terminado

Documentación suscrita por la dirección facultativa de la obra como resultado del proceso de certificación, que incluye la calificación de eficiencia energética del edificio terminado, señalada en la escala de eficiencia energética.

Etiqueta de eficiencia energética

Distintivo que señala el nivel de calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto de un edificio o por el edificio terminado.

Documentos reconocidos para la certificación de eficiencia energética

Documentos técnicos, sin carácter reglamentario, que cuenten con el reconocimiento conjunto del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y del Ministerio de Vivienda y que se encuentren inscritos en el Registro general creado a tal efecto.

En el Código técnico de la Edificación (CTE), en el Documento Básico DB HE Ahorro de Energía, el Anejo A titulado "Terminología" (Ministerio de vivienda y agenda urbana 2022) establece las siguientes definiciones para los conceptos más usados en el ámbito energético de un edificio:

Bienestar térmico:

Condiciones interiores de temperatura, humedad y velocidad del aire establecidas reglamentariamente que se considera producen una sensación de bienestar adecuada y suficiente a sus ocupantes.

Consumo energético:

Es la energía que es necesario suministrar a los sistemas (existentes o supuestos) para atender los servicios de calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, control de la humedad y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. Se expresa con unidades kW·h/m² año.

Demanda energética

Es la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria, de ventilación, de control de la humedad y de iluminación, y se expresa en kW·h/m² año.

Envolvente térmica:

La envolvente térmica está compuesta por todos los cerramientos y particiones interiores, incluyendo sus puentes térmicos, que delimitan todos los espacios habitables del edificio o parte del edificio.

Inercia térmica:

Propiedad del edificio de amortiguar y retardar el efecto de las fluctuaciones de la temperatura exterior en el interior del edificio como resultado de la capacidad del edificio para conducir y almacenar calor. La cantidad de calor almacenado depende de la masa térmica de los materiales, mientras que la velocidad de intercambio de calor con el entorno depende de su conductividad térmica.

Espacio habitable acondicionado:

Espacio habitable que necesita mantener unas determinadas condiciones operacionales para el bienestar térmico de sus ocupantes. En uso residencial privado, todos los espacios interiores de las viviendas se consideran acondicionados y deben cumplir las condiciones operacionales de acuerdo al Anejo D.

Puente térmico

Zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

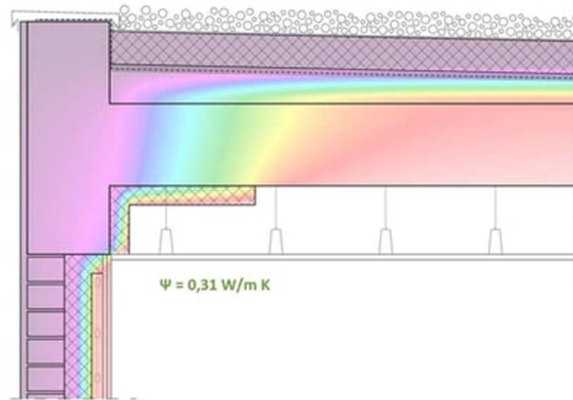


Imagen 22 - Ilustración del concepto Puente térmico.

Transmitancia térmica:

Flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. Se expresa en unidades $W/m^2 \cdot K$. Se denomina por las letras U ó K.

Zona climática:

Zona para la que se definen unas solicitudes exteriores comunes. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la zona climática de invierno, y un número, correspondiente a la zona climática de verano.

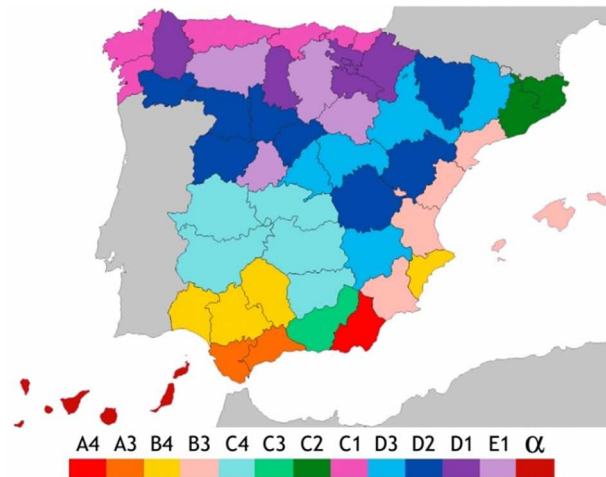


Imagen 23 - Mapa de zonificación climática de España según CTE. Fuente: CTE

2.4. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

INTRODUCCIÓN

El procedimiento básico de la certificación energética se encuentra normado por el Real Decreto 390/2021, tal como se detalló en el capítulo anterior, en donde se establece la obligatoriedad de que determinadas edificaciones posean un certificado de eficiencia energética.

El **certificado de eficiencia energética es un informe** donde se plasman **los resultados del proceso de calificación energética** del inmueble. Este certificado se encuentra debidamente reglamentado y conservará el formato establecido por la Unión Europea.

En el Artículo 8 del RD 390/2021 se detalla el contenido que tendrá el certificado (Ministerio de la Presidencia 2021):

La certificación de eficiencia energética se compone de los siguientes elementos:

- Documento específico Certificado de Eficiencia Energética del edificio.
- Etiqueta de Eficiencia Energética.
- Informe de evaluación energética del edificio en formato electrónico (XML).
- Documentos o ficheros digitales necesarios para la evaluación del edificio en los procedimientos de cálculo utilizados.

- e) Anexos y cálculos justificativos que pudieran ser necesarios para la correcta interpretación de la evaluación energética del edificio.
- f) Recomendaciones de uso para el usuario.

En síntesis, el propósito del **certificado energético** es **mostrar gráficamente la eficiencia energética** que tiene una edificación.

2.4.1. MEDICIÓN ENERGÉTICA

En la guía titulada “Calificación de la eficiencia energética de los edificios” (IDAE 2015) brindada por el Gobierno de España se establece que:

“La eficiencia energética de un edificio se determina calculando o midiendo el consumo de energía necesaria para satisfacer anualmente la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, y se expresa de forma cualitativa o cuantitativa mediante indicadores, índices y calificación, o letras de una escala determinada convencionalmente y que varía de mayor a menor eficiencia”.

La medición energética se realiza a través de **herramientas digitales** que evaluarán los **indicadores energéticos** de una vivienda, local comercial, bloque completo de viviendas o cualquier tipo de edificación (IDAE 2009).

La medición energética se encuentra establecida por **4 indicadores**: 2 indicadores principales o globales y 2 indicadores conforme a la demanda (de calefacción y de refrigeración).

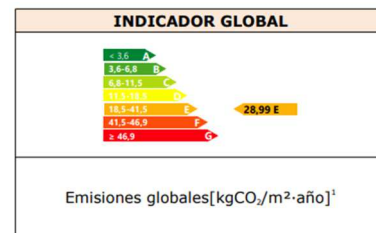
Para mayor comprensión, las mediciones obtenidas en la calificación energética se desglosarán en 6 partes, tal como se aprecia en la imagen 23 (página subsiguiente).

Los **2 indicadores principales** (o globales) de eficiencia energética están determinados por:

- 1) **Emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂)** expresadas en kg*m² de superficie útil del edificio [kgCO₂/m²·año].

Este es el **indicador principal** que define la calificación energética que tendrá el certificado de la edificación.

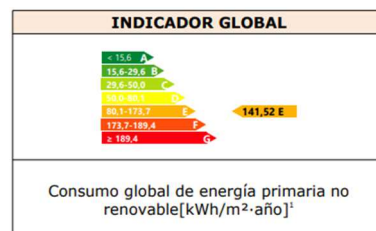
** Durante el presente TFM, este indicador se abreviará con la nomenclatura ECO2



- 2) **Consumo de energía primaria anual no renovable**, expresada en kWh*m² de superficie útil del edificio [kWh/m²·año]

Si bien este indicador también es principal, es un indicador que se encuentra en segundo orden.

** Durante el presente TFM, este indicador se abreviará con la nomenclatura CEPNOR



Estos indicadores energéticos incluyen el impacto (sumatoria) de los servicios de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación (la iluminación solo se tiene en cuenta para el sector terciario: locales comerciales y oficinas), así como la reducción (resta) de emisiones o consumo de energía primaria no renovable derivada del uso de fuentes de energía renovables.

Los **indicadores energéticos complementarios** son:

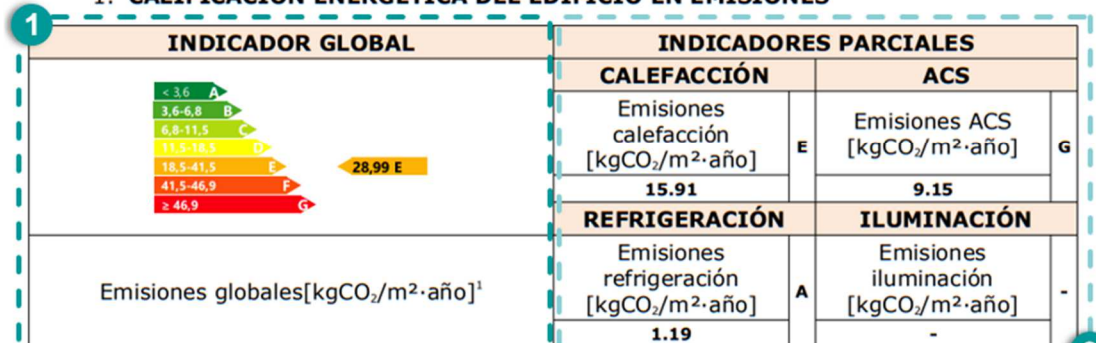
- 3) **Desglose de las emisiones de CO₂** para los servicios principales del edificio (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación).
- 4) **Emisiones de CO₂**, según el consumo eléctrico y de combustibles.
- 5) Desglose del consumo de energía primaria no renovable para los servicios principales del edificio (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación).
- 6) **Energía demandada por el edificio** para cada uno de sus servicios principales: Demanda de Calefacción (DEC) y Demanda de Refrigeración (DER)

Los indicadores complementarios permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento del edificio y proporcionan, por tanto, información útil sobre los aspectos para tener en cuenta a la hora de proponer medidas de mejoras de dicho comportamiento (IDAE 2009).

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

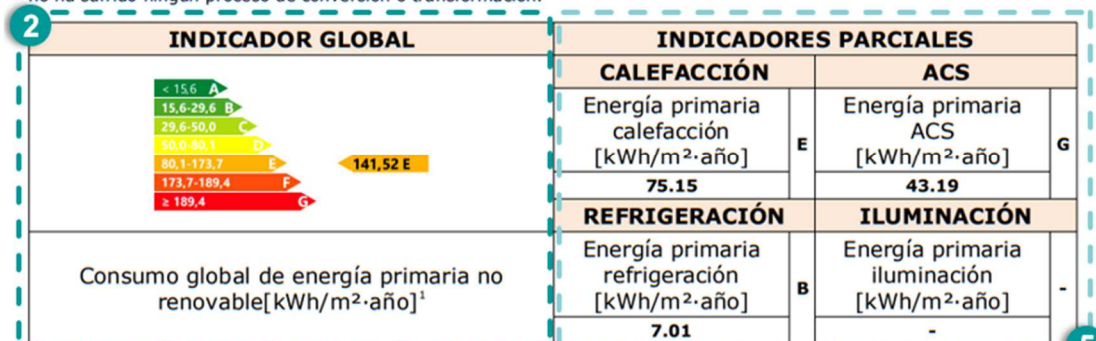


La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	3.93	2437.14
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	25.06	15546.39

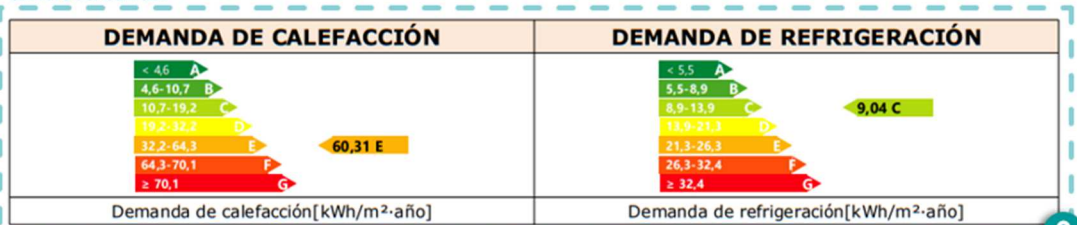
2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.



3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.



¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

Imagen 24 - Indicadores energéticos del certificado energético. Fuente: IDAE

2.4.2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

La calificación energética es la **eficiencia energética** que se le asigna a una edificación en función del **indicador energético**.

La calificación energética está **clasificada** en una **escala de 7 letras**, que va desde la **letra A** (edificio más eficiente) a la **letra G** (edificio menos eficiente), en función del indicador energético. Además, la escala asocia un color a cada categoría, desde el color verde (letra A, más eficiente) al color rojo (letra G, menos eficiente), tal como se aprecia en las siguientes imágenes :

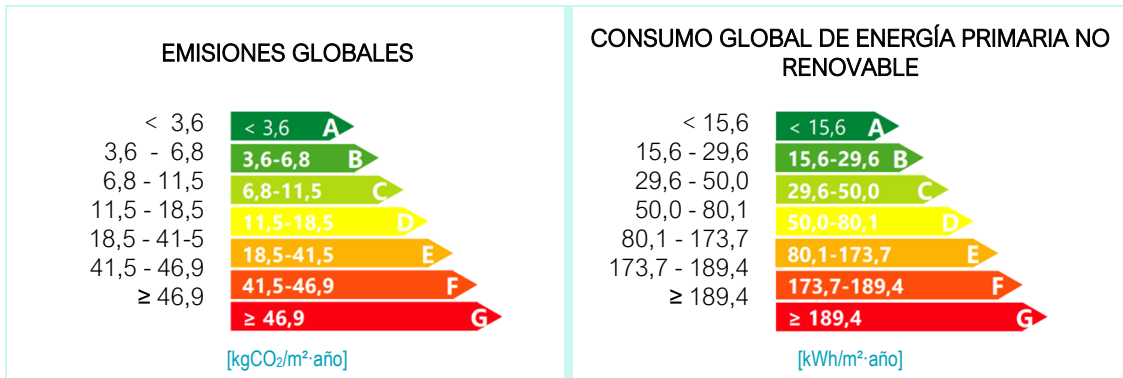


Imagen 25 - Escalas de calificación energética por Indicador Global. Fuente IDAE

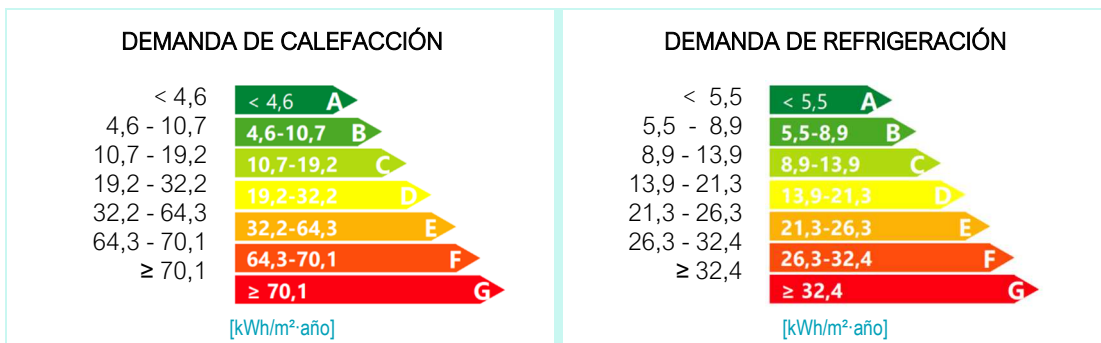


Imagen 26 - Escala de calificación energética por Demanda de calefacción y refrigeración. Fuente IDAE

Es importante mencionar que las **categorías** o **rangos de calificación** de las escalas energéticas varían de acuerdo con el **tipo de edificación** y con la **zona climática** en la que se encuentra el inmueble.

La calificación energética de inmuebles distingue 2 tipos de edificaciones:

- 1) edificios de uso residencial privado (vivienda) y
- 2) edificios terciarios o de otros usos no destinados a vivienda.

Según el tipo de edificación dependerá la fórmula a aplicar para la obtención del indicador.

El documento "Cálculo de la eficiencia energética de los edificios" (IDAE 2015) detalla el **método de cálculo de la calificación energética** para edificios de uso residencial de la siguiente manera:

Escala de calificación para edificios de uso residencial privado (vivienda)

Los edificios destinados a uso residencial privado (vivienda) se clasificarán de acuerdo con la Tabla 1.

Calificación	Índice		
A		$C1$	$< 0,15$
B	$0,15$	$\leq C1$	$< 0,50$
C	$0,50$	$\leq C1$	$< 1,00$
D	$1,00$	$\leq C1$	$< 1,75$
E	$1,75$	$\leq C1$	$< 1,00$
F	$1,75$	$\leq C1$	$< 1,50$
G	$1,75$	$\leq C1$	
	$1,50$	$\leq C2$	

Tabla 1 - Calificación energética e índices para edificios de uso residencial privado (vivienda). Fuente IDAE

Los índices C_1 y C_2 que permiten obtener, para cada indicador, la calificación energética de viviendas unifamiliares y de viviendas en bloque, se obtienen mediante las fórmulas siguientes:

$$C_1 = \frac{(R \cdot I_o / \bar{I}_r) - 1}{2(R - 1)} + 0,6 \qquad C_2 = \frac{(R' \cdot I_o / \bar{I}_s) - 1}{2(R' - 1)} + 0,5$$

Donde:

I_o : Es el valor del indicador analizado (emisiones anuales de CO₂, consumo anual de energía primaria no renovable, demanda de calefacción, etc) del edificio objeto.

\bar{I}_r : Es el valor medio del indicador del parque de referencia de edificios nuevos de uso residencial privado (vivienda).

R : Es el ratio entre el valor de \bar{I}_r y el valor del indicador correspondiente al percentil del 10 % del parque de referencia de edificios nuevos de uso residencial privado (vivienda).

\bar{I}_s : Es el valor medio del indicador del parque de referencia de edificios existentes de uso residencial privado (vivienda).

R' : Es el ratio entre el valor de \bar{I}_s y el valor del indicador correspondiente al percentil del 10 % del parque de referencia de edificios existentes de uso residencial privado (vivienda).

Los valores de \bar{I}_r , R , \bar{I}_s , R' correspondientes a las diferentes zonas climáticas se incluyen en el Anexo III (documento "Cálculo de la eficiencia energética de los edificios").

Al revisar los factores utilizados, se infiere que **la fórmula para obtener el indicador energético varía respecto a cada zona climática** en la que se encuentre el inmueble. Los parámetros que se deben utilizar en la fórmulas de cálculos se encuentran establecidos en las tablas del Anexo III del documento "Cálculo de la eficiencia energética de los edificios" del IDAE y Ministerio de Fomento (ver Anexo 2 del presente TFM).

En resumen, interpretar los valores de la escala de la certificación energética no es difícil, no obstante, **el proceso de cálculos de la escala de calificación energética es complejo** por la aparición de índices e intervalos variables.

2.4.3. CERTIFICADO ENERGÉTICO

El **certificado energético** es un documento que valida el proceso por el que se verifica **la conformidad de la calificación de eficiencia energética** obtenida por el inmueble.

En este documento se encuentra información abundante sobre la edificación en cuestión, a saber: datos generales e identificación del inmueble, el procedimiento utilizado para la calificación energética, las características energéticas del inmueble, la normativa que se aplicó en su construcción, datos del técnico certificador, las pruebas e inspecciones que ha realizado el técnico, entre otros.

En el Artículo 13 del RD 390/2021 se detalla la duración que tendrá el certificado:

1. El certificado de eficiencia energética tendrá una validez máxima de diez años, excepto cuando la calificación energética sea G, cuya validez máxima será de cinco años.
2. El órgano competente de la comunidad autónoma en materia de certificación energética de edificios correspondiente establecerá las condiciones específicas para proceder a su renovación o actualización.
3. El propietario del edificio será responsable de la renovación o actualización del certificado de eficiencia energética conforme a las condiciones que establezca el órgano competente de la comunidad autónoma. El propietario podrá proceder voluntariamente a su actualización, cuando considere que existen variaciones en aspectos del edificio que puedan modificar el certificado de eficiencia energética o de parámetros utilizados en el procedimiento de cálculo de la calificación de la eficiencia energética del edificio.

El modelo del certificado energético se encuentra normado en el Anexo I del documento "Calificación de la eficiencia energética de los edificios" (IDAE 2015). Ver Anexo 3 del presente TFM.

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

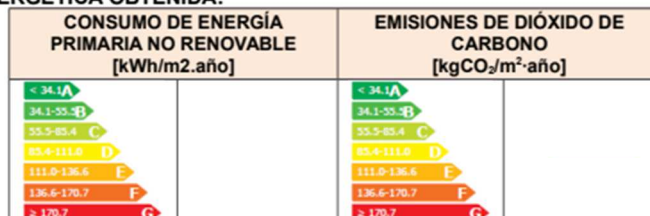
Nombre del edificio			
Dirección			
Municipio		Código Postal	
Provincia		Comunidad Autónoma	
Zona climática		Año construcción	
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)			
Referencia/s catastral/es			

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:	
<input type="checkbox"/> Edificio de nueva construcción	<input type="checkbox"/> Edificio Existente
<input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Unifamiliar <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Bloque completo <input type="checkbox"/> Vivienda individual	<input type="checkbox"/> Terciario <input type="checkbox"/> Edificio completo <input type="checkbox"/> Local

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos		NIF/NIE	
Razón social		NIF	
Domicilio			
Municipio		Código Postal	
Provincia		Comunidad Autónoma	
e-mail:		Teléfono	
Titulación habilitante según normativa vigente			
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:			

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:



El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: ___/___/___

Firma del técnico certificador:

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.

Anexo II. Calificación energética del edificio.

Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente: __

Fecha (de generación del documento) -
Ref. Catastral -

Página X de X

Imagen 27 - Formato de Certificado de eficiencia energética de edificios. Fuente IDAE

2.5. HERRAMIENTAS DIGITALES PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

Con el fin de facilitar la titánica tarea que están teniendo los profesionales calificados para la realización de las certificaciones energéticas, han surgido una variedad de herramientas digitales de apoyo para las exigencias que se están demandando.

Actualmente, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) **reconoce 7 softwares** que cumplen con los criterios establecidos por el CTE y pueden ser utilizados como herramientas digitales reconocidas por el gobierno español para la obtención de la calificación energética (MITECO 2016). Estas herramientas se encuentran publicadas en su plataforma web y son las siguientes:

- 1) HULC (LIDER-CALENER)
- 2) CE3
- 3) CE3X
- 4) CERMA
- 5) CYPETHERM HE Plus
- 6) SG SAVE
- 7) TeKton3D TK-CEEP

PROCEDIMIENTOS DE CALIFICACIÓN

Dentro del ámbito de los softwares, existen **2 tipos de procedimientos** de calificación energética, que son:

1. **Procedimiento simplificado.** Es un procedimiento que cataloga la información de manera simple, utilizando datos estándares y típicos de una edificación a través de una amplia base de datos, de manera que la calificación energética responde a un cálculo previo de edificaciones de similares características. No permite la modelación tridimensional de un edificio. Dentro de esta categoría se encuentran los programas: **CE3, CE3X y CERMA.**
2. **Procedimiento general.** Es un procedimiento que permite un ingreso más amplio y específico de datos, con una simulación virtual tridimensional, un modelo complejo que contiene información en los elementos ingresados (ejemplo: muros con espesor, materialidad, aislamiento, transmitancia térmica, absorción del material, entre otros) pretendiendo reflejar la realidad edificada y realizando cálculos complejos a partir de un modelo 3D. Dentro de esta categoría se encuentran los programas: **HULC, CYPETHERM HE Plus, SG SAVE y TeKton3D TK-CEEP.**

ELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

La elección de las **3 herramientas digitales** que se utilizarán en el presente TFM (capítulos 5 y 6) se realiza conforme a los procedimientos de calificación antes mencionados, de manera que los 2 tipos de procedimiento (1. Procedimiento general, y 2. Procedimiento simplificado) mencionados por el MITECO se aborden en la comparación de los softwares a analizar.

En el procedimiento general se aborda el proyecto con mayor complejidad en cuanto al ingreso de datos de manera tridimensional. Por lo cual, este tipo de procedimiento podría llegar a ser más preciso en los resultados. Por este motivo, se escogen 2 software del procedimiento general: 1) **HULC** y 2) **CYPETHERM HE Plus**; la primera es gratuita (HULC) y la otra es de pago (CYPETHERM HE Plus).

En cuando al procedimiento simplificado, se considera que al ser un “procedimiento simplificado” como su nombre lo indica, el ingreso de datos se aborda de **manera simple**, con parámetros bidimensionales, que posiblemente no presentará grandes diferencias entre los 3 programas del proceso simplificado, por lo cual se consideró que 1 solo software sería suficiente para abordar esa categoría, escogiendo la herramienta digital **CERMA.**

La idea de utilizar 3 de las 7 herramientas digitales de certificación energética aceptadas por el MITECO responde a realizar el presente estudio abarcando el **43%** de los softwares disponibles como una muestra representativa de estudio.

Se comprende que sería ideal realizar este estudio utilizando las 7 herramientas aceptadas por el MITECO, no obstante, la situación no es aplicable por cuestión de tiempo y esfuerzo que requiere el aprendizaje de uso de cada herramienta.

2.5.1. HERRAMIENTA CERMA

El nombre del software **CERMA** responde a la sigla: Calificación Energética Residencial Método Abreviado.

Según se detalla en su sitio web, CERMA es una aplicación informática gratuita y ha sido promovida por la Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática de la Generalitat Valenciana y desarrollada por el Instituto Valenciano de la Edificación y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), con la colaboración técnica del grupo FREDSON del Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia.



Este programa permite obtener la certificación energética de edificaciones de uso residencial: vivienda individual, vivienda perteneciente o dentro de un bloque de viviendas y complejos completos de vivienda en bloque, abordando edificios existentes o construcciones nuevas.

CERMA es una **herramienta de uso simplificado** que realiza la simulación virtual de un inmueble a partir de su envolvente (muros exteriores, cubierta, ventanas y forjados) y de sus instalaciones, considerando el recinto interior como una sola zona térmica.

La herramienta CERMA actualmente interopera con la herramienta IEE.CV (Informe de Evaluación de los Edificio. Comunitat Valenciana).

2.5.2. HERRAMIENTA HULC

HULC es una herramienta gratuita, de iniciativa pública, con una amplia experiencia y reconocimiento en materia energética.

El nombre del software **HULC** se debe a la sigla: Herramienta Unificada LIDER CALENER, haciendo alusión a la fusión de 2 herramientas digitales oficiales y usadas anteriormente: LIDER y CALENER-VYP. Ambos softwares eran de gran prestigio y estaban dentro de los programas aceptados por el MITECO en el año 2013. La herramienta LIDER se dedicaba al cálculo de la demanda energética que representa la instalación de calefacción y refrigeración de un edificio siguiendo las pautas de verificación del CTE DB HE1, y la herramienta CALENER se usaba para el cálculo del consumo de energía del edificio y las instalaciones térmicas, siguiendo las pautas de la verificación del CTE DB HE0.



El software HULC opera con **modelos complejos desarrollados en 3D** y permite la manipulación de múltiples parámetros como: materiales, espesores, transmitancia térmica, puentes térmicos, instalaciones térmicas, entre otros.

HULC se encuentra reconocido por el MITECO para la obtención de la certificación energética de: edificios de viviendas unifamiliares; edificios de viviendas en bloque; viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque; y edificios terciarios.

2.5.3. HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS

CYPETHERM HE Plus es una herramienta de iniciativa privada (es de pago) perteneciente a la empresa española CYPE Ingenieros S.A., compañía con una amplia trayectoria en desarrollo y comercialización de diversas aplicaciones técnicas del ámbito de AECO. El costo de la aplicación es de 998€.

El software **CYPETHERM HE Plus** ofrece la posibilidad de justificar el cumplimiento del CTE (apartados DB HE0, DB HE1 y DB HE4) de cualquier tipo de edificio, utilizando el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™.



El software CYPETHERM HE Plus también opera con **modelos complejos desarrollados en 3D** y permite la manipulación de múltiples parámetros como: materiales, espesores, transmitancia térmica, puentes térmicos, instalaciones térmicas, entre otros. Se destaca porque permite la creación de materiales (o parámetros) y tiene una **interoperabilidad** con otros softwares de modelado tridimensional.

CYPETHERM HE Plus se encuentra reconocido por el MITECO para la obtención de la certificación energética de: edificios de viviendas unifamiliares; edificios de viviendas en bloque; viviendas individuales pertenecientes a edificios en bloque; y edificios terciarios.

2.6. REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

Como se ha visto en los apartados anteriores, la implementación de las normativas de eficiencia energética en España tiene el firme propósito de **mejorar la calidad de las edificaciones** y **disminuir el consumo energético** de las viviendas, tal como se mencionó en el apartado 2.3 “Normativa sobre la sostenibilidad”.

La certificación energética, fruto de la normativa europea, tiene 2 propósitos: **diagnosticar la eficiencia energética** de las edificaciones actuales, y una vez que se tiene un catastro energético, **realizar mejoras** en el parque edificado más desfavorable energéticamente hablando.

Conforme a múltiples estudios en materia de eficiencia energética en edificios, se considera que para subir la calificación energética de un edificio se debe: 1) renovar las instalaciones por **instalaciones de bajo consumo** y alta eficiencia, y 2) **mejorar la envolvente** del edificio (Granados 2014), es decir, los elementos que separan directamente el interior de un inmueble con el exterior, como son: los **cerramientos exteriores verticales** (muros de fachada y huecos) y los **cerramientos exteriores horizontales** (cubierta, forjados exteriores y solera).

Tomando como referencia las rehabilitaciones energéticas de edificios construidos previos al CTE que el gobierno español promueve, e incluso subsidia a través de fondos como los programa PAREER-CRECE⁶ (2013), programa PAREER II (2018), el actual programa PREE⁷ (2022) o los fondos *Next Generation*, se abordará como metodología de estudio la simulación virtual de intervenciones pasivas (capítulos 3 y 6), es decir, que no se considerará la introducción de instalaciones o equipos mecánicos (llamados “intervención activa”) para mejorar la calificación energética, sino que se abordará a través de intervenciones de la envolvente, mejorando el aislamiento térmico, sustituyendo elementos con disminución de la transmitancia térmica y reparando deficiencias constructivas en los puentes térmicos.

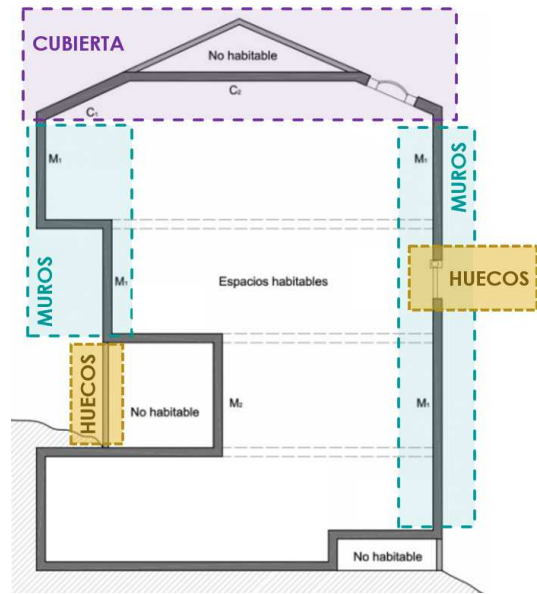


Imagen 28 - Esquema de envolvente térmica. Fuente CTE

La simulación de **intervención pasiva** seguirá los pasos habituales de una rehabilitación que considera mejoras en: 1) **muros exteriores**; 2) **huecos**; y 3) **cubierta**.

2.6.1. REHABILITACIÓN EN MUROS EXTERIORES

Actualmente, la adición de aislamiento térmico en los cerramientos exteriores se suele realizar tanto por el exterior como por el interior de la vivienda, existiendo distintas soluciones en materia de aislamiento térmico de fachada (Universidad Politécnica de Madrid 2020), como pueden ser: 1) instalación de sistema SATE; 2) fachada ventilada; 3) aislamiento de zona puntual exterior; 4) inyección de aislamiento en cámara de aire (por fuera); 5) inyección de aislamiento en cámara de aire (por dentro); 6) instalación de un trasdosado interior; 7) aislamiento puntual por el interior.

Las propuestas de mejora por el interior de la vivienda son una solución individual, es decir, son opciones que cada propietario debe realizar por separado a su propia vivienda. Sin embargo, las propuestas de mejora por el exterior son opciones comunitarias que benefician al conjunto de viviendas en su totalidad.

Dentro de las opciones mencionadas, las primeras 2 soluciones (SATE y fachada ventilada) son las intervenciones que presentan mayores mejoras y que habitualmente suelen realizarse en la rehabilitación de los muros exteriores. De estos 2 tipos de intervención, la **instalación del sistema SATE** es el que presenta menos complejidades técnicas en la intervención de las fachadas, principalmente por su ligereza. Por otro lado, el sistema SATE es el más económico.

El concepto “SATE” es por la sigla “Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior”. Tal como su nombre lo indica, es un sistema utilizado para aislar térmicamente un cerramiento por el exterior que consiste en colocar un **material**

⁶ PAREER = Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes.

⁷ PREE = Programa de rehabilitación energética de edificios

aislante adherido al muro exterior habitualmente por fijación mixta (adhesivo y fijación mecánica), junto con mallas de refuerzo y un acabado de terminación final.

En el sistema SATE se pueden utilizar diferentes tipos de materiales como aislante térmico:

- Placas de poliestireno expandido (EPS)
- Paneles de espuma rígida de poliuretano conformado (PUR)
- Placas de poliestireno extruido (XPS)
- Placas de lana mineral (MW)
- Placas de corcho expandido (ICB)
- Planchas de vidrio celular (CG)
- Paneles derivados de la madera

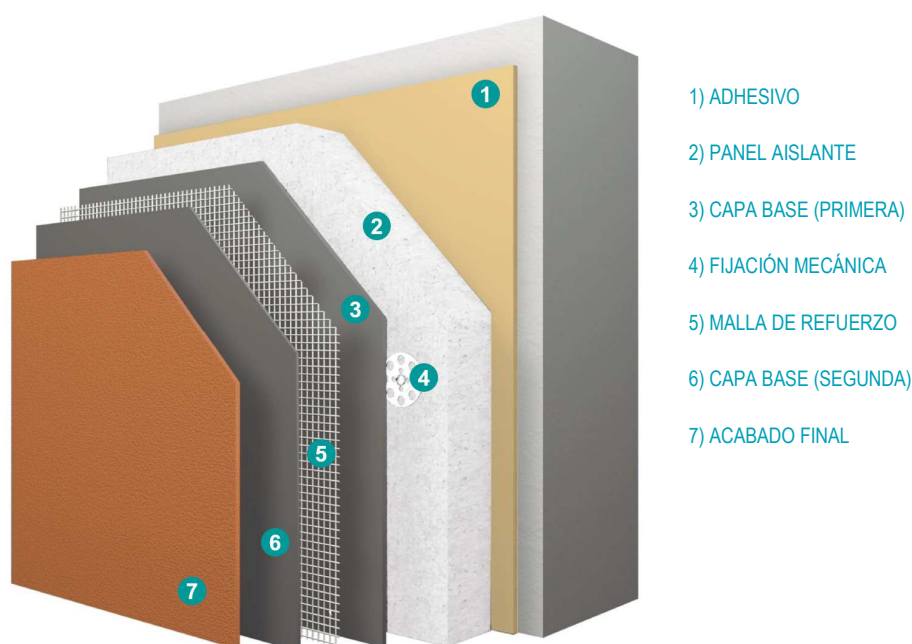


Imagen 29 - Detalle del sistema SATE. Elaboración propia

El espesor mínimo por utilizar lo determina el CTE (DB HE1), dependiendo de la zona climática donde se encuentre el inmueble. Según los valores de transmitancia térmica que sugiere el CTE Documento Básico HE en la tabla A del Anejo E (Ministerio de vivienda y agenda urbana 2022) en combinación con catálogos de XPS, es posible utilizar los siguientes espesores SATE según la zona climática:

- Zona climática A. Se da en provincias como Huelva, Cádiz o Almería. Los espesores serán de 50 mm, con una transmitancia térmica de $0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Zona climática B. Pertenecen a esta zona provincias como Sevilla, Tarragona o Valencia. En este caso, el grosor SATE necesario será de 80mm, con una transmitancia térmica de $0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Zona climática C. Se considera que pertenecen a esta zona provincias como La Coruña, Santander o Barcelona. El espesor SATE será de 100mm, con una transmitancia térmica de $0,29 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Zona climática D. Pertenecen a esta zona provincias como Lugo, Zaragoza o Madrid. El espesor de las fachadas será de 110 mm, con una transmitancia térmica de $0,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Zona climática E. Se da en provincias como Burgos, Soria o Ávila, siendo necesario un grosor SATE de 130 mm y una transmitancia térmica de $0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

ZONA CLIMÁTICA	ESPESOR (mm)	TRANSMITANCIA TÉRMICA U (w/m ² ·k)
Zona climática A	50	0,50
Zona climática B	80	0,38
Zona climática C	100	0,29
Zona climática D	110	0,27
Zona climática E	130	0,23

Tabla 2 - Aislamiento térmico en muros al exterior sugerida por zona climática. Fuente CTE. DB HE1 Anejo E

El edificio que se utilizará como caso de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Valencia, perteneciente a la zona climática B3. En tal caso, corresponderá aplicar material SATE de 80 mm de espesor.

En resumen, la **simulación 1** que se realizará al caso de estudio será la **instalación del sistema SATE** a los muros exteriores de la fachada (todos los muros que tengan contacto directo con el exterior), utilizando **placas de poliestireno extruido (XPS) de 80 mm de espesor**, con una transmitancia térmica de 0,38 W/m²·K.

2.6.2. REHABILITACIÓN EN HUECOS

De acuerdo al proyecto de investigación “Sistemas de rehabilitación energética para edificios de uso residencial” (Universidad Politécnica de Madrid 2020) los huecos de la envolvente se suelen rehabilitar de varias maneras : 1) sellando o aislando; 2) instalando película de baja emisividad o de control solar; 3) sustituyendo el vidrio simple por vidrio de doble acristalamiento; 4) con control solar, como por ejemplo la instalación de toldos; 5) instalando persianas o contraventanas; 6) colocando una segunda ventana; 7) sustituyendo la ventana.

Si bien la instalación de elementos adicionales (como lámina en vidrios o toldos exteriores) son las opciones más económicas, estas opciones por si solas no solucionan el problema de la transmitancia térmica de una vivienda, en especial al considerar **los problemas de pérdida que calor** que se producen en invierno. La opción de sustituir solamente el vidrio monolítico por doble vidrio con cámara de aire es una opción conveniente, no obstante, poco factible porque el marco de una ventana instalada en la década del 60' no permite la instalación de doble vidrio. La opción de instalar una segunda ventana es conveniente pero muy poco conocida y, por ende, poco utilizada.

En la rehabilitación de edificios, la opción ampliamente usada es la **sustitución de las ventanas** por ventanas con mejores prestaciones térmicas y acústicas, consiguiendo aumentar el confort térmico en el interior de las viviendas.

El reemplazo de una ventana implica la elección de 2 materiales: 1) marco, y 2) cristal. Según la guía “Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado” (IDAE 2019) se encuentran disponible marco de ventanas con las siguientes materialidades, características y propiedades:

- **Marco metálico:** Normalmente son fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados: lacados en diferentes colores, anodizados, foliados imitando madera, etc. En general e independiente del tipo de metal, se considera una transmitancia térmica de $U = 5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- **Marco metálico con RPT⁸:** La rotura de puente térmico consiste en la incorporación de uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica que separan los componentes interiores y exteriores de la carpintería logrando reducir el paso del calor, mejorando el comportamiento térmico de la carpintería. Los valores de transmitancia térmica comúnmente aceptados para este tipo de carpinterías son de $U = 4,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ hasta $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en función de la anchura de los elementos separadores que configuran la rotura de puente térmico.
- **Marco de madera:** Estos marcos cuentan con perfiles macizos de madera que por su naturaleza proporcionan unos niveles importantes de aislamiento térmico. Su conductividad es baja lo que favorece el aislamiento térmico. Sus principales limitaciones se encuentran en las operaciones de mantenimiento necesarias. Los valores de transmitancia dependen de la densidad de la madera utilizada fluctuando entre $U = 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ hasta $U = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- **Marco de PVC:** Las carpinterías están formadas por perfiles normalmente huecos de PVC, ofreciendo un comportamiento térmico de primer orden. Los valores de transmitancia comúnmente aceptados son de $U = 2,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ hasta $U = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en función del número de cámaras que tienen los marcos.

⁸ Rotura de puente térmico

Habitualmente son carpinterías cuya participación en el hueco es elevada, lo que unido a sus valores de aislamiento favorece el comportamiento del conjunto.

- **Marco mixto:** Cada vez es más frecuente encontrar marcos compuestos por 2 materiales, por lo general, en madera (interior) revestida por metal (aluminio) o por perfil de PVC hacia el exterior, logrando una gran durabilidad y baja conductividad. Los valores de transmitancia dependen de la densidad de la madera utilizada fluctuando entre $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ hasta $U = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$



Imagen 30 - Tipología de marco de ventana según material del perfil. Elaboración propia

A modo de resumen, se presenta la tabla 3 con la transmitancia térmica de los perfiles de ventanas normalmente usados:

MATERIAL DEL PERFIL	TRANSMITANCIA TÉRMICA U ($\text{w/m}^2 \cdot \text{k}$)
Metálico	5,7
Metálico RPT ($4\text{mm} \leq d < 12 \text{ mm}$)	4,0 - 3,5
Metálico RPT $d \geq 12 \text{ mm}$	3,2 - 2,8
Metálico RPT $d > 24 \text{ mm}$	2,5
Madera dura ($\rho = 700 \text{ Kg/m}^3$ y 60 mm de espesor)	1,9
Madera blanda ($\rho = 500 \text{ Kg/m}^3$ y 60 mm de espesor)	1,5
PVC (Perfiles huecos de 2 a 3 cámaras)	2,2 - 1,8
PVC (Perfiles huecos de 5 a 6 cámaras)	1,4 - 1,0

Tabla 3 - Transmitancia térmica de los perfiles calculados con la norma UNE-EN ISO 10077-1. Fuente: IDAE 2019

Independientemente del material del marco es muy importante, en términos de aislamiento, el **sistema de apertura** y cierre de la ventana (corredera, batiente, proyectante, fijo). Este puede condicionar su permeabilidad al aire, es decir el paso de aire cuando la ventana cerrada se somete a una presión diferencial entre ambas caras. La clasificación de las ventanas según su permeabilidad al aire está definida en la norma UNE-EN 12207. Se clasifican en clases que oscilan de cero a cuatro. Los cerramientos acristalados con clase 4 de permeabilidad al aire representan la mejor clasificación en términos de infiltraciones de aire (mayor estanquidad) y por ende mejores prestaciones térmicas y acústicas.

Por otro lado, el cristal de la ventana tiene un rol térmico preponderante. Según la Guía N°018 "Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado" (IDAE 2019) el vidrio es el elemento fundamental en los huecos del cerramiento. Su principal propiedad es la transparencia permitiendo elevados aportes de luz natural que contribuyen al confort de la vivienda. Desde la perspectiva del aislamiento térmico las principales características del acristalamiento son su coeficiente de transmitancia térmica U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$) y su factor solar.

Los vidrios pueden clasificarse en distintos grupos en función de su configuración y de la presencia de capas metálicas que mejoran sus prestaciones de aislamiento térmico y control solar:

- **Vidrio sencillo (monolítico):** bajo esta denominación se agrupan aquellas tipologías formadas por una única hoja de vidrio y aquellas formadas por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie, llamados vidrios laminados. Dentro del vidrio monolítico se pueden encontrar vidrios incoloros, de color, impresos, y de seguridad, así como distintos tratamientos que modifican las propiedades mecánicas, térmicas y espectrofotométricas de los mismos. Las prestaciones térmicas de un vidrio monolítico son estables para los vidrios incoloros, de tal manera que la transmitancia térmica y factor solar se ven mínimamente reducidos al aumentar el espesor. El valor de transmitancia térmica es de $U = 5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y el factor solar (g) de 0,83.

- **Vidrio doble:** también conocido como vidrio de cámara o UVA (Unidad de Vidrio Aislante), hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. El doble acristalamiento, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el traspaso de calor por convección y conducción. De esta forma, el acristalamiento obtiene una drástica reducción en su transmitancia térmica, además de una leve disminución del factor solar ($g = 0,75$). Los valores de transmitancia térmica U dependerán del espesor de la cámara de aire, reduciendo paulatinamente la U a medida que aumenta el espesor de la cámara de aire, fluctuando entre $U = 3,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (en acristalamiento 4-6-4, que es la composición más básica del doble vidrio⁹) y $U = 2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (en acristalamiento 4-16-6). Es relevante considerar que el aumento del espesor de un vidrio simple prácticamente no modifica la transmitancia térmica ni el factor solar.

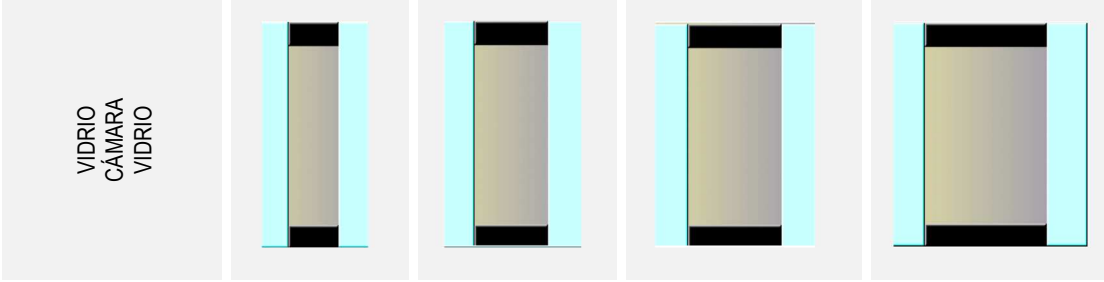
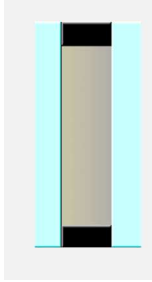
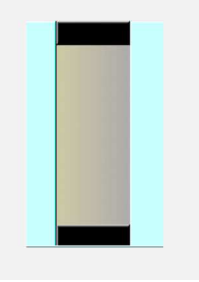
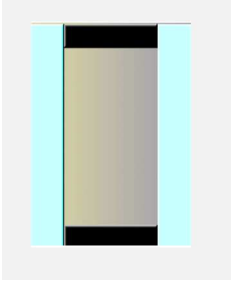
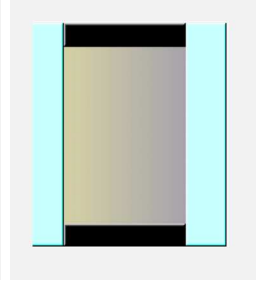
COMPOSICIÓN	4-6-4	4-10-4	4-12-4	4-16-6
 <p>VIDRIO CÁMARA VIDRIO</p>				
$U = \text{w/m}^2 \cdot \text{k}$	3,3	3,0	2,9	2,7

Tabla 4 - Transmitancia térmica en acristalamiento de doble vidrio. Fuente IDAE 2019

- **Vidrio de baja emisividad:** Se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina (del orden de nanómetros) proporcionando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Normalmente estos vidrios deben ir ensamblados en acristalamiento de doble vidrio con cámara de aire interior, ofreciendo así sus máximas prestaciones de aislamiento térmico. En la composición de acristalamiento doble con vidrio de baja emisividad, se suele utilizar un solo vidrio bajo emisivo, una cámara de aire normal y un vidrio monolítico sencillo; solo con la incorporación de un vidrio de baja emisividad se logra disminuir la transmitancia térmica a un nivel que resultará imposible de alcanzar con el aumento de la cámara de aire del doble vidrio. De igual manera que con el acristalamiento de doble vidrio (normal), los valores de transmitancia térmica U con vidrio bajo emisivo dependerán del espesor de la cámara de aire, fluctuando entre $U = 2,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (acristalamiento 4-6-4) y $U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (acristalamiento 4-16-6). Dentro de la composición del acristalamiento con vidrio de baja emisividad, la posición del vidrio bajo emisivo, como vidrio interior o exterior, no influye en el valor de U .

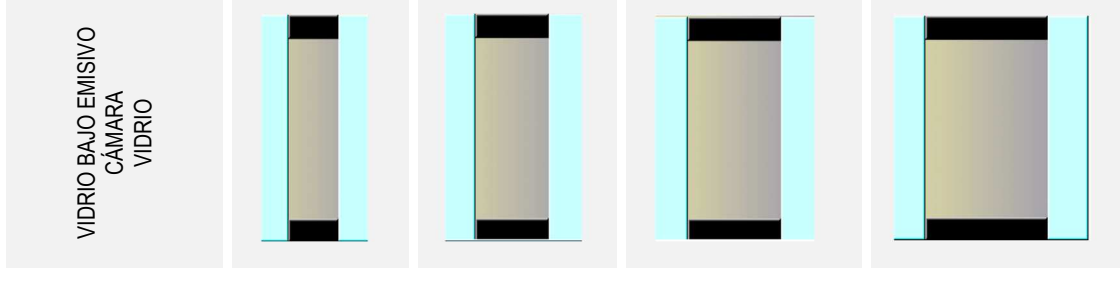
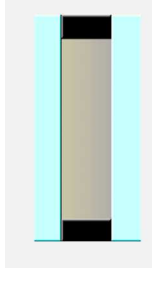
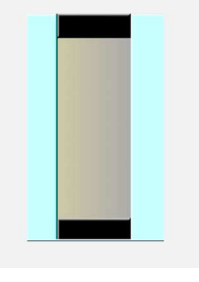
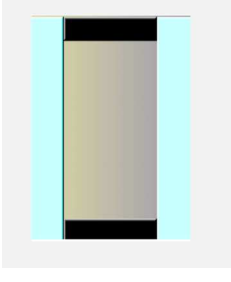
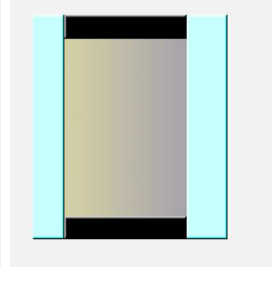
COMPOSICIÓN	4-6-4	4-10-4	4-12-4	4-16-6
 <p>VIDRIO BAJO EMISIVO CÁMARA VIDRIO</p>				
$U = \text{w/m}^2 \cdot \text{k}$	2,4	1,8	1,6	1,3

Tabla 5 - Transmitancia térmica en acristalamiento doble con vidrio de baja emisividad. Fuente IDAE 2019

⁹ NOTA: La nomenclatura 4-6-4 indica los espesores del acristalamiento Vidrio-Cámara-Vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior, luego la cámara de aire y el vidrio interior en el último dígito.

- **Vidrio de baja emisividad con gas Argón:** En la composición de acristalamiento doble existe otra variable que se puede utilizar en la búsqueda de la eficiencia térmica, es la sustitución de la cámara de aire por una cámara de gas Argón. El sistema de acristalamiento es el mismo, ya sea con doble vidrio monolítico normal o utilizando vidrio de baja emisividad. La mejora en la transmitancia térmica es proporcional al 20-25% según el tipo de composición del acristalamiento. En el caso de utilizar acristalamiento doble con un vidrio bajo emisivo y cámara de gas Argón, los valores de la transmitancia térmica fluctúan entre $U = 2,0$ $W/m^2 \cdot K$ (acristalamiento 4-6-4) y $U = 1,0$ $W/m^2 \cdot K$ (acristalamiento 4-16-6).

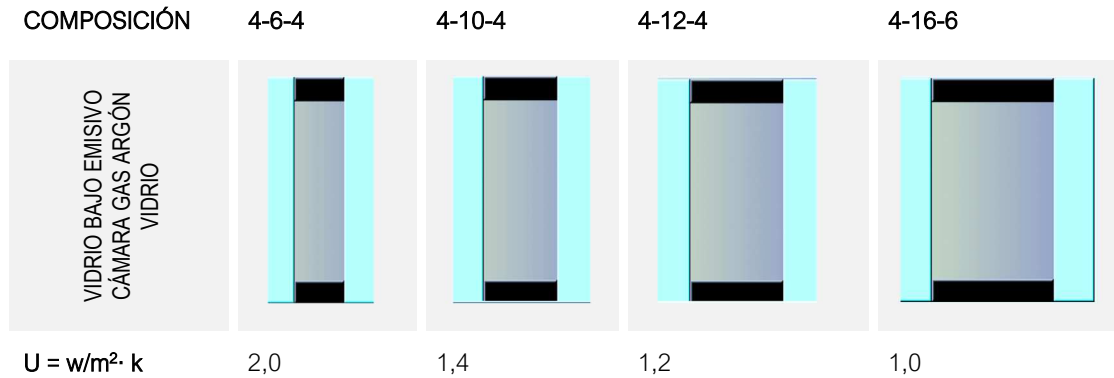


Tabla 6 - Transmitancia térmica en acristalamiento doble con vidrio de baja emisividad. Fuente IDAE 2019

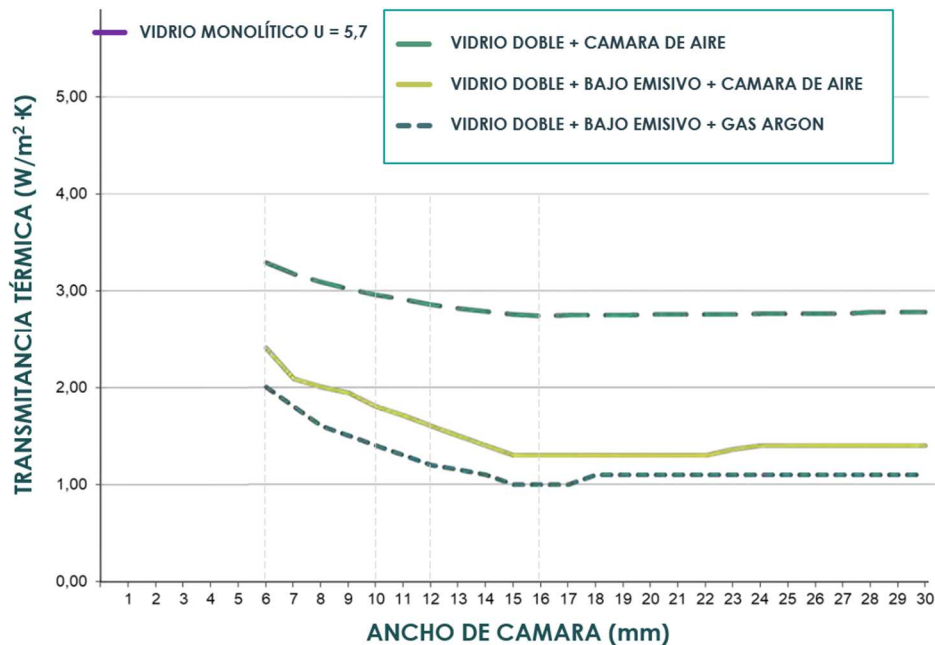


Imagen 31 - Gráfica comparativa de transmitancia térmica en acristalamiento. Fuente IDAE.

- **Vidrio de control solar:** Pueden agruparse bajo esta denominación vidrios de muy distinta naturaleza: vidrios de color, serigrafiados o de capa; es a estos últimos los que normalmente se refiere como vidrios de control solar. Las distintas capas y la posibilidad de aplicarse en distintos cristales permiten una amplia gama de posibilidades con diferentes estéticas y cuyas prestaciones térmicas de control solar pueden variar desde valores de factor solar $g = 0,65$ (vidrios incoloros de aspecto neutro) hasta valores de $g = 0,10$ (más reflectantes). Normalmente los vidrios de control solar se instalan en acristalamiento de doble vidrio para obtener una buena transmitancia térmica, no obstante, en muchos casos pueden ser utilizados como vidrios monolíticos cuando la prioridad es la protección térmica frente a la radiación solar directa.

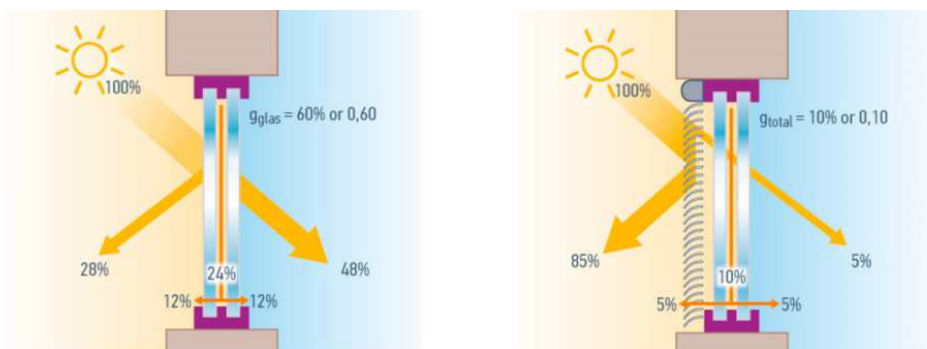


Imagen 32 - Factor solar en acristalamiento de doble vidrio con control solar

- **Triple acristalamiento:** es una unidad de vidrio aislante formado por tres láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por dos espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Los triples acristalamientos deben llevar asociadas al menos dos vidrios de capa de baja emisividad en cada una de las cámaras para alcanzar el óptimo de aislamiento. Las dos cámaras pueden ser de aire o gas (Argón o Kriptón) que mejora las prestaciones térmicas. Las prestaciones de transmitancia térmica de los triples acristalamientos con dos vidrios bajo emisivo oscilan entre $U= 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, para la composición 4-10-4-10-4¹⁰ y $U=0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, para la composición 4-20-4-20-4. El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la transmitancia térmica.

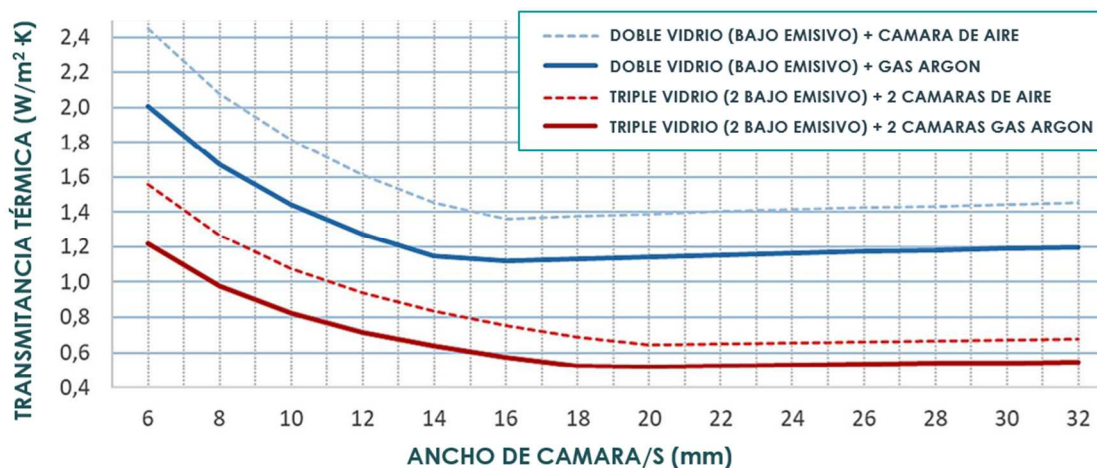


Imagen 33 - Gráfica comparativa de transmitancia térmica en doble y triple acristalamiento. Fuente Ficha técnica Saint Gobain

Una vez expuesta todas las opciones de marco y acristalamiento, la opción a escoger en la **simulación 2** de rehabilitación es un **marco de PVC de alta calidad** (5 cámaras de aire) en conjunto con **acristalamiento de doble vidrio** (tipo 4-16-6) con vidrio de **baja emisividad** y cámara con **gas Argón**, ambos elementos con una **transmitancia térmica de $U = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$** . La opción electa es la más utilizada en rehabilitación de huecos, restando la variante de gas Argón.

2.6.3. REHABILITACIÓN EN CUBIERTA

Una de las partes más importante de la rehabilitación energética de los edificios son **las cubiertas**. Por un lado, porque el calor sube y se disipa a través de la cubierta generando pérdida de calor en invierno; por otro lado, la cubierta es una **amplia superficie** que regularmente carece de sombreado y que **absorbe la radiación solar** durante todo el día y luego la irradia hacia el interior del inmueble, provocando un sobrecalentamiento en el verano.

Las cubiertas se separan en 2 categorías: 1) cubierta plana y 2) cubierta inclinada. Se le llama cubierta plana a aquella que tiene poca o nula pendiente, como máximo 5% de pendiente. La cubierta inclinada tiene una pendiente mayor al 5% y como máximo, según detalla el CTE, la inclinación será de 60 grados respecto al plano horizontal (Ministerio de vivienda y agenda urbana 2022).

¹⁰ NOTA: La nomenclatura 4-6-4-6-4 indica los espesores del acristalamiento Vidrio-Cámara-Vidrio Cámara-Vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior.

Este apartado se enfocará en la categoría de cubierta plana debido a que el 67% del parque edificado de viviendas español corresponde a edificios plurifamiliares de cubierta plana, según el Censo del 2011 (Ministerio de Fomento, 2014). Además, el edificio utilizado como caso de estudio (detalles en capítulo 4) es de cubierta plana.

Las cubiertas planas pueden clasificarse de distintas maneras (IDAE 2022):

Por su ventilación:

- Cubierta ventilada o fría: es la que tiene una cámara de aire entre la estructura y la capa de protección exterior, cuya cámara debe tener aire circulando para generar el efecto de ventilación, y de esta forma, enfriar el aire.
- Cubierta caliente: no hay cámara de aire, de forma que la impermeabilización y el aislante descansan directamente sobre el soporte.

Por la disposición del aislante:

- Cubierta plana convencional: es la cubierta tradicional, cuya impermeabilización se coloca muy próxima a la última capa y encima del aislante térmico.
- Cubierta plana invertida: su nombre se debe a que el aislante térmico se coloca inverso a la cubierta convencional, estando encima de la lámina de impermeabilización, más próximo a las últimas capas.

Por su uso:

- Cubierta transitable: son aquellas cubiertas preparadas para el tránsito de personas habitual, e incluso para el tránsito de vehículos.
- Cubierta no transitable: no son de uso peatonal, de forma que solo se accede a ellas para trabajos de reparación y mantenimiento.

Por su acabado:

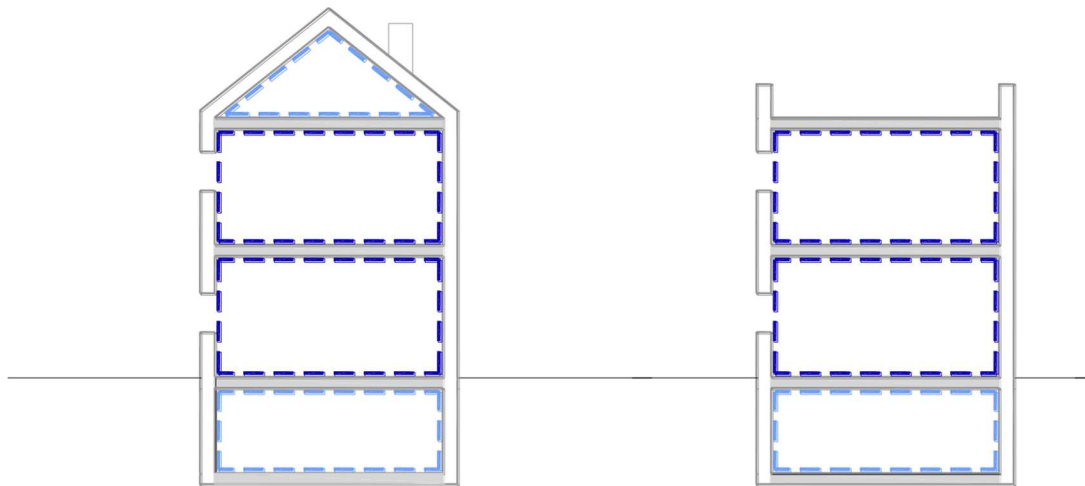
- Cubierta ajardinada: la cubierta soporta una capa de sustrato con vegetación. La capa vegetal contribuye al aislamiento térmico del edificio, a descontaminar las zonas urbanas y evita las islas de calor.
- Cubierta con protección de grava: en la que se extiende una capa de grava encima de la impermeabilización para protegerla del sol y de la succión del viento.
- Cubierta pavimentada: puede estar compuesto de pavimento flotante, filtrante, o baldosa colocada de forma tradicional.

A pesar de la amplia diversidad de cubiertas que pueda haber, de acuerdo con el proyecto de investigación "Sistemas de rehabilitación energética para edificios de uso residencial" (Universidad Politécnica de Madrid 2020) las cubiertas se suelen rehabilitar de 2 maneras: 1) instalando aislamiento térmico por el exterior; 2) instalando aislamiento térmico por el interior.

En el documento "Guía práctica para la gestión de ayudas a la rehabilitación energética de edificios" que elaboró el IDAE en conjunto con el MITECO (IDAE 2022), se detalla el proceso de rehabilitación de cubiertas con aislamiento por el interior y por el exterior:

- **Aislamiento por el interior**: se suele plantear la incorporación de un trasdosado interior en la cara inferior del forjado, que debería estar adherido y fijado mecánicamente para garantizar la seguridad. En estos trasdosados se recomienda el empleo de lana mineral, lana de madera o corcho por su óptimo comportamiento térmico y acústico. Esta solución plantea el inconveniente de la reducción de altura siendo ésta perjudicial en verano. Por otro lado, será necesario prevenir la posibilidad de que se produzcan condensaciones intersticiales a través de barreras de vapor.

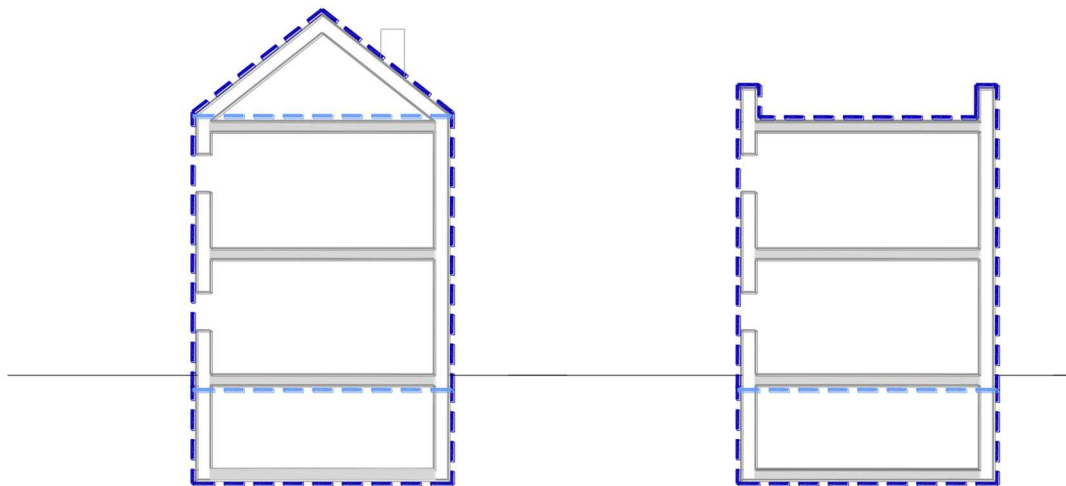
Las desventajas de esta solución es que se considera como una **solución individual** donde cada propietario debe hacerse cargo del aislamiento, sin embargo, no se solucionan las deficiencias del edificio (como los puentes térmicos) o los inconvenientes de humedades o filtraciones de aguas que son propios de los edificios con más de 50 años de uso.



-- Aislamiento opcional dependiendo del uso de estos espacios

Imagen 34 - Esquema posición del aislamiento por el interior. Fuente: IDEA 2022

- **Aislamiento por el exterior:** en las **cubiertas planas** (con pendiente del 0% al 5%), una vez garantizada la impermeabilización, la solución más sencilla es la disposición continua del aislamiento por encima de lo existente sobre la que se coloca un pavimento flotante interponiendo una lámina geotextil adecuada al uso. De forma similar prosigue la colocación de un aislante térmico en placa (el aislamiento de XPS es el más recomendable debido a su gran resistencia mecánica y su buen comportamiento frente al agua). Los materiales de acabado dependerán de su uso (si es transitable o no transitable) y de la climatología del lugar en el que se encuentre la edificación, siendo habitual el uso de acabados cerámicos o pétreos. Esta solución se conoce como “**cubierta invertida**”, lo que quiere decir es que el sistema de aislamiento térmico se dispone sobre la capa impermeable. En el caso de cubiertas planas, se recomienda colocar por encima del aislamiento una pequeña capa de compresión para que al pisarla (aunque sea sólo para mantenimiento) la superficie tenga la suficiente rigidez.



-- Aislamiento opcional dependiendo del uso de estos espacios

Imagen 35 - Esquema posición del aislamiento por el exterior. Fuente: IDEA 2022

En el caso de la cubierta tradicional (no invertida), se puede optar por la demolición de las últimas capas de la cubierta (para limitar el peso propio del sistema) hasta el hormigón de pendiente o hasta el aislamiento térmico, si es que la tuviera, para colocar un mayor aislamiento térmico (sugerido XPS) y luego las capas siguientes de impermeabilización, barrera de vapor, nivelación de pendiente y acabados finales. En cualquier caso, sea cubierta transitable o no, se deberá resolver la continuidad del aislamiento por el perímetro.

En la tabla A del Anejo E “Valores orientativos de transmitancia” (Ministerio de vivienda y agenda urbana 2022) se sugieren **valores orientativos de transmitancia térmica** según la **zona climática** en la cual se ubique el inmueble .

Teniendo en cuenta los valores sugeridos en combinación con catálogos de aislamiento con placas de poliestireno extruido, se pueden determinar los siguientes espesores:

ZONA CLIMÁTICA	ESPESOR (mm)	TRANSMITANCIA TÉRMICA U (w/m ² · k)
Zona climática A	60	0,47
Zona climática B	90	0,33
Zona climática C	140	0,23
Zona climática D	150	0,22
Zona climática E	170	0,19

Tabla 7 - Aislamiento térmico en cubierta sugerida por zona climática . Fuente CTE. DB HE1 Anejo E

La cubierta a rehabilitar será invertida, con un acabado de cerámica y aislamiento térmico con placas de poliestireno extruido (XPS) de 90 mm de espesor, obteniendo una transmitancia térmica total de $U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en el siguiente orden de capas:

- 1) Acabado de cerámica
- 2) Geotextil y membrana
- 3) Aislamiento térmico
- 4) Tela asfáltica
- 5) Hormigón aligerado de pendiente
- 6) Forjado de losa de hormigón de 25 cm
- 7) Enlucido interior

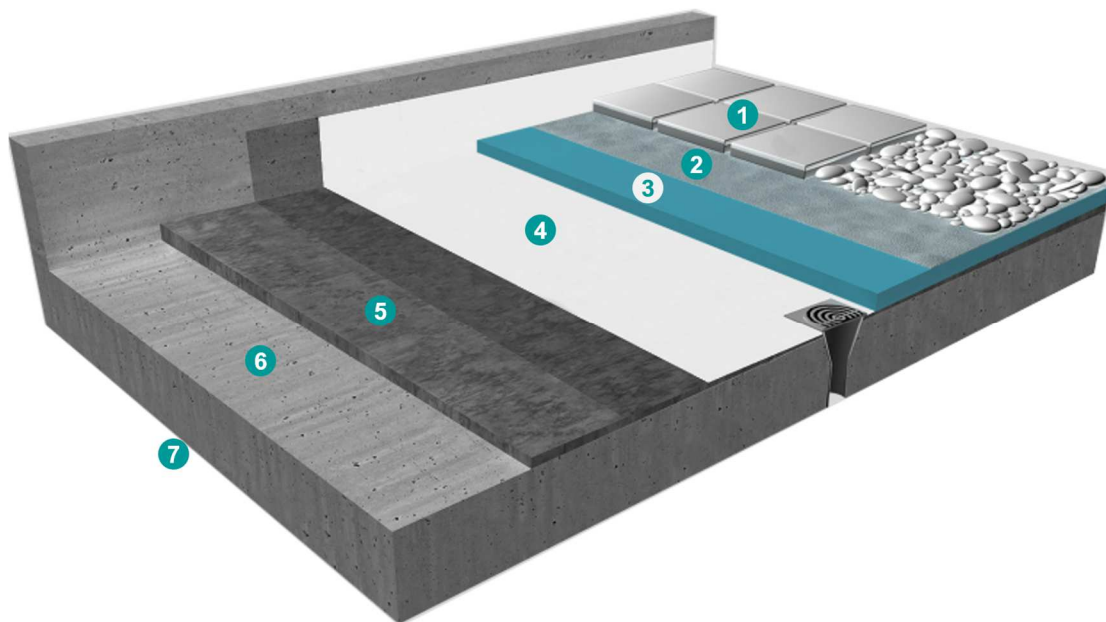


Imagen 36 - Detalle de cubierta invertida por capas. Elaboración propia

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. **METODOLOGÍA**
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



2.7. CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA

Comúnmente la construcción en España se suele distribuir en varias etapas, principalmente éstas están separadas cada 1 ó 2 décadas, de manera de facilitar las estadísticas (CENSO 2021) y diferenciar datos como el volumen construido en el parque español, la cantidad de habitantes y el crecimiento de las ciudades frente al fenómeno de migración local campo-ciudad. La clasificación según el Censo es:

- Anterior a 1900
- Entre 1901-1920
- Entre 1921-1940
- Entre 1941-1950
- Entre 1951-1960
- Entre 1961-1970
- Entre 1971-1980
- Entre 1981-1990
- Entre 1991-2001
- Entre 2002-2011
- Posterior a 2012

Desde la mirada de la certificación energética, **el año de construcción es un dato imprescindible** para tener en cuenta; si bien conocer el periodo de construcción no nos sirve para averiguar la composición exacta de las soluciones constructivas de la envolvente térmica, sí nos puede indicar bajo qué **normativa térmica** se construyó y, por lo tanto, la **transmitancia térmica máxima** exigida que debían cumplir los diferentes cerramientos que integran la envolvente térmica del edificio (Pérez Cobos 2013).

Por esta razón, los programas de certificación energética hacen una segmentación del parque edificatorio por año de construcción. La segmentación más clara es la que se basa en los periodos de aplicación de las diferentes normativas que han regulado las características de la envolvente térmica de los edificios en España, distinguiéndose 3 etapas:

- 1) **Anterior a 1979:** Período anterior a la aplicación de la NBE-CT-79
- 2) **Entre 1980-2006:** Período de aplicación NBE-CT-79
- 3) **Posterior a 2007:** Período de aplicación del CTE.

Es preciso señalar que previo a la NBE-CT-79 (Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los edificios) existieron las Normas MV que comprendieron el periodo de 1957 a 1979, no obstante, las Normas MV no establecieron una **exigencia energética** ni hicieron referencia al diseño de fachadas, cubiertas o carpinterías, sino que se normó las cargas estructurales, zonas sísmicas, acciones del viento, entre otros.

2.7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN ENTRE 1960-1980

Este periodo se encuentra enmarcado por la ausencia de una normativa de edificación que solicitase un mínimo de aislamiento térmico en las viviendas. Recién en el año 1979 aparece el **NBE-CT-79**, señalada en capítulos anteriores, que estableció un condicionamiento térmico mínimo en la construcción. A esto se debe que el periodo anterior a 1979 se conozca como el “**periodo prenормativo**” y es caracterizado por la **falta de aislamiento térmico** en las edificaciones.

La construcción en España gozó de un **gran auge en las décadas del 60 y 70**. Durante este periodo se edificó el **31%** del actual parque edificado español (8.663.516 viviendas), tal como se señaló anteriormente (capítulo 2.2 apartado “Parque edificado de España”). Este boom inmobiliario conllevó una serie de deficiencias arquitectónicas que actualmente están teniendo repercusiones, principalmente debido a la **construcción de viviendas de bajo coste** y la **ausencia de una normativa energética**.

Las actuales consecuencias de una edificación económica es que **las viviendas están solicitando una alta demanda de recursos** para climatizar sus espacios interiores debido a la **deficiente calidad de la envolvente** y la **falta de aislamiento térmico**. Por otro lado, esas viviendas se encuentran lejos de las exigencias actuales de la normativa vigente en España, por lo que, una futura y necesaria rehabilitación implicará un alto costo económico.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS PRENORMATIVOS

En términos generales, un **edificio tipo prenormativo** de la década del 60 y 70 se caracteriza por los **aspectos técnicos** de los materiales que se han empleado en los muros, tabiques, cubiertas, forjados y ventanas. En el libro "Certificación energética en edificios existentes: criterios para la identificación de la envolvente térmica" (Pérez Cobos 2013) el autor aunó criterios que establecieron **tipologías de edificios** según el periodo de construcción, caracterizando a las edificaciones del **periodo 1960-1980** de la siguiente manera:

Muros de fachada: Muros de dos hojas de grueso total aproximado de 30 cm, con la hoja exterior de fábrica de ladrillo macizo perforado de 14 cm de espesor, cámara de aire sin ventilar de 10 cm aproximadamente y hoja interior de fábrica de ladrillo hueco sencillo de 4 cm de espesor con enyesado de acabado interior y exterior revocado o ladrillo de fábrica vista.

Medianeras: Se observan 2 tipos de muro medianeras, con tabique pluvial o doble muro, y tabique simple. A) Con tabique pluvial: Muro de dos hojas de grueso total aproximado de 30 cm, formado por una hoja exterior de ladrillo hueco sencillo de 5 cm sin revestir, una cámara de aire ligeramente ventilada de 10 cm y una hoja interior de fábrica de ladrillo perforado o ladrillo hueco doble "tochana" de 14 cm de espesor, enyesada por la cara interior. B) Sin tabique pluvial: Muro de una hoja de grueso total aproximado de 15 cm de fábrica de ladrillo perforado o ladrillo hueco doble "tochana" de 14 cm de espesor, enyesada por la cara interior.

Patios interiores: Muro de una hoja de grueso total aproximado de 15 cm de fábrica de ladrillo perforado o hueco doble "tochana" de 14 cm, revocado por el exterior y enyesado por el interior.

Cerramientos verticales interiores: Muro de una hoja de grueso total aproximado de 15 cm a 10 cm, de fábrica de ladrillo perforado de 14 cm o de fábrica de ladrillo hueco doble "tochana" de 14 cm o de 9 cm de espesor, enyesado por ambas caras.

Cubierta: En este período comienza a imponerse la solución de cubierta no ventilada con hormigón aligerado. Se aprecian 2 tipos de cubiertas: A) No ventilada: Pavimento de doble capa de rasilla cerámica, sobre capa de mortero de 4 cm, tela asfáltica, capa de mortero de mortero de 4 cm, hormigón aligerado de pendientes 7 cm aproximadamente, forjado unidireccional de vigueta de hormigón con casetón cerámico de 25 a 30 cm de espesor total y enyesado por la cara inferior. B) Ventilada: Pavimento de doble capa de rasilla cerámica, cámara de aire ventilada de espesor 30 cm aproximado, forjado unidireccional de vigueta de hormigón con casetón cerámico de 25 a 30 cm de espesor total y enyesado por la cara inferior.

Forjado tipo: Pavimento de terrazo sobre capa de mortero forjado unidireccional de vigueta de hormigón con casetón cerámico de 25 cm a 30 cm de espesor total y enyesado por la cara inferior.

Solera: Pavimento de terrazo sobre capa de mortero y solera de 15 cm de hormigón armado sobre encachado de grava de 15 cm.

Ventanas: Se observan 2 tipos de ventanas, la original no rehabilitada y ventanas rehabilitadas. A) No rehabilitadas: Ventanas abatibles o correderas con marco de metálico y vidrio sencillo. B) Rehabilitadas: Una modelo frecuente de sustitución de ventanas que se acostumbra a ver son ventanas correderas con marco de aluminio sin rotura de puente térmico y vidrio con cámara de 4 a 10 mm aproximadamente.

¿Estas características se tienen en cuenta para... los programas, para el objeto de estudio?

3. METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

La metodología usada en esta investigación es el análisis comparativo de las herramientas digitales disponibles y comúnmente usadas para la certificación energética de edificaciones en España.

Se tomará como caso de estudio un edificio de la década del 60 (sin rehabilitar) que tendrá características típicas de las edificaciones prenormativas construidas en España, en representación de muchas viviendas de similares características.

La metodología se aplicará en 2 fases de estudio:

- 1) Fase 1: análisis comparativo en modelo inicial.
- 2) Fase 2: análisis comparativo en simulaciones de rehabilitación.

En síntesis, el objeto de investigación son las herramientas digitales en sí mismas.

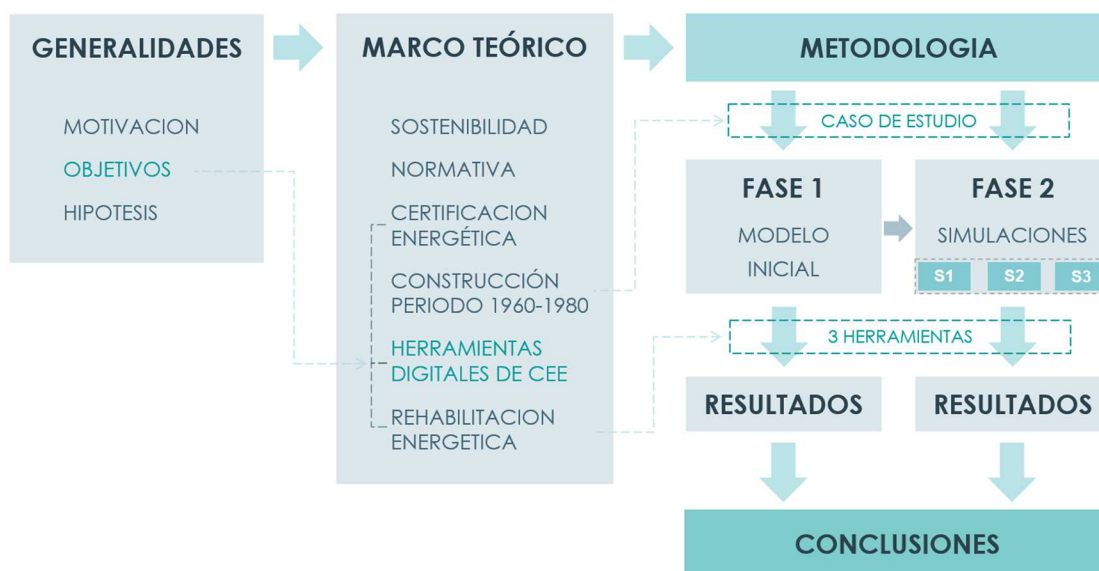


Imagen 37 - Esquema de metodología de estudio. Elaboración propia

3.1. FASE 1: MODELO INICIAL

La primera parte de la investigación se denominará **Fase 1** y consistirá en obtener la certificación energética en el edificio que se tiene como caso de estudio (denominado **modelo inicial**) a través de 3 herramientas digitales (CERMA, HULC y CYPETHERM HE Plus, todas reconocidas por el MITECO), con el objetivo de comparar las aplicaciones entre sí.

En el estudio de las herramientas digitales se analizará:

- **Facilidades y dificultades** en el uso de la herramienta
- **Particularidades** en el ingreso de datos
- **Comparación** de resultados
- **Ventaja comparativa** de la aplicación

3.2. FASE 2: SIMULACIÓN DE REHABILITACIÓN

La segunda etapa se denominará **Fase 2** y consistirá en simular virtualmente eventuales mejoras al modelo inicial a través de las 3 herramientas digitales (utilizadas anteriormente) con el fin de volver a analizar el proceso de calificación energética y comparar los resultados obtenidos en cada herramienta digital.

Se realizarán **3 simulaciones de rehabilitación energética pasiva** sobre la envolvente del modelo inicial (caso de estudio), interviniendo en forma separada e independiente:

- 1) Muros exteriores (fachada)
- 2) Huecos (ventanas)
- 3) Cubierta

Finalmente, se realizará **una cuarta simulación** que será el resultado combinado (1+2+3) de las 3 simulaciones anteriores.

Este proceso se realizará con **cada herramienta digital**, de esta manera se podrán **analizar las ventajas y desventajas** de las diferentes aplicaciones frente a una rehabilitación energética y se **compararán los resultados** obtenidos.

Es necesario precisar que una rehabilitación energética se suele realizar a toda la envolvente en forma conjunta, no obstante, por motivos estrictamente investigativos se realizarán simulaciones a cada parte de la envolvente en forma separada, con el fin de facilitar el análisis de manera independiente de las variaciones que se producen respecto al modelo inicial.

3.2.1. SIMULACIÓN 1: ACTUACIÓN EN MUROS EXTERIORES (S1)

SIMULACIÓN 1: aplicación del sistema SATE, con placas de poliestireno extruido (XPS) de 80 mm de espesor.

Transmitancia térmica $U = 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

3.2.2. SIMULACIÓN 2: ACTUACIÓN EN HUECOS (S2)

SIMULACIÓN 2: sustitución de ventana existente por una ventana con marco de PVC de alta calidad en conjunto con acristalamiento de doble vidrio (4-16-6) con vidrio de baja emisividad y cámara con gas Argón, ambos materiales con la misma transmitancia térmica.

Transmitancia térmica $U = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

3.2.3. SIMULACIÓN 3: ACTUACIÓN EN CUBIERTA (S3)

SIMULACIÓN 3: instalación de aislamiento térmico en cubierta invertida, a través de placas de poliestireno extruido (XPS) de 90 mm de espesor y cerámica de acabado.

Transmitancia térmica $U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

3.2.4. SIMULACIÓN COMBINADA (SC)

SIMULACIÓN COMBINADA: es el resultado final de las 3 simulaciones anteriores combinadas ($SC=S1+S2+S3$) en una propuesta única, equivalente a una rehabilitación energética completa de la envolvente del edificio.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



4. CASO DE ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

El edificio selecto como caso de estudio es un edificio que cumple con las características típicas de una edificación económica del periodo constructivo de los años 1960-1980 denominado prenормativo.

El caso de estudio pretende representar a un amplio número de viviendas construidas en ese periodo en toda España, con pocos recursos y según la normativa de la época. Actualmente, este tipo de viviendas se caracterizan por poseer ventanas de corredera de baja calidad, ausencia de aislamiento térmico en muros y cubierta, dificultades de accesibilidad (falta de ascensor), entre otros.

Hoy en día, las edificaciones con tales características están siendo objeto de estudio para posteriores reformas y rehabilitaciones energéticas.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de un edificio de bloque de viviendas construido en el año 1965, situado entre medianeras. El edificio tiene en la planta baja un local comercial y las 5 plantas superiores están destinadas a viviendas, con 2 viviendas de 69,6 m² por planta, conectadas por una única escalera. No posee ascensor.

4.1.1. EMPLAZAMIENTO

El caso de estudio se encuentra en la ciudad de Valencia, sector Amistad, correspondiente a la zona climática B3, a una altura de 16 metros sobre el nivel del mar.

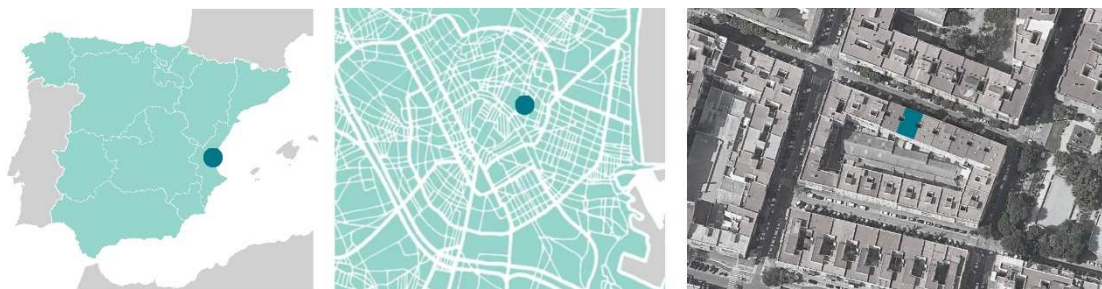


Imagen 38 - Ubicación y emplazamiento del edificio electo como "caso de estudio"

El edificio pertenece a un conjunto de 7 bloques de viviendas de iguales características que se construyó uno al lado del otro. Cada bloque de vivienda es independiente, posee entrada y escaleras independientes entre sí, compartiendo un patio de luz interior en ambos costados laterales, con ventilación hacia las cocinas.

La fachada principal del caso de estudio se encuentra ubicada hacia el norte y la fachada posterior se ubica hacia el sur, mirando las fachadas posteriores de varios bloques de viviendas que cierran el perímetro. Los costados este y oeste se encuentran entre medianeras, con edificios colindantes de similares características (volumen y altura) al caso de estudio.

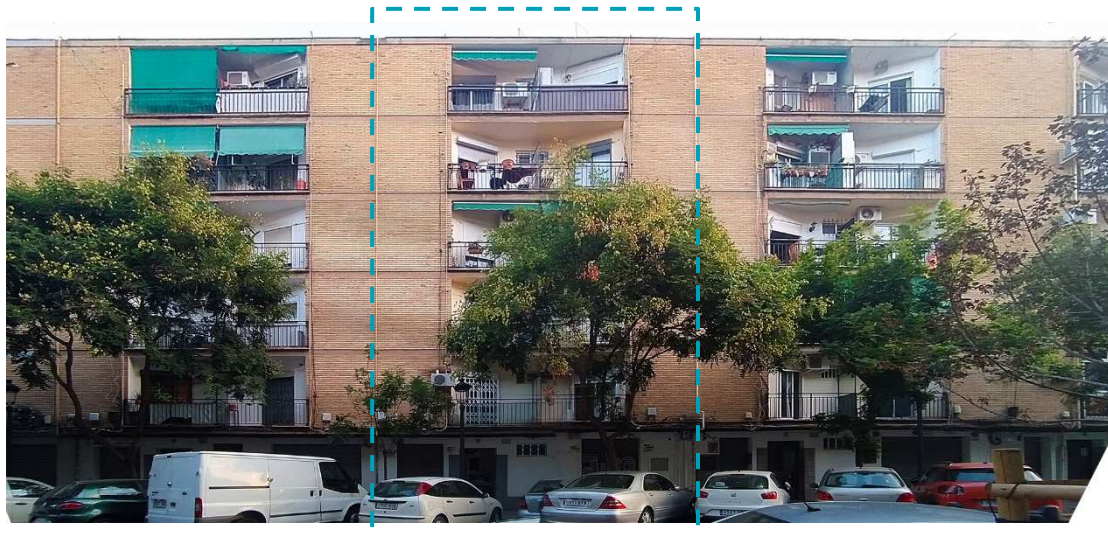


Imagen 39 - Fachada principal. Edificio Caso de estudio



Imagen 40 - Vista a patio posterior. Edificio Caso de estudio

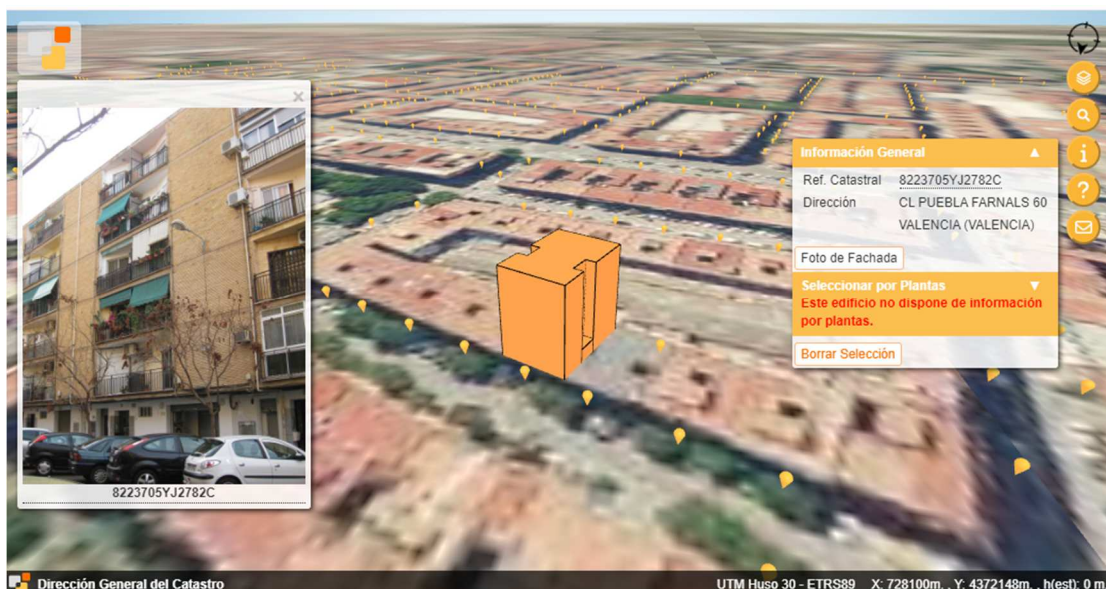


Imagen 41 - Referencia catastral. Visor 3D. Fuente: Sede electrónica del Catastro

4.1.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Las características principales del edificio son:

Superficie total del edificio:	949,67 m ²
Altura total del edificio:	17,00 m
Altura libre de las viviendas:	2,5 m
Distribución por planta:	2 viviendas más escalera
Distribución de la vivienda:	1 salón principal con comedor (16,88 m ²)
	1 distribuidor con pasillo (8,92m ²)
	1 cocina (5,33 m ²)
	3 dormitorios (26,06 m ²)
	1 baño (2,53 m ²)
	1 terraza (1,67 m ²)

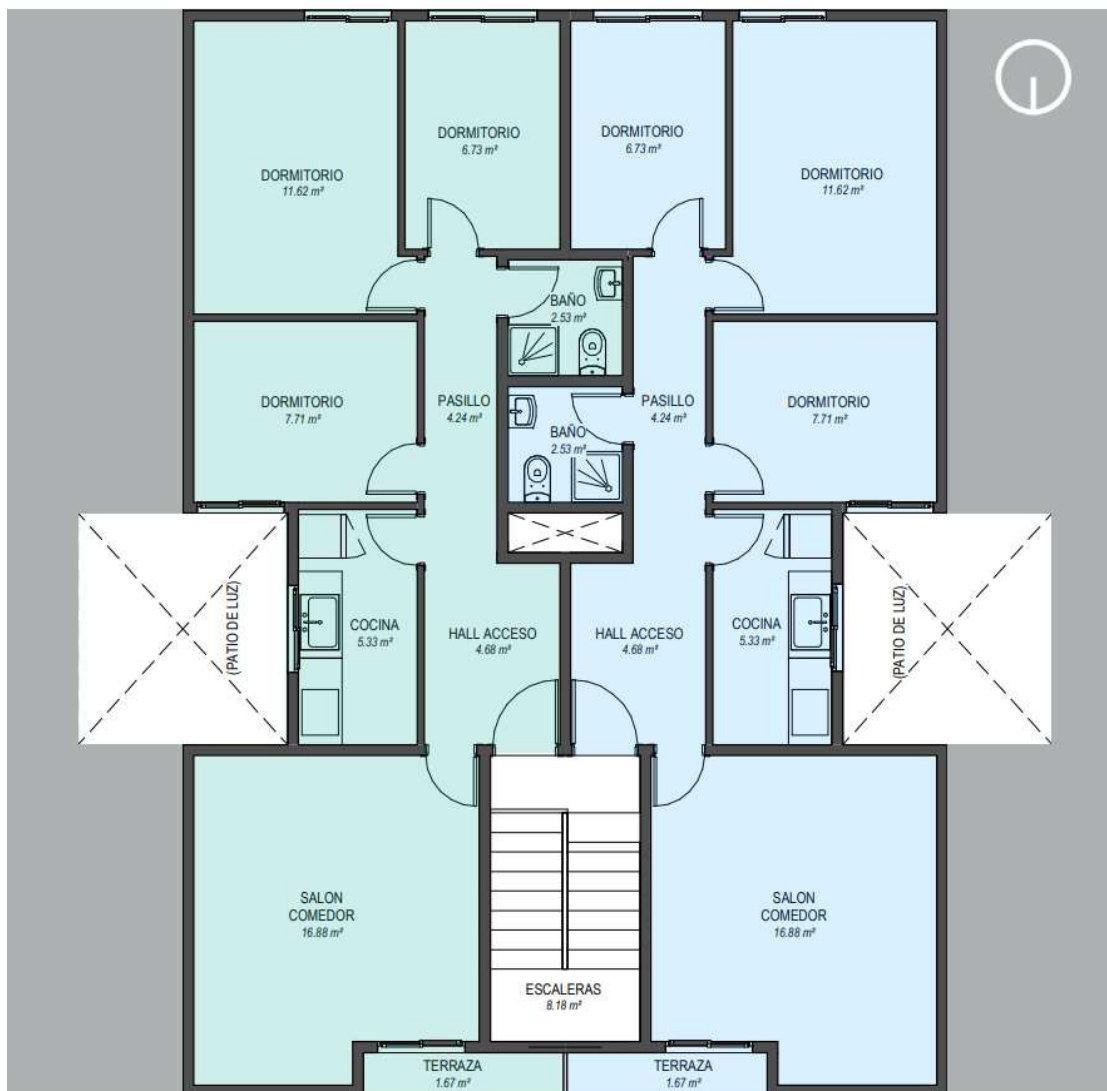


Imagen 42 - Planta general de distribución del edificio. Elaboración propia.

4.1.3. SUPERFICIES

Las superficies del edificio son:

Superficie planta baja:	204,67 m ²
Superficie planta tipo ¹¹ :	149,00 m ²
Superficie por vivienda:	69,60 m ²
Superficie escalera (por planta):	9,80 m ²
Superficie envolvente total:	976,02 m ²
Superficie envolvente medianera:	446,80 m ²
Porcentaje de huecos de la envolvente:	8,54 %
Superficie acristalada total de la envolvente:	79,20 m ²
Porcentaje de superficie acristalada de la envolvente:	8,11 %
Superficie acristalada de la fachada principal (norte):	28,20 m ²
Superficie acristalada de la fachada posterior (sur):	27,00 m ²
Superficie acristalada de los patios interiores (este):	6,00 m ²
Superficie acristalada de los patios interiores (oeste):	6,00 m ²
Superficie acristalada de los patios interiores (norte):	12,00 m ²
Superficie de huecos de planta baja (norte):	4,70 m ²



Imagen 43 - Fachada principal (norte). Imagen virtual del caso de estudio. Elaboración propia.

¹¹ Planta tipo: las plantas 1, 2, 3, 4 y 5 son iguales, teniendo la misma superficie.

IMÁGENES DIGITALES DEL CASO DE ESTUDIO

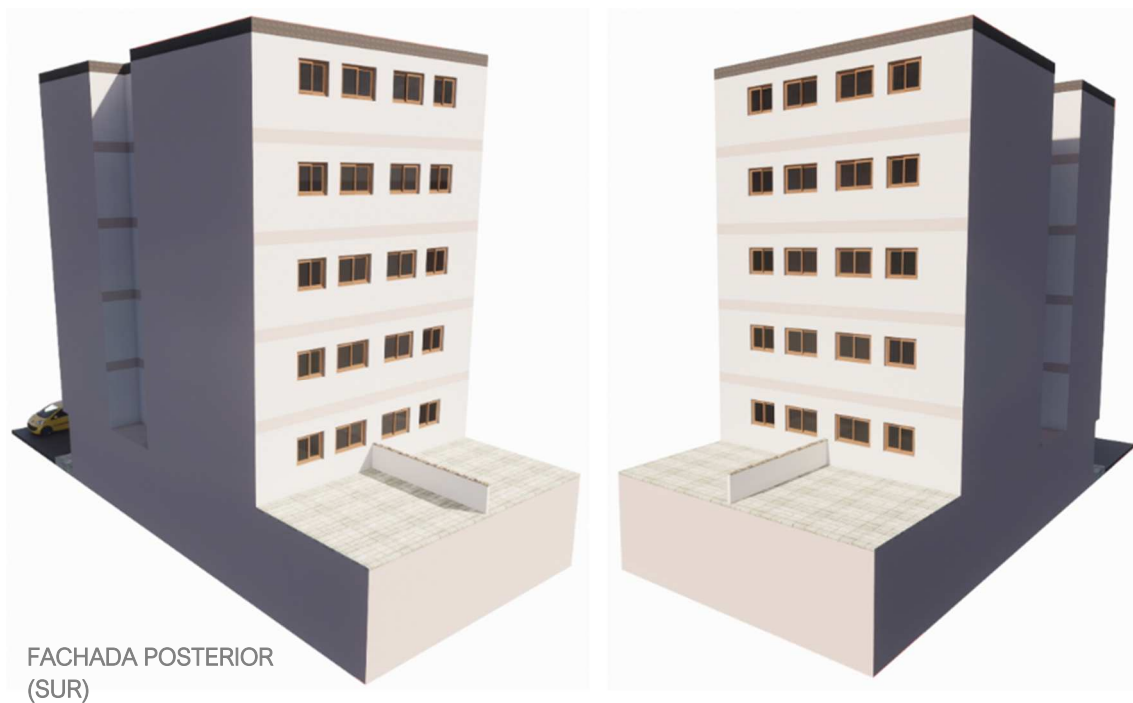


Imagen 44 - Imágenes virtuales del caso de estudio. Elaboración propia

4.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

4.2.1. ESTRUCTURA

La estructura del caso de estudio es una típica construcción de pilares (30x30cm) y vigas de hormigón armado, con forjados de losa de hormigón armado de 25 cm de espesor. Las plantas están cada 2,80 metros de altura entre planta, a excepción de la planta baja que tiene una altura de 3,00 metros.

4.2.2. MUROS Y TABIQUERÍAS

Los muros exteriores son de ladrillo perforado de $\frac{1}{2}$ pie (14 cm) con revoque de cemento en la cara exterior y enlucido al interior. No posee cámara de aire ni aislamiento térmico.

En la fachada principal, el ladrillo se encuentra a la vista sin existir revoque hacia el exterior.

En la fachada posterior, el ladrillo posee revoque hacia el exterior y pintura de terminación.

Los muros medianera son similares a los muros de fachada, están compuestos por ladrillo perforado de $\frac{1}{2}$ pie (14 cm) con revoque de cemento por ambas caras y enlucido. No posee cámara de aire ni aislamiento térmico.

Los tabiques interiores son de ladrillo de 7 cm con enlucido por ambos lados.

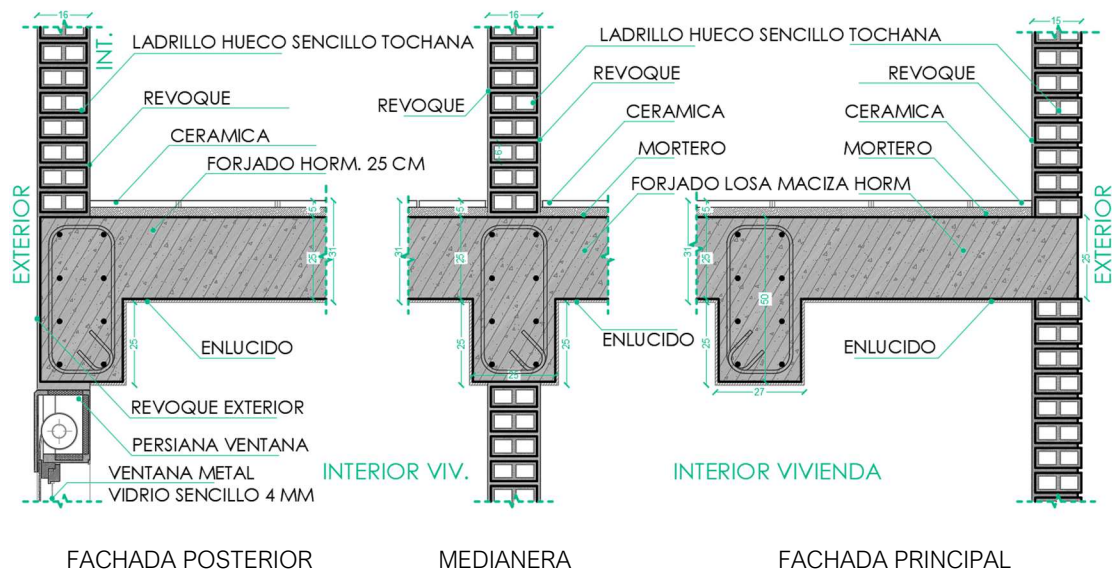


Imagen 45 - Detalle constructivo de muros. Elaboración propia.

4.2.3. HUECOS

Las ventanas son **metálicas**, con marco de aluminio en perfil hueco, de **baja calidad**. El acristalamiento es un vidrio monolítico **sencillo de 4 mm** de espesor. Ventanas de corredera sin rotura de puente térmico (RTP) y con problemas de hermeticidad por el paso del tiempo.

4.2.4. FORJADOS

Los forjados son **losas de hormigón armado de 25 cm** de espesor. La mayoría de los pisos tienen un pavimento de cerámica de terminación (cara superior) y un enlucido por la cara inferior que da directo hacia el piso inferior. El edificio no posee falso techo ni aislamiento térmico entre pisos. El borde del forjado da directo hacia el exterior, facilitando un puente térmico.

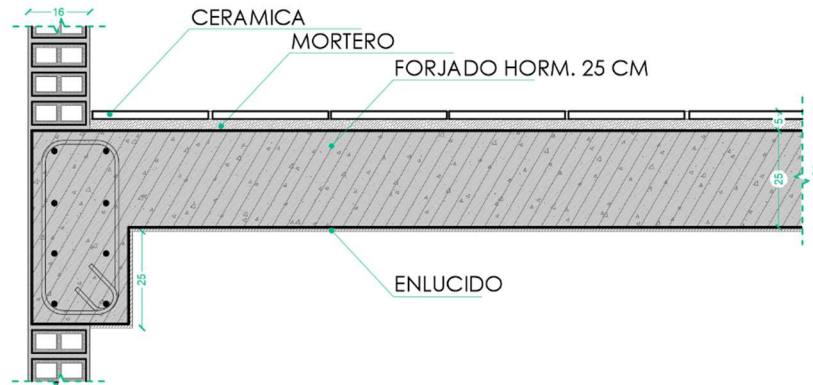


Imagen 46 - Detalle constructivo de forjado. Elaboración propia

4.2.5. CUBIERTA

La cubierta es convencional plana no transitable, de forjado con **losa de hormigón armado de 25 cm** de espesor. Luego tiene una capa superior de hormigón de pendiente, tela asfáltica como impermeabilizante y un acabado en baldosas de cerámica. Por la cara inferior está enlucido colindando directo hacia el piso inferior. El edificio no posee falso techo ni aislamiento térmico.

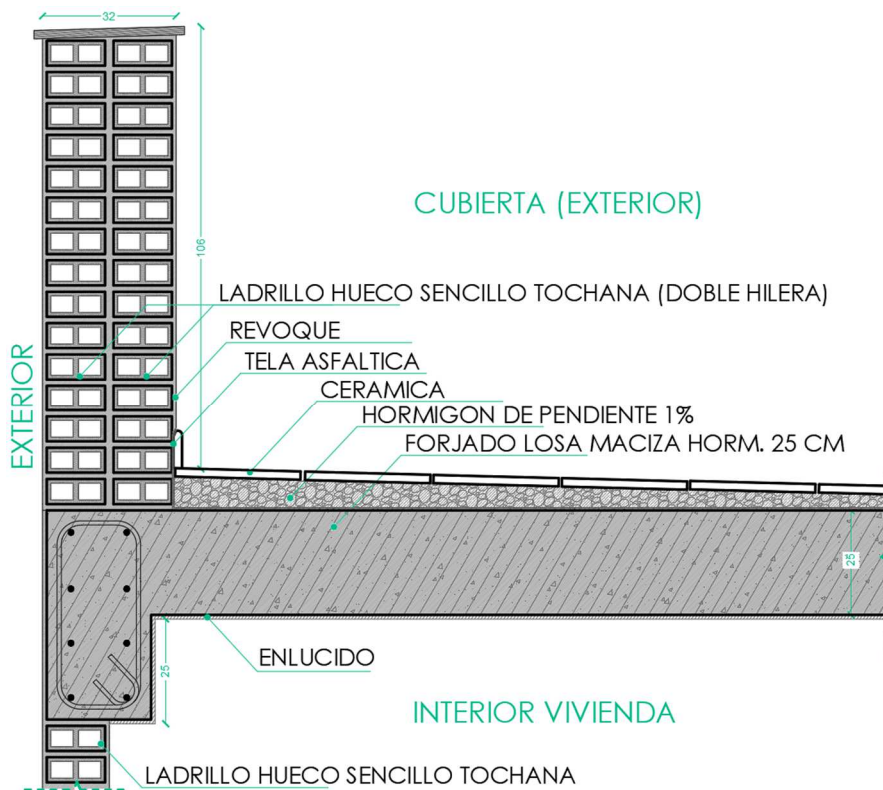


Imagen 47 - Detalle constructivo de cubierta. Elaboración propia

4.3. TRANSMITANCIA TÉRMICA

VALORES REFERENCIALES DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

Para obtener el cálculo energético de un recinto (o una vivienda) es necesario conocer la transmitancia térmica de cada uno de los elementos constructivos que contienen ese recinto (muros, forjados, cubierta, solera y huecos).

Los valores de referencia de la transmitancia térmica que se utilizarán en el edificio “caso de estudio” son valores seleccionados a partir de una tabla de elaboración propia que sintetiza el análisis de diferentes fuentes (indicadas al final de este apartado) estudiadas con el fin de acercarse a un valor pertinente al caso de estudio, valor que será meramente hipotético, toda vez que **cada aplicación digital asignará un valor de transmitancia térmica** conforme a su base de datos interna. En síntesis, los valores U analizados son estrictamente referenciales y solo servirán para comparar con las transmitancias térmicas que cada software determinará.

Este análisis de transmitancias térmicas se debe a que los valores U comúnmente utilizados hoy en día en la construcción que actualmente se ejecuta no se pueden aplicar directamente al caso de estudio, dado que el edificio seleccionado fue construido casi 6 décadas atrás (año 1965), con una técnica constructiva no industrializada y con materiales de menor calidad, sumado el deterioro que ha sufrido en el tiempo (Pérez Cobos 2013).

En consecuencia, el análisis de las transmitancias térmicas pretende reflejar la condición real del caso de estudio, utilizando valores más desfavorables y que consideran el periodo de construcción.

Los valores U utilizados están destacados en negrilla en la siguiente tabla:

ELEM	Libro CEEE*			IVE*	CTE*		
	U (mín) (W/m ² ·K)	U (máx) (W/m ² ·K)	U Promedio	U (W/m ² ·K)	U (mín) (W/m ² ·K)	U (máx) (W/m ² ·K)	U Promedio
A1	2,02	2,18	2,10	1,94	1,25	1,55	1,40
A2	2,02	2,18	2,10	1,89	1,23	1,53	1,38
B1	1,85	2,02	1,94	1,71	1,05	1,31	1,18
B2	1,85	2,02	1,94	2,09	1,35	2,23	1,79
C	1,98	2,16	2,07	1,71	1,02	1,28	1,15
D	-	-	-	2,33	2,54	2,87	2,71
E	-	-	-	2,64	2,37	2,51	2,44
F	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70

Tabla 8 - Comparativa de valores de transmitancia térmica U. Elaboración propia.

(*) Las fuentes utilizadas en la tabla 8 son:

Libro CEEE: Certificación energética en edificios existentes. Capítulo 6 “Características de la envolvente térmica del parque edificatorio”. Apartado 1.3 Edificio prenormativo de los años 60 y 80 (Pérez Cobos 2013).

IVE: Catálogo de Elementos Constructivos del IVE de aplicación web (IVE, Generalitat Valenciana 2012)

CTE: Cálculos propios según el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE y aplicación web (Ministerio de vivienda et al. 2008)

En resumen, los valores referenciales de transmitancia térmica U ($W/m^2 \cdot K$) serán:

	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	MATERIAL	espesor (cm)	U ($W/m^2 \cdot K$)
A1	FACHADA PRINCIPAL (15 cm)	Ladrillo** de 13 cm	13	2,18
		Enlucido interior	2	
A2	FACHADA POSTERIOR (16 cm)	Mortero de cemento	1,5	2,18
		Ladrillo** de 13 cm	13	
		Enlucido interior	1,6	
B1	TABIQUE INTERIOR 1 (15 cm)	Enlucido interior	1,6	2,02
		Ladrillo** de 13 cm	13	
		Enlucido interior	1,6	
B2	TABIQUE INTERIOR 2 (7cm)	Enlucido interior	1,6	2,09
		Ladrillo** de 4 cm	4	
		Enlucido interior	1,6	
C	MEDIANERA (16 cm)	Enlucido interior	1,6	2,16
		Ladrillo** de 13 cm	13	
		Enlucido interior	1,6	
D	CUBIERTA (40 cm)	Pavimento de cerámica	1	2,33
		Adhesivo cerámica 2 cm	2	
		Tela asfáltica	0,5	
		Hormigón aligerado de pendiente	7	
		Forjado losa maciza de hormigón	25	
		Enlucido interior	1,6	
E	FORJADO (30cm)	Pavimento de cerámica	1	2,64
		Adhesivo cerámica 2 cm	2	
		Forjado losa maciza de hormigón	25	
		Enlucido interior	1	
F	VENTANA	Aluminio (marco de perfil hueco)	-	5,70
		Vidrio sencillo monolítico	0,4	

Tabla 9 - Valores de transmitancia térmica U de los elementos constructivos del caso de estudio. Elaboración propia

(**) Ladrillo hueco sencillo tochana

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



5. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL

INTRODUCCIÓN

En esta fase se obtendrá el “modelo inicial” (MI), denominación que tendrá la calificación energética (CAE) inicial que se hará al caso de estudio. Cada herramienta digital obtendrá un modelo inicial (MI) y los resultados se definirán (y abreviarán) por una nomenclatura de 2 letras (que distinguirá a cada aplicación) acompañada de la nomenclatura “MI” (modelo inicial), de esta forma se distinguirá la aplicación utilizada en cada modelo.

Los resultados obtenidos en el modelo inicial (MI) son importantes porque se usarán como punto de partida en las simulaciones de la fase 2, y a la vez, como referencia para comparar los resultados que se irán obteniendo en cada simulación de la fase 2.

NOMENCLATURA

Con el fin de facilitar la redacción del estudio realizado, se codifican las palabras, conceptos e indicadores usados con amplia frecuencia de la siguiente manera:

CÓDIGO	SIGNIFICADO
MI	MODELO INICIAL
S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1: MUROS FACHADA
S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2: VENTANAS
S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3: CUBIERTA
SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS (S1+S2+S3)
CR	HERRAMIENTA CERMA
CR_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CERMA
HL	HERRAMIENTA HULC
HL_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA HULC
CT	HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS
CT_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CAE	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO
CEE	CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO
ECO2	(INDICADOR) CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIF. EN EMISIONES DE CO2
CEPNOR	(INDICADOR) CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE
DEC	(INDICADOR) DEMANDA DE CALEFACCIÓN
DER	(INDICADOR) DEMANDA DE REFRIGERACIÓN

5.1. MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CERMA (CR_MI)

La herramienta digital CERMA es un método simplificado que no recoge un modelo 3D y tampoco trabaja con planos, sino que recopila datos de las superficies de la envolvente, diferenciando entre cerramientos opacos y huecos, orientación y materialidades.

Si bien para la calificación energética con CERMA no se requiere ingresar planos, si es necesario conocer cada una de las superficies del edificio con la respectiva orientación de modo global, lo cual estará determinado por planos que se deben revisar para ingresar la información al software.

En CERMA se pueden diseñar soluciones de cerramientos compuestos por varias capas, permitiendo que el propio programa obtenga automáticamente la transmitancia térmica de un elemento constructivo conforme a las capas que lo compongan.

Se aprecia que las transmitancias térmicas que el programa genera automáticamente son similares a los valores que anteriormente se estudiaron (capítulo 4.4), existiendo una diferencia promedio de un 9,4%, con valores por sobre los estudiados y usados como referencia.

Es importante recalcar que esta herramienta tiene limitaciones en cuanto al ingreso de datos de geometrías más complejas como son los voladizos, pisos escalonados, volúmenes sobresalientes, superficies inclinadas, entre otros. No obstante, el software recoge los datos fundamentales (superficie, orientación, materialidad y obstáculos o sombras) de la envolvente (cerramientos, cubierta y huecos) e instalaciones, simplificando el modelo de cálculo.

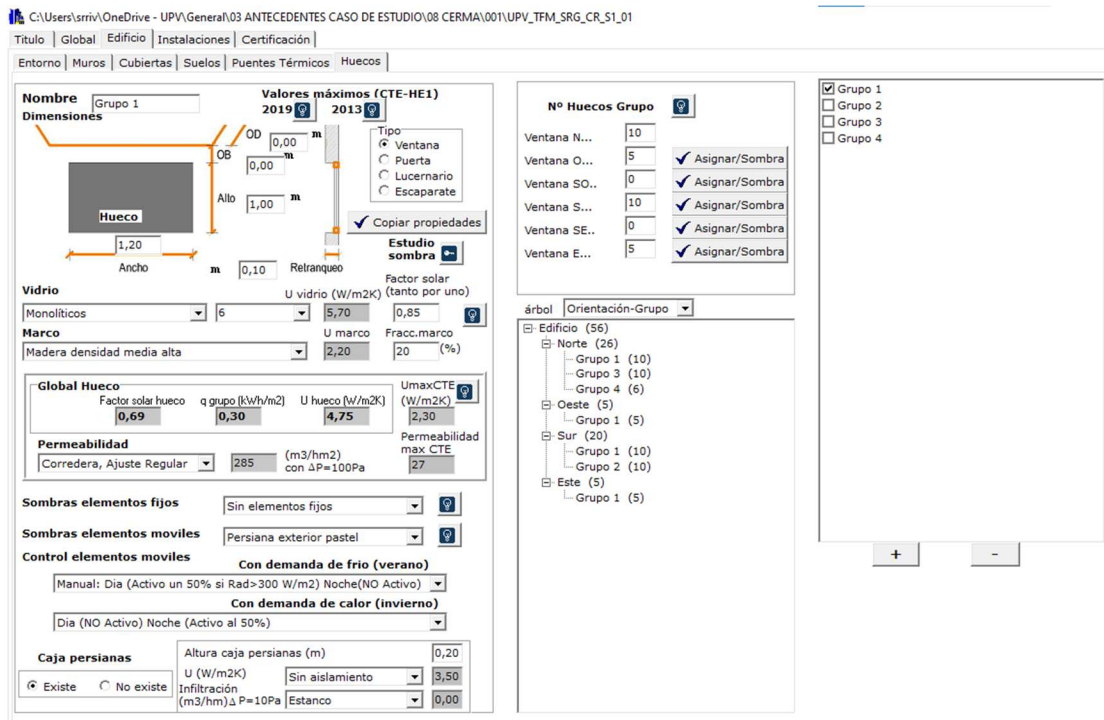
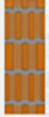


Imagen 48 - Visualización de interfaz de la herramienta digital CERMA

FACHADA PRINCIPAL ($U = 2,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

F9.1 FACHADA PRINC LAD.HUECO 15 CM




U = 2,55 W/m2K
Peso = 171 kg/m2

Aceptar

he= 25,00 W/m2K
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,020 m)
hi= 7,69 W/m2K

FACHADA POSTERIOR ($U = 2,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

F9.1 FACHADA LAD.HUECO 15 CM



U = 2,53 W/m2K
Peso = 194 kg/m2

Aceptar

he= 25,00 W/m2K
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000 (0,015 m)
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 7,69 W/m2K

TABIQUE INTERIOR 15 CM ($U = 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

TAB SIMPLE 15 CM




U = 2,00 W/m2K
Peso = 148 kg/m2

Aceptar

he= 7,69 W/m2K
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 7,69 W/m2K

TABIQUE INTERIOR 7 CM ($U = 2,49 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

TAB SIMPLE 7 CM




U = 2,49 W/m2K
Peso = 40 kg/m2

Aceptar

he= 7,69 W/m2K
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm] (0,040 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 7,69 W/m2K

MEDIANERAS (U = 2,12 W/m²·K)

MEDIANERA 15 CM



U = 2,12 W/m²K
Peso = 205 kg/m²

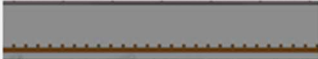
✓ Aceptar

he= 7,69 W/m²K
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000 (0,015 m)
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000 (0,015 m)
hi= 7,69 W/m²K

CUBIERTA (U = 2,59 W/m²·K)

CUBIERTA NO VENTILADA SIN FALSO TECHO DE LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM

CUBIERTA SIMPLE DE LOSA MACIZA H 25CM



U = 2,59 W/m²K
Peso = 880 kg/m²


✓ Aceptar

he= 25,00 W/m²K
Plaqueta o baldosa cerámica (0,010 m)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,024 m)
Cloruro de polivinilo [PVC] + 40% plastificante (0,002 m)
Hormigón con áridos ligeros 1800 < d < 2000 (0,100 m)
Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,250 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 10,00 W/m²K

FORJADO (U = 2,67 W/m²·K)

LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM

Forjado Losa maciza 25 cm



U = 2,67 W/m²K
Peso = 708 kg/m²

✓ Aceptar

he= 5,88 W/m²K
Azulejo cerámico (0,010 m)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 (0,020 m)
Hormigón armado d > 2500 (0,250 m)
Placa de yeso o escayola 750 < d < 900 (0,015 m)
Terreno

VENTANAS ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

ACRISTALAMIENTO: VIDRIO SENCILLO MONOLÍTICO DE ESPESOR 4mm

MARCO METÁLICO SIN RPT¹²

Nombre Grupo 1

Dimensiones

OD 0,00 m

OB 0,00 m

Allo 1,00 m

Ancho 1,20 m

Relranqueo 0,10 m

Valores máximos (CTE-HE1)
2019 2013

Tipo
 Ventana
 Puerta
 Lucernario
 Escaparate

Copiar propiedades

Estudio sombra

Factor solar (tanto por uno) 0,85

Vidrio
 Monolíticos 4 5,70

Marco
 Metálico sin rotura puente térmico 5,70 Fracc.marco 25 (%)

Global Hueco
 Factor solar hueco 0,68 q grupo (kWh/m2) 0,07 U hueco (W/m2K) 5,33 UmaxCTE (W/m2K) 2,30

Permeabilidad
 Corredera, Ajuste Regular 207 (m3/hm2) con $\Delta P=100\text{Pa}$ Permeabilidad max CTE 27

Sombras elementos fijos Sin elementos fijos

Sombras elementos móviles Persiana exterior pastel

Control elementos móviles
Con demanda de frío (verano)
 Manual: Día (Activo un 50% si Rad>300 W/m2) Noche(NO Activo)

Con demanda de calor (invierno)
 Día (NO Activo) Noche (Activo al 50%)

Caja persianas
 Existe No existe
 Altura caja persianas (m) 0,20
 U (W/m2K) Sin aislamiento 3,50
 Infiltración (m3/hm) $\Delta P=10\text{Pa}$ Estanco 0,00

PUENTES TÉRMICOS

Se ajustan los puentes térmicos a los valores que vienen por defecto correspondiente al tipo de unión que más se asemeja al caso de estudio.

Caracterización de los puentes térmicos

Puentes térmicos del edificio - características constructivas

Tipo de encuentro con frente de forjado
 Frente de forjado no aislado
 Frente de forjado aislado
 Aislamiento continuo

Puentes térmicos pilares
 Pilar no aislado
 Pilar aislado por el exterior
 Pilar aislado por el interior
 Sin pilares

Tipo de encuentro con jambas de ventanas
 Sin aislamiento en fachada (Termoarcilla)
 Cerramiento cte. hasta la línea de jamba
 Cerr. conforma la jamba al doblar la hoja exterior

Puentes térmicos del edificio - fijar valores
 Puentes térmicos del edificio - valores por defecto de LIDER

Espesor de cada forjado (entre 0,1 m y 0,5 m) 0,25 Anchura pilar 0,30 (m)

Puede consultar la pérdida lineal de un puentes térmicos en:
https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3_Puentes_terminicos.pdf

Longitud de los puentes térmicos (m lineales)

Estimados Facilitados

Forjados	Cubiertas	Suelo ext.	Esq salientes - entrantes	Ventanas	Suelo terreno	Pilares (no en esquinas)					
						N	O	SO	S	SE	E
267	49	0	8	272	0	0	0	0	0	0	0

¹² RPT = Rotura Puente Térmico

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (CR_MI):

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
	36,23	CALEFACCIÓN		ACS		
		Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]		E	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]	
		22,74			10,75	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹		Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]		C		
		2,74				

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	13,48	10046,00
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	22,74	16943,00

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
	187,00	CALEFACCIÓN		ACS		
		Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]		E	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]	
		107,39			63,45	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹		Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]		D		
		16,16				

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN			DEMANDA DE REFRIGERACIÓN		
	85,73		20,84		

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

5.2. MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA HULC (HL_MI)

La herramienta HULC funciona con un modelo 3D que se debe dibujar. Con el fin de facilitar el diseño tridimensional, el modelo inicial (MI) se dibuja en la aplicación Revit de Autodesk, exportando el modelo mediante un archivo de formato IFC a la herramienta CYPE MEP. En CYPE MEP se exporta a CTE2013, en formato "CTEHEXML" leído por HULC. En HULC se revisan todos los parámetros, se define la materialidad y característica de cada elemento constructivo utilizando la base de datos de HULC, con el fin de que adquieran los valores por defecto que asigna HULC. El mismo proceso de definición del modelo se le realiza a los puentes térmicos, asignándole los coeficientes que vienen predefinidos para cada opción de encuentro de materiales donde existan puentes térmicos.

El programa HULC utiliza la base de datos del CTE, en donde aparecen los materiales que componen los elementos constructivos desglosados por capas. Por defecto, el software viene con composiciones de materiales predefinidas, es decir, se encuentran disponibles elementos constructivos con todas sus capas definidas (materialidad y espesor) y ordenadas conforme a los tipos de construcción más utilizados.

En vista de que el caso de estudio propuesto es una construcción de la década del 60' que no posee aislamiento térmico ni muros dobles de cerramiento, se debe fabricar el cerramiento con las mismas capas que componen los muros existentes. Al definir los materiales y espesores que componen los elementos constructivos, el programa HULC asigna automáticamente una transmitancia térmica U según las capas que se detallan.

Se aprecia que estas transmitancias son muy similares a los valores referenciales que anteriormente se estudiaron (capítulo 4.4), existiendo una diferencia promedio de un 7,5%. Los valores que más se acercan son los de cerramiento fachada, con una variación de un 1,8% respecto a las transmitancias usadas de referencia.

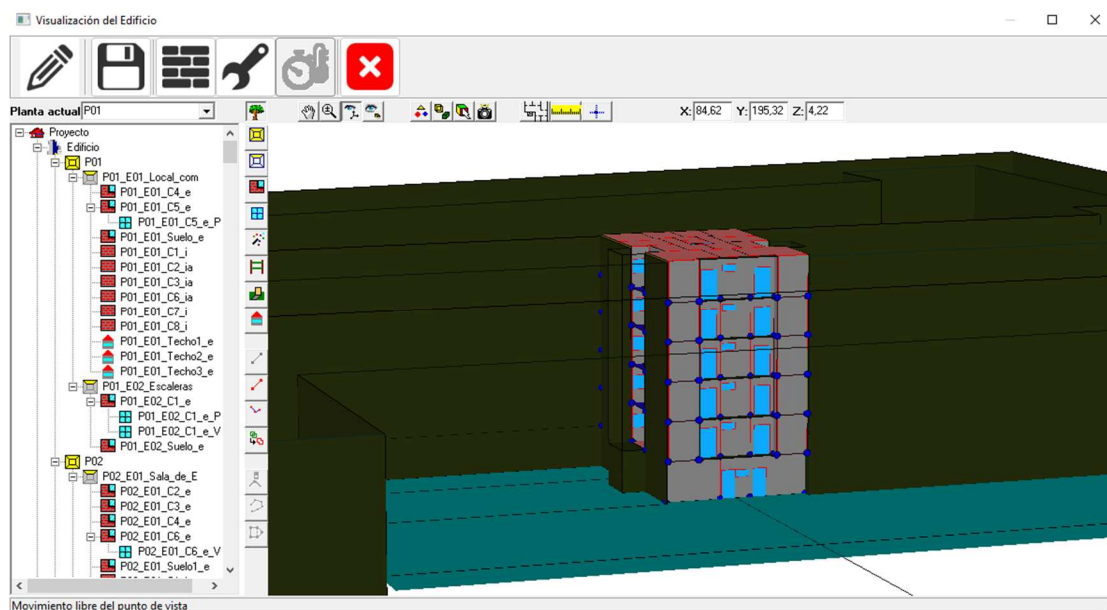


Imagen 49 - Visualización de interfaz de la herramienta digital HULC

CERRAMIENTOS:

FACHADA PRINCIPAL ($U = 2,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)


Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm< G <	0,130	0,512	900	1000	
2	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
3						

Grupo Material: Fábricas de ladrillo
 Material: 1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm< G < 100 mm 0,115 Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 2,22 W/(m²K)



FACHADA POSTERIOR ($U = 2,17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)


Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	1,300	1900	1000	
2	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm< G <	0,130	0,512	900	1000	
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
4						

Grupo Material: Enlucidos
 Material: Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 0,015 Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 2,17 W/(m²K)



TABIQUE INTERIOR 15 CM ($U = 2,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)


Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
2	1/2 pie LP métrico o catalán $80 \text{ mm} < G <$	0,130	0,512	900	1000	
3	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
4						

Grupo Material: Fábricas de ladrillo
 Material: 1/2 pie LP métrico o catalán $80 \text{ mm} < G < 100 \text{ mm}$ 0,130 Espesor (m)

Añadir **Cambiar** Eliminar Subir Bajar

U 2,10 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$



TABIQUE INTERIOR 7 CM ($U = 2,51 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)


Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
2	Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm	0,040	0,228	670	1000	
3	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
4						

Grupo Material: Fábricas de ladrillo
 Material: Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm] 0,040 Espesor (m)

Añadir **Cambiar** Eliminar Subir Bajar

U 2,51 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$



MEDIANERAS ($U = 2,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	1,300	1900	1000	
2	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G <	0,130	0,512	900	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,015	1,300	1900	1000	
4						


Grupo Material: Morteros
 Material: Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000

0,020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 2,24 [W/m²K]
 U_C 2,40 [W/m²K]
 U_S 2,05 [W/m²K]

Aceptar



CUBIERTA ($U_c = 2,71 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

CUBIERTA NO VENTILADA SIN FALSO TECHO DE LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM

Composición del Cerramiento:
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,300	1900	1000	
3	Asfalto	0,005	0,700	2100	1000	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,070	1,000	1525	1000	
5	Hormigón armado d > 2500	0,250	2,500	2600	1000	
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
7						

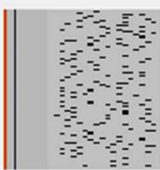
Grupo Material: Cerámicos
 Material: Plaqueta o baldosa cerámica

0,010 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 2,51 [W/m²K]
 U_C 2,71 [W/m²K]
 U_S 2,28 [W/m²K]

Aceptar




FORJADO ($U_s = 2,76 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM

Composición del Cerramiento:
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,300	1900	1000	
3	Hormigón armado $d > 2500$	0,250	2,500	2600	1000	
4	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
5						

Grupo Material
Material Espesor [m]



U_M [W/m²K]
 U_C [W/m²K]
 U_S [W/m²K]

VENTANAS: $U = 6,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

ACRISTALAMIENTO: VIDRIO SENCILLO MONOLÍTICO ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

MARCO METÁLICO: PERFIL METÁLICO VERTICAL SIN RPT¹³ ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

En los ajustes de permeabilidad del aire, las ventanas se ajustan a la Clase 2 de la normativa europea¹⁴ que corresponde a 27 ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$), que es el equivalente a una ventana en regulares condiciones como son las ventanas económicas metálicas de 2 hojas de corredera. Esta opción se encuentra acorde a lo permitido por el CTE¹⁵.

Propiedades

Grupo Vidrio: Vidrios
Vidrio: Sencillo

Grupo Marco: Metálicos en posición vertical
Marco: VER_Normal sin rotura de puente térmico

% hueco cubierto por el marco: 45,30 ¿Es una puerta?

Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: 10,00 %

Permeabilidad al aire: 27,00 m^3/hm^2 a 100 Pa

Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados (g_gl,sh,wi): 0,77

U_H: 6,27 [W/m²K]

Aceptar

PUNTES TÉRMICOS

Se ajustan los puentes térmicos a los valores que vienen por defecto correspondiente al tipo de unión que más se asemeja al caso de estudio.

Opacos | Semitransparentes | Puentes térmicos

Sistema dimensional interior

Tipo puente: Frentes de forjados

Valor por defecto: 0,97 W/mK
Valor dado por usuario: W/mK
Valor dado por catálogo: W/mK

Longitud total: 128,65 Recalcular

Nota: Este valor es estimativo y puede no ajustarse exactamente al caso, por ejemplo si existen fachadas a medianeras o encuentros de cubiertas inclinadas con fachadas. Se recomienda verificar que es correcto.

¹³ RPT = Rotura Puente Térmico

¹⁴ Escala de clasificaciones de la norma europea UNE-EN 12207.

¹⁵ Documento Básico DB HE 1, capítulo 3.1.3 Permeabilidad al aire de la envolvente térmica.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Certificación Existente
----------------	----	-----	-------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	29,83 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emissiones calefacción (kgCO2/m2 año)	E	Emissiones ACS (kgCO2/m2 año)	G
		17,41		10,59	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emissiones globales (kgCO2/m2 año) ¹		Emissiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	B	Emissiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
		1,83		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emissiones CO2 por consumo eléctrico	12,42	8827,94
Emissiones CO2 por combustibles fósiles	17,41	12374,25

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	155,55 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	E	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	G
		82,23		62,53	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año) ¹		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	C	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
		10,79		0,00	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	66,23 F		14,05 D

¹El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

5.3. MEDICIÓN DEL MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_MI)

El software Cypetherm HE Plus es una herramienta que permite la interoperabilidad dentro de las 120 aplicaciones de CYPE. Cypetherm nace de la aplicación CYPEMEEP, manteniendo una enorme eficiencia en la interoperabilidad de ambas herramientas.

Para facilidad del modelado 3D, el modelo inicial se dibuja tridimensionalmente en la aplicación Revit de Autodesk, exportando el modelo mediante un archivo de formato IFC a la herramienta CYPEMEEP, donde se define el edificio en general, los recintos, las características de los cerramientos, los materiales y los espesores. Desde CYPEMEEP se exporta a Cypetherm HE Plus manteniendo las propiedades. En Cypetherm se revisan todos los parámetros, las instalaciones, los puentes térmicos y los recintos.

El programa CYPETHERM tiene una base de datos de materiales interna, que distingue entre un material “genérico” y un material “de una marca específica”, incluyendo precio unitario, fichas técnicas e incluso catálogos de los productos de algunas marcas. En forma adicional, Cypetherm tiene acceso a la base de datos del CTE, de LIDER, de CALENER y de los materiales descritos en la norma UNE-EN ISO 10456, facilitando utilizar un amplio espectro de materiales.

Por defecto, el software viene con composiciones de materiales predefinidas que se suelen utilizar con mayor frecuencia. En el caso de estudio en cuestión se deben fabricar los elementos constructivos (muros, cubierta, forjado) con las mismas capas que lo componen. Al ingresar los materiales, el programa asigna automáticamente una transmitancia térmica U según las capas que se ingresan.

Es importante destacar que los valores U asignados por el programa Cypetherm son menores en un 18,8% (en promedio) respecto a los valores referenciales que anteriormente se estudiaron en el capítulo 4.4, en donde se indicó que los materiales de la época y el paso del tiempo genera desgaste de la edificación, filtraciones de aire y puentes térmicos posiblemente mayores a los de hoy en día. Posiblemente el programa calcula en función de “óptimas condiciones”.

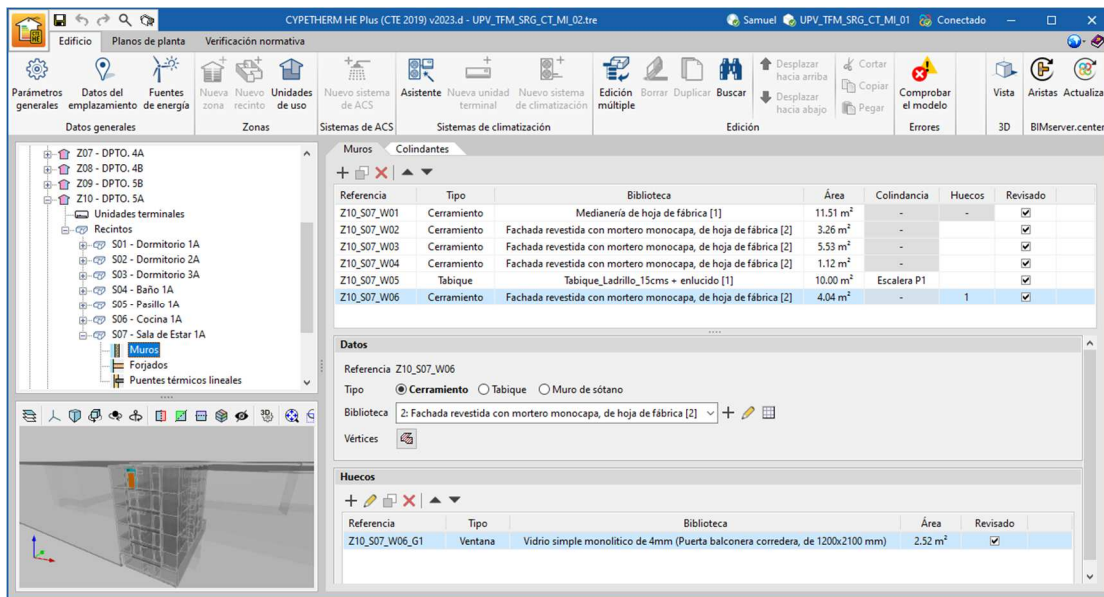
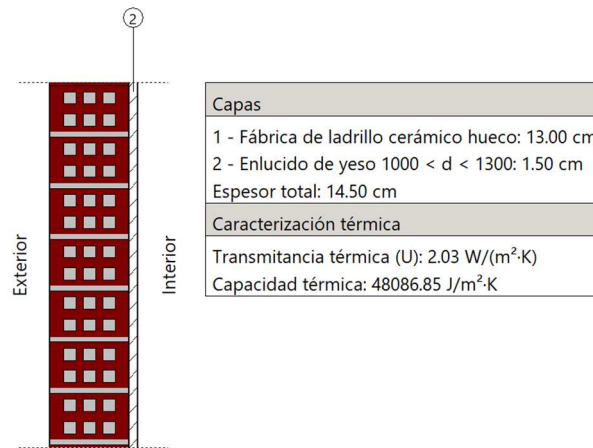


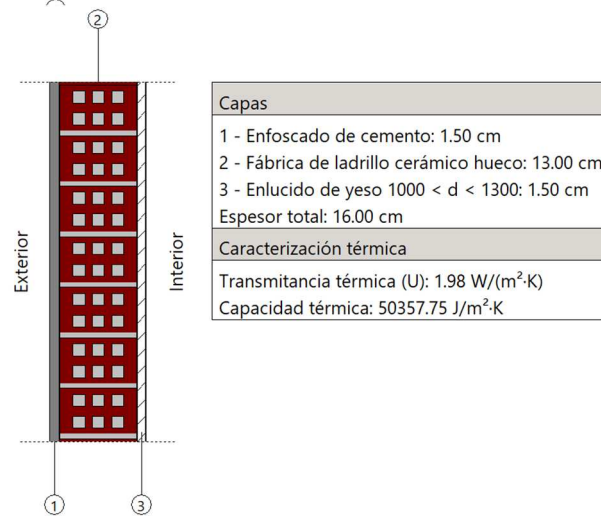
Imagen 50 - Visualización de interfaz de la herramienta digital CYPETHERM HE Plus

CERRAMIENTOS:

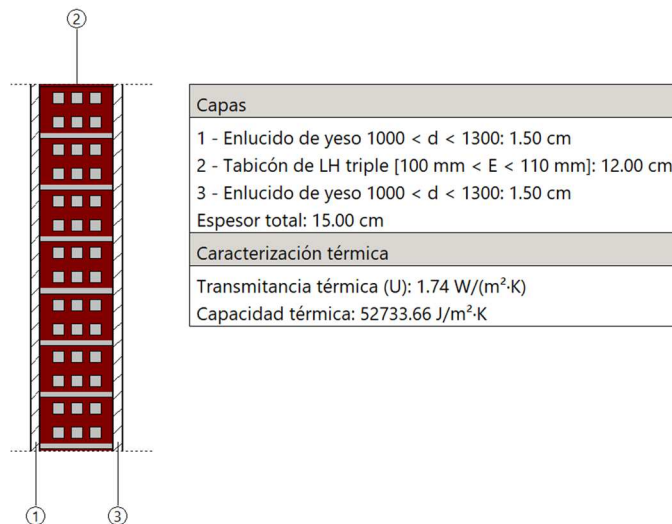
FACHADA PRINCIPAL (U = 2,03 W/m²·K)



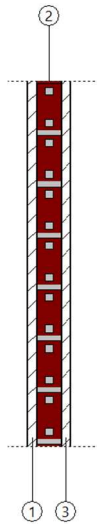
FACHADA POSTERIOR (U = 1,98 W/m²·K)



TABIQUE INTERIOR 15 CM (U = 2,04 W/m²·K)

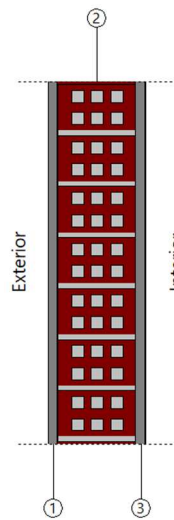


TABIQUE INTERIOR 7 CM ($U = 2,38$ W/m²·K)



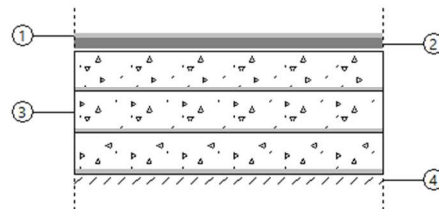
Capas
1 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
2 - Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]: 4.00 cm
3 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
Espesor total: 7.00 cm
Caracterización térmica
Transmitancia térmica (U): 2.60 W/(m ² ·K)
Capacidad térmica: 34509.87 J/m ² ·K

MEDIANERAS ($U = 1,74$ W/m²·K)



Capas
1 - Enfoscado de cemento: 1.50 cm
2 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco: 13.00 cm
3 - Mortero de cemento o: 1.50 cm
Espesor total: 16.00 cm
Caracterización térmica
Transmitancia térmica (U): 1.72 W/(m ² ·K)
Capacidad térmica: 61082.88 J/m ² ·K

FORJADO ($U_{\text{promedio}} = 2,65$ W/m²·K)

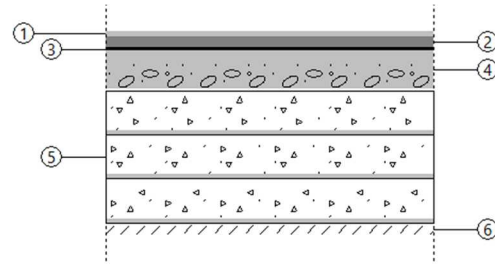


LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM

Capas
1 - Plaqueta o baldosa cerámica: 1.00 cm
2 - Mortero de cemento 1800 < d < 2000: 2.00 cm
3 - Losa maciza 25 cm: 25.00 cm
4 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
Espesor total: 29.50 cm
Caracterización térmica
Forjado superior
Coefficiente de transmisión térmica (refrigeración): 2.03 W/(m ² ·K)
Coefficiente de transmisión térmica (calefacción): 2.84 W/(m ² ·K)
Forjado inferior
Coefficiente de transmisión térmica (refrigeración): 2.84 W/(m ² ·K)
Coefficiente de transmisión térmica (calefacción): 2.03 W/(m ² ·K)
Forjado inferior expuesto a la intemperie
Coefficiente de transmisión térmica (refrigeración): 3.43 W/(m ² ·K)
Coefficiente de transmisión térmica (calefacción): 2.76 W/(m ² ·K)
Capacidad térmica: 159215.07 J/m ² ·K

CUBIERTA ($U_{\text{promedio}} = 1,44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

CUBIERTA NO VENTILADA SIN FALSO TECHO
DE LOSA MACIZA DE HORMIGÓN DE 25 CM



Capas	
1	Plaqueta o baldosa cerámica: 1.00 cm
2	Capa de regularización de mortero de cemento: 2.00 cm
3	Impermeabilización asfáltica monocapa adherida: 0.50 cm
4	Hormigón de pendiente: 7.00 cm
5	Losa maciza 25 cm: 25.00 cm
6	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
Espesor total: 37.00 cm	
Caracterización térmica	
Coeficiente de transmisión térmica (refrigeración): 2.25 W/(m ² ·K)	
Coeficiente de transmisión térmica (calefacción): 2.67 W/(m ² ·K)	
Capacidad térmica: 114660.10 J/m ² ·K	

VENTANAS ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

MARCO METÁLICO: PERFIL DE ALUMINIO HUECO ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

ACRISTALAMIENTO: VIDRIO SENCILLO MONOLÍTICO DE 4 MM ($U = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

Aislamiento térmico:	
Transmitancia térmica: Uvidrio =	5.70 W/(m ² ·K); Ucarpintería = 5.70 W/(m ² ·K)
Transmitancia térmica: U =	5.70 W/(m ² ·K)
Factor solar del vidrio: fsv =	0.88
Factor solar de la carpintería: fsc =	0.09
Factor solar de la ventana: fs =	0.52
(a falta de la corrección por factor de sombra)	
Aislamiento acústico:	
Rw(C;Ctr) del vidrio:	27.0(-1;-1) dB
Apertura deslizante	
Rw(C;Ctr) de la ventana, corregido según EN 14351-1:	25.0(-1;1) dB

Huecos acristalados (Tipo 2)

Referencia: Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)

Fracción acristalada Fracción opaca Accesorios Elementos de sombra Puentes térmicos planos

OBDatabase

Iniciar sesión

tvitec

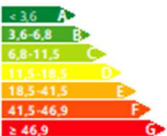
Transmitancia térmica (U) W/(m²·K)

Factor solar

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

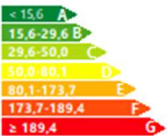
INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
 Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	18.08	12.01
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	1.31	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	16.06	9966.65
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	18.08	11216.29

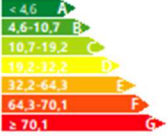

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
 Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	85.37	70.91
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	7.74	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
 Demanda de calefacción [kWh/m ² ·año]	 Demanda de refrigeración [kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no de los valores parciales.

5.4. CUADRO RESUMEN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de la calificación energética del modelo inicial con cada una de las herramientas digitales, se confecciona un **cuadro de resumen** (tabla 10) con los resultados, la **puntuación** obtenida y la **clasificación** en letras de cada indicador.

Los indicadores se subdividen en las 4 categorías de medición que se detallan en los certificados energéticos y que en el presente TFM se han abreviado de la siguiente manera:

ECO2	Indicador de calificación energética del edificio en emisiones de CO ₂
CEPNOR	Indicador de consumo de energía primaria no renovable
DEC	Indicador de demanda de calefacción
DER	Indicador de demanda de refrigeración

NOM.	ECO2		CEPNOR		DEC		DER		PROMEDIO
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	
CR_MI	36,2	E	187,0	F	85,7	G	20,5	D	82,4
HL_MI	29,8	E	155,6	E	66,2	F	14,1	D	66,4
CT_MI	34,1	E	180,2	F	65,5	F	10,0	C	72,5
PROMEDIO	33,4		174,3		72,5		14,8		

Tabla 10 - Cuadro resumen de los resultados de la clasificación energética del modelo inicial

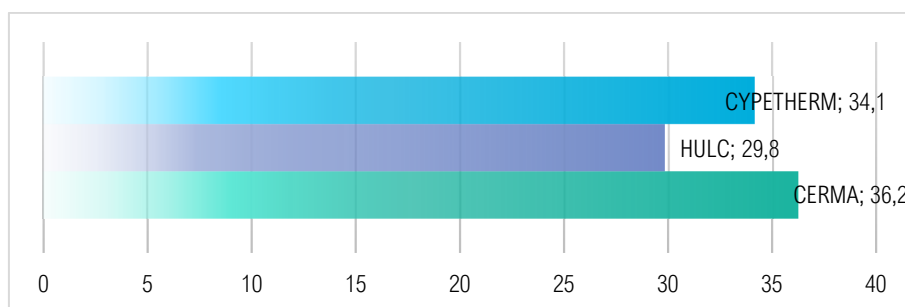


Imagen 51 - Gráfico de resultados del indicador principal ECO2 en el modelo inicial

En la tabla 10 se aprecia que el indicador principal (ECO2: medidor de las emisiones de CO₂) obtuvo la **misma calificación "E"** en las 3 herramientas digitales, pese a que la puntuación del indicador varió 6,4 puntos (equivalente a un 18% de diferencia entre el rango más alto y el más bajo).

En cuanto a los indicadores CEPNOR, DEC y DER, cada herramienta digital arrojó un **resultado diferente**, lo que hace que sea complejo de comparar.

Por otro lado, en la tabla comparativa de resultados se puede apreciar que el programa HULC brinda una mejor puntuación (calificación) y que la aplicación CERMA da el puntaje más desfavorable (menos eficiente).

En general, se podría inferir una calificación conforme al promedio obtenido de las 3 herramientas en cada indicador¹⁶. Bajo esta lógica, el modelo inicial tendría una calificación (en letras) igual a la CAE otorgada por CERMA, a pesar de que los indicadores promedio (números) difieren de la puntuación de CERMA.

¹⁶ En la tabla anterior se encuentran calculados los valores promedios de los indicadores, señalados a los costados de la tabla en color gris.

	ECO2		CEPNOR		DEC		DER	
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE
Promedio	33,4	E	174,3	F	72,5	G	14,8	D

Tabla 11 - Cuadro resumen del promedio de las calificaciones energéticas del modelo inicial

Otro punto importante de destacar en el estudio de la fase 1 es que **cada herramienta digital otorgó una transmitancia térmica a los elementos constructivos** presentes en el modelo inicial conforme a las capas (materialidad y espesor) que se ingresaron.

Frente a esta variación, es posible realizar una comparación de los valores de transmitancia térmica (U) que cada programa calculó en forma automática, y contrarrestar los resultados con los valores referenciales de las transmitancias térmicas estudiadas en el capítulo 4.4.

En la siguiente tabla comparativa se calcula la diferencia que existe entre el valor de transmitancia térmica U referencial y el valor U que arroja cada programa. El cálculo se realiza en porcentaje de diferencia respecto a U referencial.

ELEM.	U (referencia)	U (CERMA)	CR (% de diferencia)	U (HULC)	HL (% de diferencia)	U (CYPETHERM)	CT (% de diferencia)
A1	2,18	2,55	14,5%	2,22	1,8%	2,03	7,4%
A2	2,18	2,53	13,8%	2,17	0,5%	1,98	10,1%
B1	2,02	2,00	1,0%	2,10	4,0%	2,04	1,0%
B2	2,09	2,49	16,1%	2,51	20,1%	2,38	12,2%
C	2,16	2,12	1,9%	2,24	3,7%	1,74	24,1%
D	2,33	2,59	10,0%	2,71	16,3%	2,65	12,1%
E	2,64	2,67	1,1%	2,76	4,5%	1,44	83,3%
F	5,70	4,88	16,9%	6,27	10,0%	5,70	0,0%
			9,4%		7,6%		18,8%

Tabla 12 - Comparación de la transmitancia térmica obtenida por cada herramienta de CEE

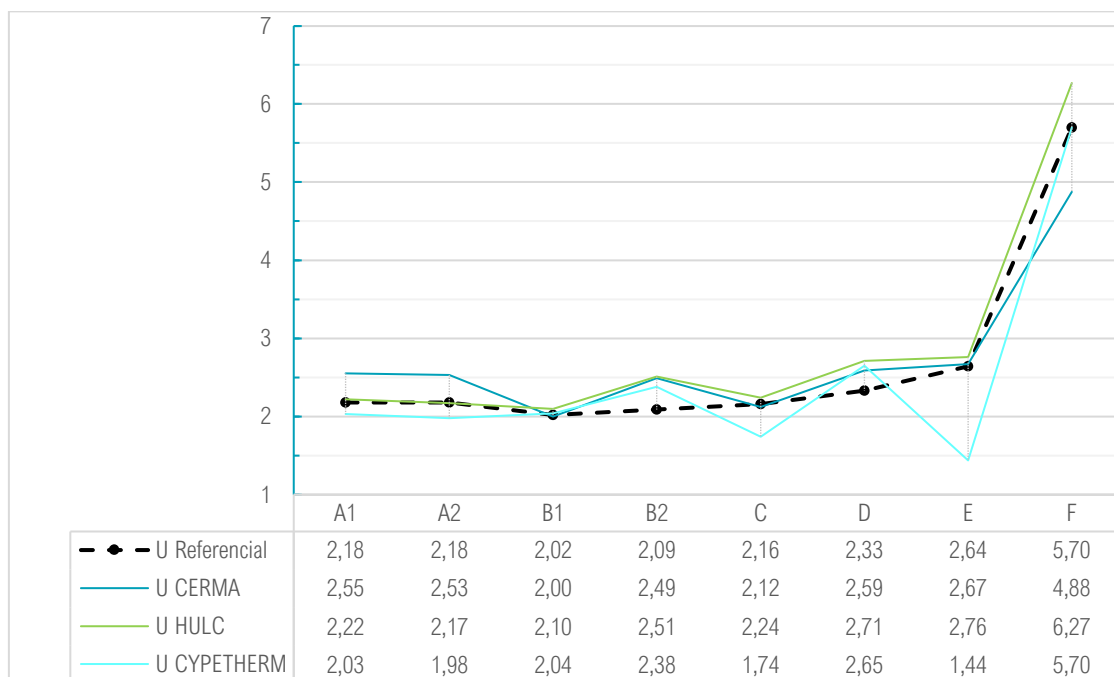


Imagen 52 – Gráfica comparativa de las transmitancias térmicas

En la imagen 52 se pueden ver los diferentes valores de transmitancia térmica que las diferentes herramientas digitales aplican a los elementos constructivos y las variaciones que tienen respecto al valor calculado de U referencial (línea negra), destacándose que los valores de CERMA y HULC se encuentran por sobre la referencia.

En la tabla 12 y la imagen 52 se aprecia que los valores U que más se aproximan a los valores referenciales son los que brinda la herramienta **HULC** con una diferencia del 7,6%.

Los elementos constructivos señalados en la tabla 12 son:

A1	Fachada principal
A2	Fachada posterior
B1	Tabique interior 1
B2	Tabique interior 2
C	Medianera
D	Cubierta
E	Forjado
F	Ventana

Finalmente, cabe destacar que no todos los valores de transmitancia térmica estudiados serán relevantes en la fase 2, dado que solo se intervendrá la envolvente, es decir, los paramentos que tienen contacto directo con el exterior. Los tabiques interiores y forjados quedarán ajenos a intervenir.

5.5. CONCLUSIONES FASE 1: COMPARACIÓN DE USABILIDAD

A la luz del proceso realizado en la fase 1 y de los resultados obtenidos y analizados anteriormente, se pueden establecer las siguientes conclusiones del estudio en desarrollo:

Ventajas y desventajas de las herramientas digitales:

CERMA:

- La herramienta digital **CERMA** presenta las siguientes **ventajas**: es una aplicación **de fácil aprendizaje**, con **facilidad de uso**, que **no requiere conocimientos de modelado 3D**, permite **obtener resultados con rapidez** y de manera **gratuita**. El ingreso de datos está simplificado y se realiza mediante un sistema similar al relleno de un formulario. Los **datos** que CERMA solicita son: las **superficies** del edificio (diferenciando entre opacas y translúcidas), la **orientación** de las fachadas y los **materiales** que componen la envolvente.
- En contraposición, las **desventajas** que tiene CERMA son: **no es posible diferenciar estancias interiores**, **no permite obtener resultados separados** por viviendas, **no se pueden separar las instalaciones** de cada vivienda o en las distintas plantas y el ingreso de datos de edificios con **geometrías complejas no se puede realizar**. Es importante mencionar que el proceso de certificación energética a través de CERMA es la abstracción de un edificio, en donde la edificación es entendida como un gran volumen, sin divisiones interiores ni separaciones entre viviendas ni entre plantas, generando una simplificación extrema de un inmueble.

HULC:

- La herramienta digital **HULC** tiene las siguientes **ventajas**: es una **aplicación gratuita**, la **interfaz es sencilla**, permite operar con **plantillas de dibujo 2D** (de la aplicación AutoCAD) como base, presenta una **base de datos acorde al CTE**, permite **fabricar materiales por capas**, reconoce cada recinto de un departamento y posee una **amplia trayectoria**, facilitando la posibilidad de encontrar **tutoriales de ayuda** y de **softwares complementarios** (plugins).
- Por otro lado, presenta las siguientes **desventajas**: la interfaz es muy **limitada**, la facilidad de uso es de **grado medio alto**, requiere un **conocimiento previo de modelado** tridimensional y demanda un **mayor tiempo de aprendizaje**, existen **muchas dificultades para dibujar** un modelo 3D, presenta **limitaciones frente a geometrías complejas** (superficies curvas o inclinadas, ventanas no rectangulares, u otros elementos singulares que no sean verticales ni rectangulares) y por último, el ingreso de información de las **instalaciones** solo se realiza en **forma global** (para todo el edificio), **impidiendo el ingreso personalizado** por departamento o por planta, lo mismo ocurre con los **resultados del cálculo energético** que no permiten obtener información detallada de las demandas energéticas de cada recinto o de cada departamento, sino que **brinda resultados globales**.

CYPETHERM HE Plus:

- Presenta las siguientes **ventajas**: **permite editar cada parte por separado** (elementos constructivos, recintos, plantas, instalaciones y materiales), facilitando un **trabajo personalizado de cada edificio**, planta o recinto, utiliza **plantillas de dibujo 2D** (de la aplicación AutoCAD) como base, **permite interoperar** con otras aplicaciones del conjunto de CYPE (en especial con CYPEM¹⁷) y con **otros software 3D** en formato IFC (ampliamente utilizado hoy en día en la tecnología BIM¹⁸), tiene **acceso a diferentes bases de datos** (interna de CYPE, del CTE, de LIDER, de CALENER y de los materiales descritos en la norma UNE-EN ISO 10456). Finalmente, se destaca la **emisión de diversos informes** asociados a la certificación energética, como son los Informes de demanda energética, Informe de Consumo energético, Informe de Puentes térmicos lineales, Informe de descripción detallada de materiales y elementos constructivos e Informe de confort interior.
- Por otro lado, presenta las siguientes **desventajas**: es una herramienta digital de pago, la interfaz es **compleja**, tiene una facilidad de uso de **grado medio alto**, demanda un **mayor tiempo de aprendizaje de uso**, requiere un **conocimiento previo de modelado 3D** y existen **limitaciones frente a geometrías complejas** (superficies curvas).

¹⁷ NOTA: es importante mencionar que la herramienta CYPEM¹⁷ es una herramienta de pago.

¹⁸ Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.

Al analizar las 3 herramientas en conjunto se concluye que:

- La herramienta digital **CERMA** es la **aplicación con mayor facilidad de uso** y que permite **obtener resultados con mayor rapidez**.
- **HULC** es la aplicación **más utilizada en España** por su amplia trayectoria, por las prestaciones que brinda y porque es la **única herramienta de modelado 3D gratuita** que reconoce el MITECO.
- **CYPETHERM HE Plus** es la herramienta con mayor control de los 3 programas estudiados, permitiendo controlar por separado todos los elementos, recintos, instalaciones y materiales.

En cuanto a los **resultados obtenidos**:

- En general, se concluye que el edificio “**caso de estudio**” **es energéticamente deficiente**, conforme a todas las calificaciones obtenidas por las herramientas digitales utilizadas. Analizando solamente las calificaciones mediante las (4) letras obtenidas (por: emisiones de CO₂, consumo de energía primaria no renovable, demanda de calefacción y demanda de refrigeración) a través de las 3 aplicaciones, se obtuvieron 12 calificaciones (ver tabla 10) de las cuales: solo **1 calificación supera el rango medio** (letra C), **2 calificaciones se encuentran en la media** (letra D) y las **9 calificaciones restantes se encuentran bajo la media**, llegando a obtener 5 calificaciones en las **2 categorías más bajas**; el resultado es esperado para un edificio de los años 65, construido con pocos recursos y sin normativa energética, que en consecuencia produjo una edificación que no cuenta con aislamiento térmico en ninguno de sus paramentos.
- Al examinar los resultados obtenidos y compararlos entre sí, se concluye que **todas las herramientas digitales de certificación energética otorgaron una misma calificación energética en el indicador principal** (por emisiones de CO₂) de **letra “E”**, pese a la **variación de 6,4 puntos** (equivalente a un **18%** de diferencia entre el rango más alto y el más bajo) entre las aplicaciones CERMA y HULC (respectivamente).
- Según lo estudiado en el capítulo 2.4.2 el proceso de cálculo de la certificación energética se encuentra normado por el Ministerio de Fomento y todos los programas de CEE deben usar las mismas fórmulas, no obstante, es notorio que **cada herramienta digital establece distintos criterios** que les parecen más adecuados y pertinentes (como configuración inicial preestablecida, parámetros por defecto, transmitancias térmicas, entre otros), por lo que los resultados son similares, pero no iguales. De esta manera se entiende que: 1) **las transmitancias térmicas obtenidas en cada herramienta digital son diferentes entre sí** (ver tabla 12), a pesar de que cada elemento constructivo del edificio (caso de estudio) se compone de las mismas capas, tanto en la materialidad como en el espesor; 2) **las 3 aplicaciones hayan arrojado distintos resultados** en los indicadores CEPNOR, DEC y DER.
- De las 3 herramientas digitales utilizadas, la aplicación CERMA calificó al caso de estudio con los resultados **más desfavorables** (menos eficiente), de lo cual se deduce que CERMA, al ser un programa de procedimiento simplificado, aplica una exigencia mayor (o tiene un factor de riesgo elevado) en las calificaciones energéticas para contrarrestar las limitaciones que el proceso simplificado puede presentar.
- En cuanto a las transmitancias térmicas, se concluye que los valores U estudiados y utilizados de referencia solo servirán como **una guía de las transmitancias** o como el punto de comparación entre los valores de U que cada herramienta calcula; en ningún caso las transmitancias térmicas referenciales podrían ser utilizadas en algún software porque **la importancia del estudio radica en comparar los resultados obtenidos a través de los propios recursos** con las que cuentan los programas analizados.
- Finalmente, se concluye que **las diferencias en los resultados obtenidos se deben a 2 factores**: 1) la variación que tienen los **valores de transmitancia térmica** que cada herramienta digital calcula; y 2) los **coeficientes de los puentes térmicos** asignados por cada aplicación. Estos 2 factores son los únicos valores en los que se aprecia que son diferentes en cada herramienta digital; además, ambos tópicos se calculan automáticamente al ingresar la información del edificio a calificar. Los otros parámetros (orientación, zona climática, sombras, instalaciones) son factores en común y no se observan variaciones.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



6. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN

INTRODUCCIÓN

La segunda fase consistirá en simular **mejoras al modelo inicial** calculado en la fase 1 a través de las 3 herramientas digitales aplicadas anteriormente.

Se realizarán 3 simulaciones de **rehabilitación energética** sobre **partes** de la envolvente, en forma independiente, en el siguiente orden: simulación 1 (S1) en muros exteriores; simulación (S2) en ventanas; y simulación (S3) en cubierta.

Finalmente, se realizará una medición que fusionará las 3 variaciones anteriores (S1+S2+S3) logrando un modelo de rehabilitación pasiva de la envolvente con cada herramienta. Este modelo final se llamará simulación combinada (SC).

NOMENCLATURA

Con el fin de facilitar la redacción del estudio realizado, se codifican las palabras, conceptos y expresiones usadas con amplia frecuencia de la siguiente manera:

CÓDIGO	SIGNIFICADO
MI	MODELO INICIAL
S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1: MUROS FACHADA
S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2: VENTANAS
S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3: CUBIERTA
SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS (S1+S2+S3)
CR	HERRAMIENTA CERMA
CR_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CERMA
CR_S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1 CON HERRAMIENTA CERMA
CR_S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2 CON HERRAMIENTA CERMA
CR_S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3 CON HERRAMIENTA CERMA
CR_SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS CON HERRAMIENTA CERMA
HL	HERRAMIENTA HULC
HL_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA HULC
HL_S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1 CON HERRAMIENTA HULC
HL_S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2 CON HERRAMIENTA HULC
HL_S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3 CON HERRAMIENTA HULC
HL_SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS CON HERRAMIENTA HULC
CT	HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS
CT_MI	MEDICIÓN MODELO INICIAL CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CT_S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1 CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CT_S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2 CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CT_S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3 CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CT_SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS CON HERRAMIENTA CYPETHERM
CAE	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO
CEE	CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO
ECO2	(INDICADOR) CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIF. EN EMISIONES DE CO2
CEPNOR	(INDICADOR) CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE
DEC	(INDICADOR) DEMANDA DE CALEFACCIÓN
DER	(INDICADOR) DEMANDA DE REFRIGERACIÓN

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

El detalle de los elementos constructivos que se utilizan en la fase 2 viene determinado por el estudio realizado anteriormente en el capítulo 2.7 de rehabilitación energética de edificios que corresponden a las intervenciones habitualmente aplicadas en fachadas, huecos y cubierta para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones prenormativas. El siguiente cuadro contiene un resumen de los elementos constructivos originales y los materiales modificados o agregados en la rehabilitación energética a realizar.

EC	MATERIAL (modelo inicial MI)	U _{REF} W/m ² ·K	MATERIAL (simulaciones S1, S2, S3, SC)	Espesor mm
A1	Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm	2,18	Revestimiento de acabado	5
	Enlucido interior		Aislamiento térmico XPS 8 cm	80
			Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm	130
			Enlucido interior	20
A2	Mortero de cemento	2,18	Revestimiento de acabado	5
	Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm		Aislamiento térmico XPS 8 cm	80
	Enlucido interior		Mortero de cemento	15
			Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm	130
			Enlucido interior	16
B1	Enlucido interior	2,02	Enlucido interior	16
	Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm		Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm	130
	Enlucido interior		Enlucido interior	16
B2	Enlucido interior	2,09	Enlucido interior	16
	Ladrillo hueco sencillo tochana de 4 cm		Ladrillo hueco sencillo tochana de 4 cm	40
	Enlucido interior		Enlucido interior	16
C	Enlucido interior	2,16	Enlucido interior	16
	Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm		Ladrillo hueco sencillo tochana de 13 cm	130
	Enlucido interior		Enlucido interior	16
D	Pavimento de cerámica	2,33	Pavimento de cerámica	10
	Adhesivo cerámica		Adhesivo cerámica 2 cm	20
	Tela asfáltica		Aislamiento térmico XPS 9 cm	90
	Hormigón aligerado de pendiente		Tela asfáltica	5
	Forjado losa maciza de hormigón de 25 cm		Hormigón aligerado de pendiente 7 cm	70
	Enlucido interior		Forjado Losa maciza de hormigón de 25 cm	250
			Enlucido interior	16
E	Pavimento de cerámica	2,64	Pavimento de cerámica	10
	Adhesivo cerámica 2 cm		Adhesivo cerámica 2 cm	20
	Forjado Losa maciza de hormigón de 25 cm		Forjado Losa maciza de hormigón de 25 cm	250
	Enlucido interior		Enlucido interior	10
F	Aluminio (marco de perfil hueco)	5,70	Marco de PVC de alta calidad (3 cámaras)	-
	Vidrio sencillo monolítico		Vidrio con doble acristalamiento bajo emisivo (composición 4-16-6)	26

La primera columna detalla los elementos constructivos (EC) mediante una codificación propia que corresponde a:

- A1 Fachada principal
- A2 Fachada posterior
- B1 Tabique interior 1
- B2 Tabique interior 2
- C Medianera
- D Cubierta
- E Forjado
- F Ventana

6.1. SIMULACIÓN 1: MUROS EXTERIORES (S1)

La simulación 1 que se realiza consiste en la **intervención de los cerramientos verticales de la envolvente** que se encuentran en contacto con el exterior, a los cuales se les aplica un sistema de aislamiento térmico por el exterior (más conocido como SATE), **con placas de poliestireno extruido (XPS) de 80 mm de espesor**, buscando mejorar la transmitancia térmica de los cerramientos a $U = 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

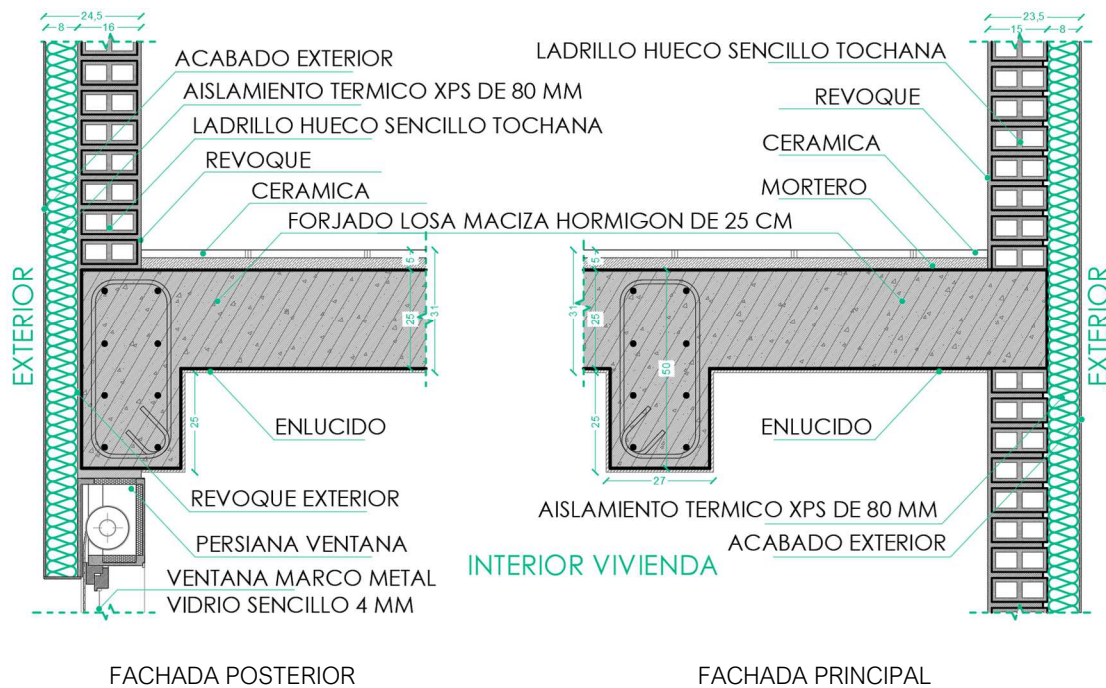
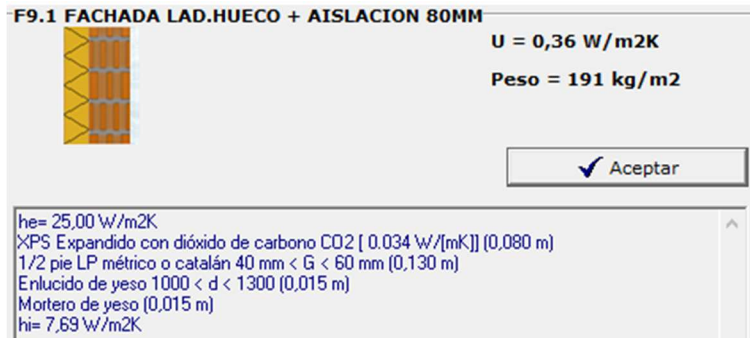


Imagen 53 - Detalle constructivo de muros con aislamiento térmico exterior. Elaboración propia

6.1.1. APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S1)

Se agrega una placa de XPS Expandido de 80 mm (conductividad térmica $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) en todos los muros de fachada que se encuentran en contacto con el exterior, eliminando puentes térmicos que se produzcan entre forjado y fachada.

Una vez aplicada el aislamiento térmico del sistema SATE, se observa que la transmitancia térmica de los muros de fachada disminuye desde $U_{CR_MI} = 2,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{S1} = 0,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. La variación de U es una disminución del 86% de la transmitancia térmica en toda la envolvente vertical.



F9.1 FACHADA LAD.HUECO + AISLACION 80MM

U = 0,36 W/m2K
Peso = 191 kg/m2

✓ Aceptar

he= 25,00 W/m2K
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,080 m)
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
Mortero de yeso (0,015 m)
hi= 7,69 W/m2K

Una vez modificado los cerramientos verticales, se revisan los puentes térmicos asociados a los muros como los frentes de forjado que quedarán aislados térmicamente.


La calificación energética obtenida (indicador ECO2) por el aislamiento térmico de los muros es un 45% mejor que la calificación del MI, no obstante, y a pesar del amplio incremento de mejora, mantiene la misma categoría de calificación (letra E). Los indicadores (CEPNOR y DER) subieron 1 categoría cada uno, de letra F a letra E, y de letra D a letra C; el indicador DEC subió 2 categorías (de G a D). En general, se observa una mejora promedio (de todos los indicadores) de un 48% sobre el MI.

Es importante mencionar que llama la atención que el notorio incremento de eficiencia energética (48% respecto al MI), que repercute en la mejora de 45% del indicador ECO2, no sea suficiente para subir de categoría (letra E).

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES


INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
	E	19,80	CALEFACCIÓN		ACS	
			Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	D	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]	G
			7,38		10,75	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹			Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	B		
			1,68			

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	12,42	9255,30
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	7,38	5495,80



2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
	E	108,17	CALEFACCIÓN		ACS	
			Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	D	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]	G
			34,84		63,45	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹			Energía primaria refrigeración[kWh/m ² ·año]	C		
			9,89			

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	D	27,81	
Demanda global de calefacción [kWh/m ² ·año]			12,75
		Demanda global de refrigeración [kWh/m ² ·año]	

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.1.2. APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S1)

Se agrega en el cerramiento exterior una placa de XPS Expandido de 80 mm en todos los muros de fachada que se encuentran en contacto con el exterior.

Con el aislamiento térmico del SATE aplicado, la transmitancia térmica de los muros de fachada se disminuye desde $U_{HL_MI} = 2,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{S1} = 0,36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

La variación de U es una disminución del 83% de la transmitancia térmica en toda la envolvente vertical.

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
 Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de yeso	0,005	0,800	1500	1000	
2	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [	0,080	0,034	38	1000	
3	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G <	0,130	0,512	900	1000	
4	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
5						

Grupo Material: Morteros

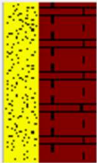
Material: Mortero de yeso

0,005 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 0,36 [W/m²K]
 U_C 0,36 [W/m²K]
 U_S 0,35 [W/m²K]

Aceptar



La calificación energética obtenida en el indicador principal (ECO2) por la instalación de aislamiento térmico en los muros genera una mejoría de un 20% sobre el MI. Se observa que los indicadores principales (ECO2 y CEPNOR) no se ven afectados y mantienen la misma categoría de calificación (letra E). Los otros indicadores (DEC y DER) si subieron 1 categoría cada uno, de letra F a letra E, y de letra D a letra C.

En general, con la intervención de los muros se observa una mejora (promedio de todos los indicadores) de un 20% sobre el MI.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	CertificaciónExistente
----------------	----	-----	------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	E	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	G
	11,46		10,59	
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales (kgCO2/m2 año) ¹	Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	B	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
	1,67		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	12,26	8714,94
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	11,46	8145,26

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	E	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	G
	54,13		62,53	
	REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año) ¹	Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	C	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
	9,86		0,00	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción (kWh/m2año)	Demanda de refrigeración (kWh/m2año)

¹El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

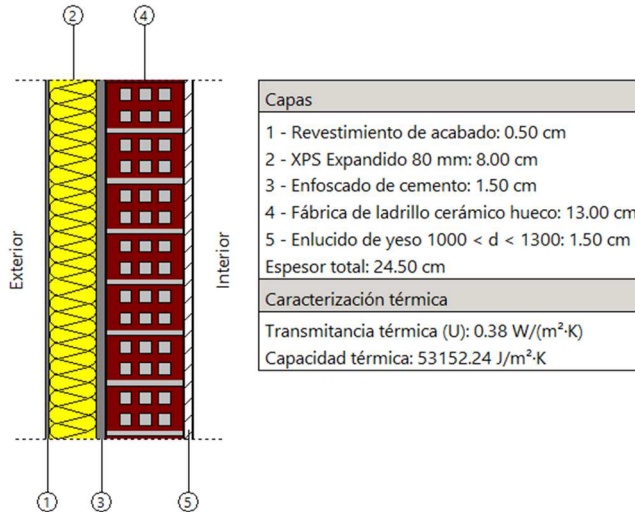
6.1.3. APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S1)

Se aplica una placa de XPS Expandido de 80 mm en todos los muros de fachada que se encuentran en contacto con el exterior, en forma continua.

Con el aislamiento térmico del SATE aplicado, la transmitancia térmica de los muros de fachada se disminuye desde $U_{CT_MI} = 2,03 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{S1} = 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

La variación de U es una disminución del 81% de la transmitancia térmica en toda la envolvente vertical.

Por otro lado, en el modelo CT_01 también se revisan los puentes térmicos, verificando que el sistema de aislamiento térmico por el exterior cubra los forjados, generando una rotura de puente térmico.



CTE DB-HE1

- 1. Suelo en contacto con el terreno
- 2. Frente de forjado
 - Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada
 - Frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada
- 3. Cubierta plana
- 4. Forjado inferior en contacto con el aire exterior
- 5. Esquina saliente
- 6. Esquina entrante
- 7. Alféizar
- 8. Dintel/Capialzado
- 9. Jambas
- 10. Pilares integrados en fachada

Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada

Datos de entrada		Psi
Umuro	0.38 W/m²K	0.127
Espesor forjado	25 cm	

Umuro (W/m²K)	Espesor forjado (cm)		
	25	30	35
0.24	0.08	0.09	0.10
0.27	0.09	0.10	0.12
0.31	0.10	0.12	0.13
0.44	0.15	0.17	0.19
0.73	0.25	0.29	0.33

Referencia	Psi	Valor
1 LFs [G]cubierta plana no transitable, no ventilada, (Losa maciza sola)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.56	CTE DB-HE
2 TFs [G]cubierta plana no transitable, no ventilada, (Losa maciza sola)-[H](180)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.56	Introducido
3 TFmi [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](180)	0.06	CTE DB-HE
4 TFmi [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](180)	0.06	CTE DB-HE
5 TFms [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1](180)	0.06	CTE DB-HE
6 TFms [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](180)	0.06	CTE DB-HE
7 CFi [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[H](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.06	CTE DB-HE
8 CFi [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [3](90)-[H](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.06	CTE DB-HE
9 CFs [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[H](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.06	CTE DB-HE
10 CFs [F]Losa Maciza hormigon 25 cms [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[H](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [3](90)	0.06	CTE DB-HE
11 LWo [B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	0.07	CTE DB-HE
12 LWi [B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)	-0.10	CTE DB-HE
13 LWi [C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2]-[C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2](90)	-	Introducido
14 TWi [B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1](90)-[C]Tabique_Ladrillo_7cms + enlucido [1](180)	-0.10	CTE DB-HE
15 TWi [B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[C]Tabique_Ladrillo_7cms + enlucido [1](180)	-0.10	CTE DB-HE
16 TWr [B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[C]Tabique_Ladrillo_7cms + enlucido [1](90)	-0.10	CTE DB-HE
17 TWr [C]Tabique_Ladrillo_7cms + enlucido [1]-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2](90)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1](90)	0.07	CTE DB-HE
18 TW [C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [1]-[C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2](90)-[C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2](90)	-	Introducido
19 TW [C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2]-[C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [2](90)-[C]Tabique_Ladrillo_15cms + enlucido [1](180)	-	Introducido

En la simulación 1 (CT_S1) la CAE obtenida (indicador ECO2) por el SATE de los muros es un 20% mejor que la calificación del MI; a pesar del incremento de mejora, la calificación energética se mantiene en la letra E. Los otros indicadores (CEPNOR, DEC y DER) subieron 1 categoría cada uno, de letra F a letra E, y de letra C a letra B.

En general, se observa una mejora (promedio de todos los indicadores) de un 21% sobre el MI.

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	11.4	12.01
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	1.15	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	15.90	9863.51
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	11.40	7072.79

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	53.84	70.91
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año]	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	6.76	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción [kWh/m ² ·año]	Demanda de refrigeración [kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.2. SIMULACIÓN 2: HUECOS (S2)

La simulación 2 que se realiza consiste en la **sustitución de las ventanas existentes** en el edificio “caso de estudio” por elementos con una alta eficiencia energética como son las **ventanas con marco de PVC de alta calidad** en conjunto con acristalamiento de **doble vidrio** (de composición 4-16-6 ó similar) con vidrio de baja emisividad y cámara con gas Argón, ambos materiales con la misma transmitancia térmica $U = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

6.2.1. APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S2)

Se seleccionan las ventanas existentes y se sustituyen por las ventanas de mayor eficiencia disponibles según la aplicación, en este caso, ventanas con doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo (menor a 0.03) de composición 4-20-6 ($U = 1,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) y marco de PVC de 3 cámaras con RPT ($U = 1,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

Este conjunto de parámetros arroja una transmitancia térmica total $U = 1,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

The screenshot displays the CERMA software interface for configuring a window. The main window is titled "Grupo 1" and has dimensions of 1,20 m width and 1,00 m height. The configuration parameters are as follows:

Valores máximos (CTE-HE1)	
2019	2013
U vidrio (W/m2K)	1,40
U marco	1,80
U hueco (W/m2K)	1,60
UmaxCTE (W/m2K)	2,30

Other parameters include: Factor solar hueco (0,16), q grupo (0,03 kWh/m2), Permeabilidad (27 m3/hm2), and various control settings for blinds and shutters.

El otro parámetro que se corrige es el puente térmico que existe entre las ventanas y el sobremarco del muro.

Una vez obtenido el certificado energético (CEE) se aprecia que el programa CERMA establece una transmitancia térmica de las ventanas de $U = 1,83 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (promedio), equivalente a una disminución del 62% respecto a la U que tiene el MI.



En cuanto a las calificaciones obtenidas, ninguno de los indicadores sufrió variaciones, manteniendo la misma calificación (letra) en todos los indicadores.

En general, la simulación 2 prácticamente no afectó el indicador ECO2 (1,1%), si generó una mejora en el promedio de los indicadores en un 1,9% respecto al MI.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES



INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
		36,16	CALEFACCIÓN		ACS	
			Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	E	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]	G
			23,25		10,75	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹			Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	B		
			2,16			

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	12,91	9619,40
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	23,25	17320,00





2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
		186,01	CALEFACCIÓN		ACS	
			Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	E	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]	G
			109,78		63,45	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹			Energía primaria refrigeración[kWh/m ² ·año]	C		
			12,77			

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN			DEMANDA DE REFRIGERACIÓN		
		87,64			16,47

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.2.2. APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S2)

En las ventanas se ajustan los parámetros aplicando ventanas de acristalamiento doble bajo emisivo de composición 4-15-6, con marco de PVC de 3 cámaras y una permeabilidad del aire de clase 4 (3 m³/h·m²) equivalente a una ventana de alta eficiencia.

El programa arroja una transmitancia térmica (promedio) de $U = 1,67 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

The screenshot shows the configuration window for a window in the HULC software. The window is titled 'Grupo CYPE' and has the name 'H05_Window'. The 'Propiedades' section includes the following settings:

- Grupo Vidrio: Dobles bajo emisivos <0.03 en posición vertical
- Vidrio: VER_DB3_4-15-6
- Grupo Marco: De PVC en posición vertical
- Marco: VER_PVC tres cámaras
- ¿Es una puerta?:
- Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: 10,00 %
- Permeabilidad al aire: 3,00 m³/hm² a 100 Pa
- Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados [g_gl.sh.wi]: 0,77
- U_H: 1,67 [W/m²K]

An 'Aceptar' button is located at the bottom right of the configuration area.

Se revisan y ajustan los puentes térmicos asociados a las ventanas, según corresponden.

La calificación energética obtenida (indicador ECO2) por la modificación de las ventanas es un leve 4% mejor que la calificación del MI, manteniendo los indicadores ECO2 y CEPNOR.

En general, a pesar del poco impacto de mejora, los indicadores de DEC y DER subieron de categoría (1 letra cada uno respectivamente). En promedio, los indicadores aumentaron en un 4,6% la eficiencia energética del modelo inicial.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	CertificaciónExistente
----------------	----	-----	------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	E	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	G
	16,07		10,59	
Emisiones globales (kgCO2/m2 año) ¹	Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	B	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
	1,87		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	12,46	8858,52
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	16,07	11421,84

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	E	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	G
	75,90		62,53	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año) ¹	Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	C	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
	11,05		0,00	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción (kWh/m2año)	Demanda de refrigeración (kWh/m2año)

¹El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.2.3. APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S2)

Se agregan los valores de transmitancia térmica definidos anteriormente en el apartado de rehabilitación energética de los edificios (capítulo 2.7). El programa CT no permite ingresar los datos de materialidad de marcos de ventana, ni permite indicar el tipo de acristalamiento. El dato que se ingresa es directamente la U (U promedio entre U_{VENTANA} y U_{MARCO}) previamente conocida $U_v = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Esto puede significar un problema cuando solo se sabe la materialidad de la ventana desconociendo la transmitancia térmica U de ese material.

Huecos acristalados (Tipo 3)

Referencia: Ventana corredera, de 1200x1000 mm. PVC

Fracción acristalada Fracción opaca Accesorios Elementos de sombra Puentes térmicos planos

Transmitancia térmica (U) 1.00 W/(m²·K)

Fracción opaca del hueco 0.29

Absortividad 0.40

Acoplamiento entre marco y acristalamiento

Longitud 4.000 m

Transmitancia térmica lineal 0.06 W/(m·K)

Acoplamiento entre marco y paneles opacos o cajón de persiana

Longitud 4.000 m

Transmitancia térmica lineal 0.06 W/(m·K)

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados 0.79

Permeabilidad al aire para una presión de referencia de 100 Pa 9.00 m³/(h·m²)

Aceptar Cancelar

Transmitancia térmica lineal

Transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos o cajón de persiana

Perfil espaciador Con prestaciones térmicas mejoradas

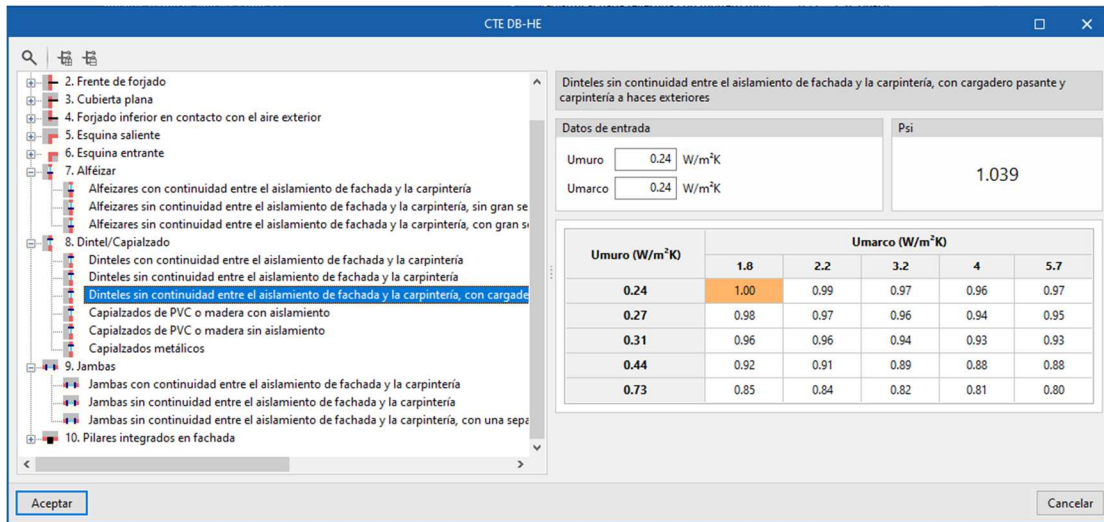
Acristalamiento Doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad

Material del marco Madera o PVC

Transmitancia térmica lineal: 0.06 W/(m·K)

Aceptar Cancelar

Además, se corrigen los puentes térmicos para cada unión de ventanas, para lo cual se utiliza las soluciones del CTE que ofrece Cypetherm a través de un listado con gráficas explicativas y diferentes opciones de unión (ver imagen siguiente); también se ingresan los parámetros U de muros y ventanas, de manera que el programa automáticamente calcule el coeficiente de valoración del puente térmico.



Detalle de los puentes térmicos corregidos en alfeizar, dinteles y jambas de las ventanas:

25	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Puerta balconera corredera, de 1200x2100 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.51	CTE DB-HE
26	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Puerta balconera corredera, de 1200x2100 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	1.04	CTE DB-HE
27	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Puerta balconera corredera, de 1200x2100 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.61	CTE DB-HE
28	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.51	CTE DB-HE
29	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	1.04	CTE DB-HE
30	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.61	CTE DB-HE
31	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [3]	0.51	CTE DB-HE
32	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [3]	1.04	CTE DB-HE
33	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1000x500 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [3]	0.61	CTE DB-HE
34	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	0.51	CTE DB-HE
35	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	1.04	CTE DB-HE
36	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	0.61	CTE DB-HE
37	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.51	CTE DB-HE
38	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	1.04	CTE DB-HE
39	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1200x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.61	CTE DB-HE
40	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	0.51	CTE DB-HE
41	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	1.04	CTE DB-HE
42	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [1]	0.61	CTE DB-HE
43	Wi [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.51	CTE DB-HE
44	Ws [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	1.04	CTE DB-HE
45	WI [K]Vidrio simple monolitico de 4mm (Ventana corredera, de 1500x1000 mm)-[B]Fachada revestida con mortero monocapa, de hoja de fábrica [2]	0.61	CTE DB-HE

La rehabilitación de las ventanas ha generado una disminución del 82% de la transmitancia térmica en las ventanas, pasando de $U_{CT_MI} = 5,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{CT_22} = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

La calificación energética obtenida (indicador ECO2) por la modificación de las ventanas es un leve 6,6% mejor que la calificación del MI, manteniendo la calificación (letra E) junto con el indicador DER.

En general, el promedio de los indicadores mejora en un 5,7%, un porcentaje mínimo pero suficiente para permitir que los indicadores CEPNOR y DEC suban de categoría (de letra F a letra E).

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	15.83	12.01
Emisiones globales[kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	1.29	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	16.04	9952.15
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	15.83	9820.62

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	74.75	70.91
Consumo global de energía primaria no renovable[kWh/m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	7.6	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción[kWh/m ² ·año]	Demanda de refrigeración[kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificio terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no de los valores parciales.

6.3. SIMULACIÓN 3: CUBIERTA (S3)

La simulación 3 que se realiza consiste en la **intervención de la cubierta** con la **instalación de aislamiento térmico** con **placas de poliestireno extruido (XPS) de 90 mm de espesor** y baldosa cerámica de acabado, buscando mejorar la transmitancia térmica de la cubierta a $U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

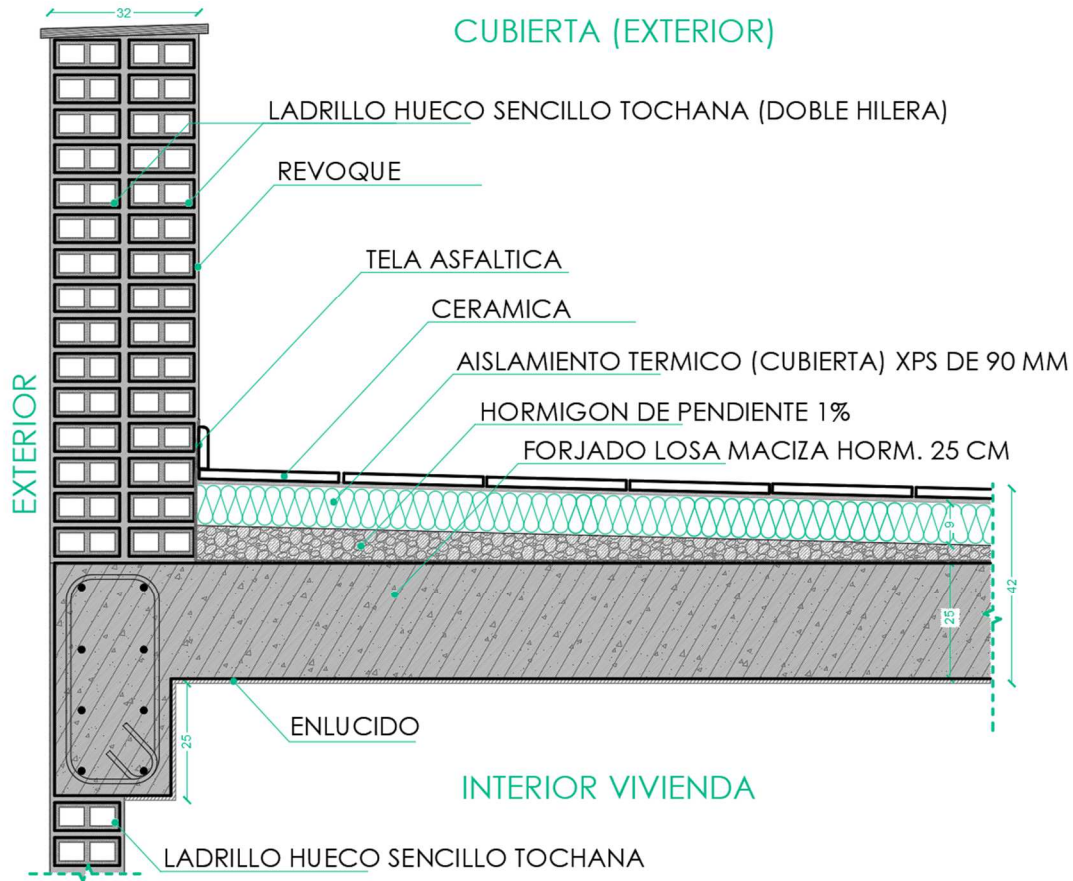
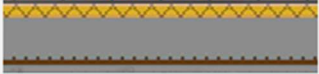


Imagen 54 - Detalle constructivo de cubierta con aislamiento térmico exterior. Elaboración propia

6.3.1. APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_S3)

Entre la baldosa cerámica y la capa de impermeabilizante polivinilo se agrega una capa de aislante térmico XPS de 90 mm (conductividad térmica $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que produce una considerable mejora de la transmitancia térmica con una disminución de U del 87% respecto al modelo inicial, modificando el U de la cubierta de $U_{CR_MI} = 2,59 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{CR_S3} = 0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

CUBIERTA DE LOSA MACIZA H 25CM + AISLACION 90MM



U = 0,33 W/m2K
Peso = 883 kg/m2

he= 25,00 W/m2K
Plaqueta o baldosa cerámica (0,010 m)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,024 m)
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0,034 W/[mK]] (0,090 m)
Cloruro de polivinilo [PVC] + 40% plastificante (0,002 m)
Hormigón con áridos ligeros 1800< d<2000 (0,100 m)
Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,250 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 10,00 W/m2K

En cuanto a los puentes térmicos, se revisa las opciones de puentes térmicos en la unión de cubierta con muro y no existen parámetros que aborden esa unión, por lo cual no se modifican ese tipo de puentes térmicos.

Como resultado, la calificación energética obtenida (indicador ECO2) por el aislamiento térmico de la cubierta es un 7,9% mejor que la calificación del MI, manteniendo la misma calificación (letra E). Del mismo, los indicadores DEC y DER mantuvieron las mismas categorías (letras G y D respectivamente).

El indicador CEPNOR sí subió 1 categoría en su calificación, de letra F a letra E.

En general, se observa una leve mejora de un 8,6% promedio sobre el MI.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
		33,35	CALEFACCIÓN		ACS	
			Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	E	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]	G
			20,12		10,75	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹		Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	C			
		2,48				

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	13,23	9857,00
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	20,12	14992,00

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
		173,14	CALEFACCIÓN		ACS	
			Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	E	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]	G
			95,03		63,45	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹		Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	D			
		14,66				

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN			DEMANDA DE REFRIGERACIÓN		
		75,86			18,90
		Demanda global de calefacción [kWh/m ² ·año]			Demanda global de refrigeración [kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.3.2. APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_S3)

Entre la baldosa cerámica y la capa de impermeabilizante asfáltica se agrega una placa de aislante térmico XPS de 90 mm (conductividad térmica $\lambda = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que produce una considerable mejora de la transmitancia térmica con una disminución de U del 88% respecto al MI, modificando la transmitancia térmica U de la cubierta pasando de $U_{HL_MI} = 2,71 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{HL_S3} = 0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Composición del Cerramiento:

Verticales [Materiales ordenados de exterior a interior].
 Horizontales [Materiales ordenados de arriba hacia abajo].

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,300	1900	1000	
3	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [	0,090	0,034	38	1000	
4	Asfalto	0,005	0,700	2100	1000	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,070	1,000	1525	1000	
6	Hormiçón armado $d > 2500$	0,250	2,500	2600	1000	
7	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	1000	
8						

Grupo Material: Bituminosos

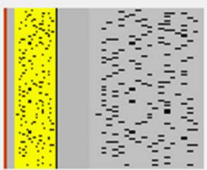
Material: Asfalto

0,005 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M: 0,33 [W/m²K]
 U_C: 0,33 [W/m²K]
 U_S: 0,32 [W/m²K]

Aceptar



En cuanto a los puentes térmicos, no existe cambios y se mantienen los mismos que por defecto arrojaba el programa en el modelo inicial (MI).

Los resultados obtenidos en los indicadores principales (ECO2 y CEPNOR) por el aislamiento térmico de la cubierta son un leve 7% mejor que las calificaciones del MI. En ambos casos se mantiene la misma calificación (letra E) de la fase 1.

Los indicadores por demanda (DEC y DER) subieron 1 categoría, de letra F a letra E y de letra D a letra C, respectivamente.

En general, se observa una mejora promedio de un 12,2% sobre el MI.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Certificación Existente
----------------	----	-----	-------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)		Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	
	15,48		10,59	
Emisiones globales (kgCO2/m2 año)1	Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)		Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	
	1,61		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	12,20	8669,67
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	15,48	11002,50

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	CALEFACCIÓN		ACS	
	Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)		Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	
	73,12		62,53	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año)1	Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)		Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	
	9,48		0,00	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción (kWh/m2año)	Demanda de refrigeración (kWh/m2año)

1El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

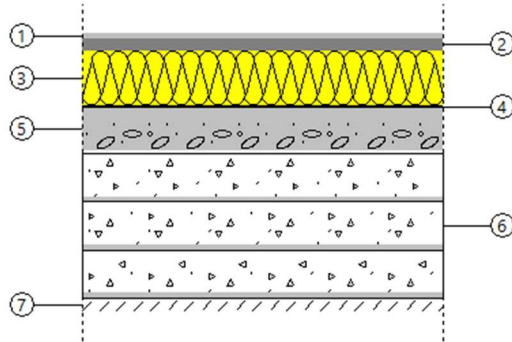
6.3.3. APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_S3)

En la cubierta se agrega una capa de aislante térmico XPS de 90 mm, lo que produce una considerable mejora de la transmitancia térmica con una disminución de U del 87% respecto al MI, modificando el U de la cubierta de $U_{CT_MI} = 2,65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_{CT_S3} = 0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

CUBIERTA:

AISLAMIENTO TÉRMICO DE 90 mm EN SATE

$U = 0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$



Capas	
1	Plaqueta o baldosa cerámica: 1.00 cm
2	Capa de regularización de mortero de cemento: 2.00 cm
3	XPS Expandido 9mm: 9.00 cm
4	Impermeabilización asfáltica monocapa adherida: 0.50 cm
5	Hormigón de pendiente: 7.00 cm
6	Losa maciza 25 cm: 25.00 cm
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
Espesor total: 46.00 cm	
Caracterización térmica	
Coeficiente de transmisión térmica (refrigeración): $0.32 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
Coeficiente de transmisión térmica (calefacción): $0.33 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
Capacidad térmica: $53473.56 \text{ J}/\text{m}^2\cdot\text{K}$	

En esta simulación, también se corrigen los coeficientes de puentes térmicos de la unión cubierta con muro de fachada según los valores que general el software CYPETHERM HE Plus para cada solución que se ingresa.

El indicador de las emisiones de CO2 disminuyó un 8,1%, una mejora que no logra modificar la calificación (letra E).

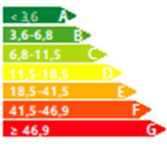
Los indicadores CEPNOR, DEC y DER subieron 1 categoría cada uno. Se destaca que el indicador DER alcanza la categoría B, la segunda categoría más alta.

En general, se observa una mejora promedio de un 8,5% sobre el MI.

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

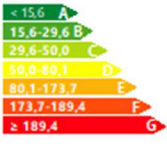
INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
 Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	15.55	12.01
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	1.06	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	15.81	9810.28
Emisiones CO2 por otros combustibles	15.55	9647.32

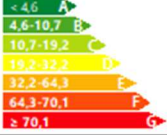

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
 Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	73.43	70.91
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	6.25	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
 Demanda de calefacción [kWh/m ² ·año]	 Demanda de refrigeración [kWh/m ² ·año]

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificio terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no de los valores parciales.

6.4. SIMULACIONES COMBINADAS (SC=S1+S2+S3)

En esta simulación se unen las **3 simulaciones anteriores** (muros, huecos y cubierta) en forma combinadas (S1+S2+S3) en una **propuesta única**, equivalente a una **rehabilitación energética completa de la envolvente** del edificio.

Se mantienen los parámetros y las transmitancias térmicas U de las simulaciones anteriores.

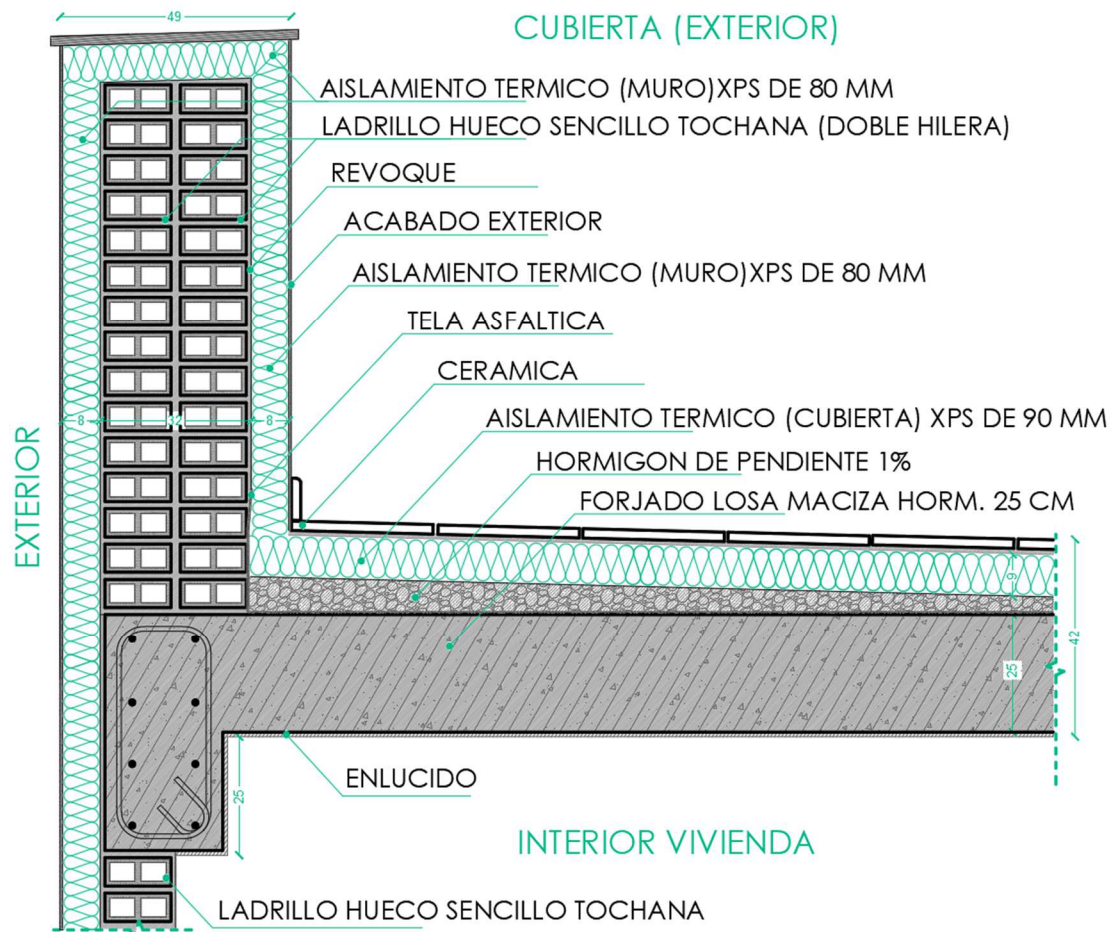
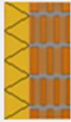


Imagen 55 - Detalle constructivo de muros y cubierta con aislamiento térmico exterior. Elaboración propia

6.4.1. APLICACIÓN HERRAMIENTA CERMA (CR_SC)

Se realiza la modificación de cerramientos exteriores, agregando una capa de aislamiento térmico en XPS de 80 mm de espesor por el exterior.

F9.1 FACHADA LAD.HUECO + AISLACION 80MM



U = 0,36 W/m2K
Peso = 191 kg/m2

✓ Aceptar

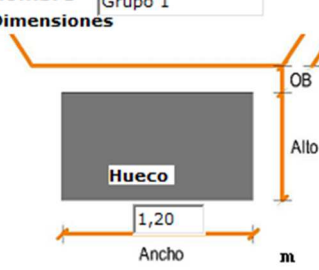
he= 25,00 W/m2K
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,080 m)
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm (0,130 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
Mortero de yeso (0,015 m)
hi= 7,69 W/m2K

Se modifican los parámetros de ventanas, por las más eficientes que ofrece el programa CERMA, con vidrio doble bajo emisivo y marco de PVC de 3 cámaras.

Nombre Grupo 1

Valores máximos (CTE-HE1)
2019 2013

Dimensiones



OD 0,00 m
OB 0,00 m
Alto 1,00 m
Ancho 1,20 m
Retranqueo 0,10 m

Tipo
 Ventana
 Puerta
 Lucernario
 Escaparate

✓ Copiar propiedades

Estudio sombra

Vidrio U vidrio (W/m2K) Factor solar (tanto por uno)
Dob.bajo emisivo 0.03-0.1 4-15-6 1,60 0,20


Marco U marco Fracc.marco
PVC TRES cámaras 1,80 25 (%)

Global Hueco
Factor solar hueco q grupo (kWh/m2) U hueco (W/m2K) UmaxCTE (W/m2K)
0,16 0,03 1,72 2,30

Permeabilidad
Abat. Ajuste Bueno c.Burl 27 (m3/hm2) con ΔP=100Pa Permeabilidad max CTE 27

Se modifica la cubierta, agregando una capa de aislante térmico XPS de 90 mm de espesor sobre la capa de impermeabilizante.

CUBIERTA DE LOSA MACIZA H 25CM + AISLACION 90MM



U = 0,33 W/m2K
Peso = 883 kg/m2

✓ Aceptar

he= 25,00 W/m2K
Plaqueta o baldosa cerámica (0,010 m)
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d > 2000 (0,024 m)
XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [0.034 W/[mK]] (0,090 m)
Cloruro de polivinilo [PVC] + 40% plastificante (0,002 m)
Hormigón con áridos ligeros 1800<d<2000 (0,100 m)
Hormigón armado 2300 < d < 2500 (0,250 m)
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 (0,015 m)
hi= 10,00 W/m2K

Por último, se revisan y modifican los puentes térmicos, dejando los valores por defecto con una mayor eficiencia energética.

Caracterización de los puentes térmicos

Puentes térmicos del edificio - características constructivas

Tipo de encuentro con frente de forjado

Frente de forjado no aislado

Frente de forjado aislado

Aislamiento continuo

Puentes térmicos pilares

Pilar no aislado

Pilar aislado por el exterior

Pilar aislado por el interior

Sin pilares

Tipo de encuentro con jambas de ventanas

Sin aislamiento en fachada (Termoarcilla)

Cerramiento cte. hasta la línea de jamba

Cerr. conforma la jamba al doblar la hoja exterior

Puentes térmicos del edificio - fijar valores

Puentes térmicos del edificio - valores por defecto de LIDER

Esesor de cada forjado (entre 0,1 m y 0,5 m)

Puede consultar la pérdida lineal de un puentes térmicos en:
https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf

Longitud de los puentes térmicos (m lineales)

Estimados Facilitados

Forjados	Cubiertas	Suelo ext.	Esq salientes - entrantes	Ventanas	Suelo terreno	Pilares (no en esquinas)					
						N	O	SO	S	SE	E
228	49	0	39	266	49	16	28	0	17	0	28

En general, en la fase 2 se obtiene un promedio de mejora de la transmitancia térmica del 81,7% respecto a los valores del modelo inicial (MI) de la fase 1.

ELEM.	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	$U_{FASE 1}$ (W/m ² ·K)	$U_{FASE 2}$ (W/m ² ·K)	% mejora U
A1	FACHADA PRINCIPAL	2,55	0,36	85,9%
A2	FACHADA POSTERIOR	2,53	0,36	85,8%
B1	TABIQUE INTERIOR 1	2,00		
B2	TABIQUE INTERIOR 2	2,49		
C	MEDIANERA	2,12		
D	CUBIERTA	2,59	0,33	87,3%
E	FORJADO	2,67		
F	VENTANA	5,70	1,83	67,9%
PROMEDIO TOTAL				81,7%

Tabla 13 - Comparación de transmitancia térmica obtenidas con CERMA entre Fase 1 y Fase 2. Elaboración propia



En la simulación combinada, equivalente a una rehabilitación energética de la envolvente, la mejora obtenida es alta. Todos los indicadores aumentan su calificación, por lo menos en un grado o letra. En los indicadores de demanda (DEC y DER) la calificación otorgada por CERMA es de 4 y 3 categorías superiores respectivamente, logrando ascender a la categoría más alta (letra A en el indicador DER).

En general, el aumento de la eficiencia energética es del 63% en promedio respecto al modelo inicial.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

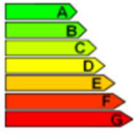

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
		15,39	CALEFACCIÓN		ACS		
			Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]		C	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]	
			3,94			10,75	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹			Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]		A		
			0,71				

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ /año
Emisiones CO ₂ por consumo eléctrico	11,46	8535,90
Emisiones CO ₂ por otros combustibles	3,94	2933,00

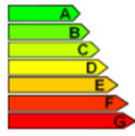

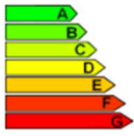

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
		86,23	CALEFACCIÓN		ACS		
			Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]		C	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]	
			18,59			63,45	
			REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹			Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]		A		
			4,19				

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
			
	14,84		5,40
Demanda global de calefacción [kWh/m ² ·año]		Demanda global de refrigeración [kWh/m ² ·año]	

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.4.2. APLICACIÓN HERRAMIENTA HULC (HL_SC)

En los cerramientos se le aplica el sistema SATE a través de una placa de XPS de 80mm de espesor más un acabado de terminación.

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de yeso	0,005	0,800	1500	1000	
2	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [	0,080	0,034	38	1000	
3	1/2 pie LP métrico o catalán 80 mm < G <	0,130	0,512	900	1000	
4	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
5						

Grupo Material: Morteros

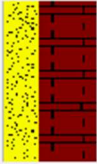
Material: Mortero de yeso

0,005 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M 0,36 [W/m²K]
U_C 0,36 [W/m²K]
U_S 0,35 [W/m²K]

Aceptar



En las ventanas se aplican ventanas de acristalamiento doble con vidrios bajo emisivo de composición 4-15-6, con marco de PVC de 3 cámaras y una permeabilidad del aire de 3 m³/h·m².

Propiedades

Grupo Vidrio: Dobles bajo emisivos <0.03 en posición vertical

Vidrio: VER_DB3_4-15-6

Grupo Marco: De PVC en posición vertical

Marco: VER_PVC tres cámaras

¿ hueco cubierto por el marco: 29,36 ¿Es una puerta?

Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: 10,00 %

Permeabilidad al aire: 3,00 m³/hm² a 100 Pa

Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados [g_gl.sh.wi]: 0,77

U_H 1,67 [W/m²K]

Aceptar

En la cubierta también se agrega el sistema SATE con una placa de aislante térmico XPS de 90 mm de espesor, cubriendo cubierta y muros en forma continua.

Composición del Cerramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior).
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo).

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010	1,000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,020	1,300	1900	1000	
3	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 f	0,090	0,034	38	1000	
4	Asfalto	0,005	0,700	2100	1000	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,070	1,000	1525	1000	
6	Hormiçón armado d > 2500	0,250	2,500	2600	1000	
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
8						

Grupo Material: Bituminosos
Material: Asfalto
Espesor [m]: 0,005

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U_M: 0,33 [W/m²K]
U_C: 0,33 [W/m²K]
U_S: 0,32 [W/m²K]

Aceptar

Finalmente, se ajustan los puentes térmicos a la situación propuesta de intervención en la envolvente en forma completa y continua.

En general, en la fase 2 se obtiene un promedio de mejora de la transmitancia térmica del 82,1% respecto a los valores del modelo inicial (MI) de la fase 1.

ELEM.	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	U FASE 1 (W/m²·K)	U FASE 2 (W/m²·K)	% mejora U
A1	FACHADA PRINCIPAL	2,22	0,36	83,8%
A2	FACHADA POSTERIOR	2,17	0,36	83,4%
B1	TABIQUE INTERIOR 1	2,1		
B2	TABIQUE INTERIOR 2	2,51		
C	MEDIANERA	2,24		
D	CUBIERTA	2,71	0,33	87,8%
E	FORJADO	2,76		
F	VENTANA	6,27	1,68	73,2%
PROMEDIO TOTAL				82,1%

Tabla 14 - Comparación de transmitancia térmica obtenidas con HULC entre Fase 1 y Fase 2. Elaboración propia

Los resultados obtenidos por la aplicación HULC en la simulación combinada son considerables. Se ha generado un aumento en la calificación energética de 3 indicadores (ECO2, DEC Y DER), ascendiendo a las categorías letra D, letra C y letra C, respectivamente. El indicador CEPNOR, a pesar de que la calificación se mantiene en la letra E, obtiene una disminución del 41%, estando a solo 10 puntos de alcanzar la categoría superior (letra D) en la escala energética.

En general, se aprecia una gran mejora del orden del 49% promedio respecto al MI.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	CertificacionExistente
----------------	----	-----	------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	16,42 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO2/m2 año)	C	Emisiones ACS (kgCO2/m2 año)	G
		4,53		10,59	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Emisiones globales (kgCO2/m2 año) ¹		Emisiones refrigeración (kgCO2/m2 año)	A	Emisiones iluminación (kgCO2/m2 año)	-
		1,30		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	11,89	8451,89
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	4,52	3212,62

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	91,57 E	CALEFACCIÓN		ACS	
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m2año)	C	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m2año)	G
		21,37		62,53	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m2año) ¹		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m2año)	B	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m2año)	-
		7,67		0,00	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

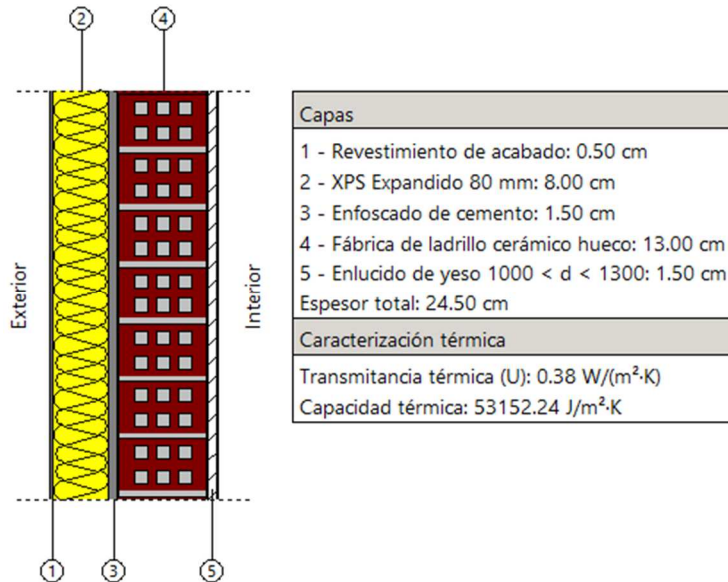
La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN			
	17,35 C		9,99 C		
				Demanda de calefacción (kWh/m2año)	Demanda de refrigeración (kWh/m2año)

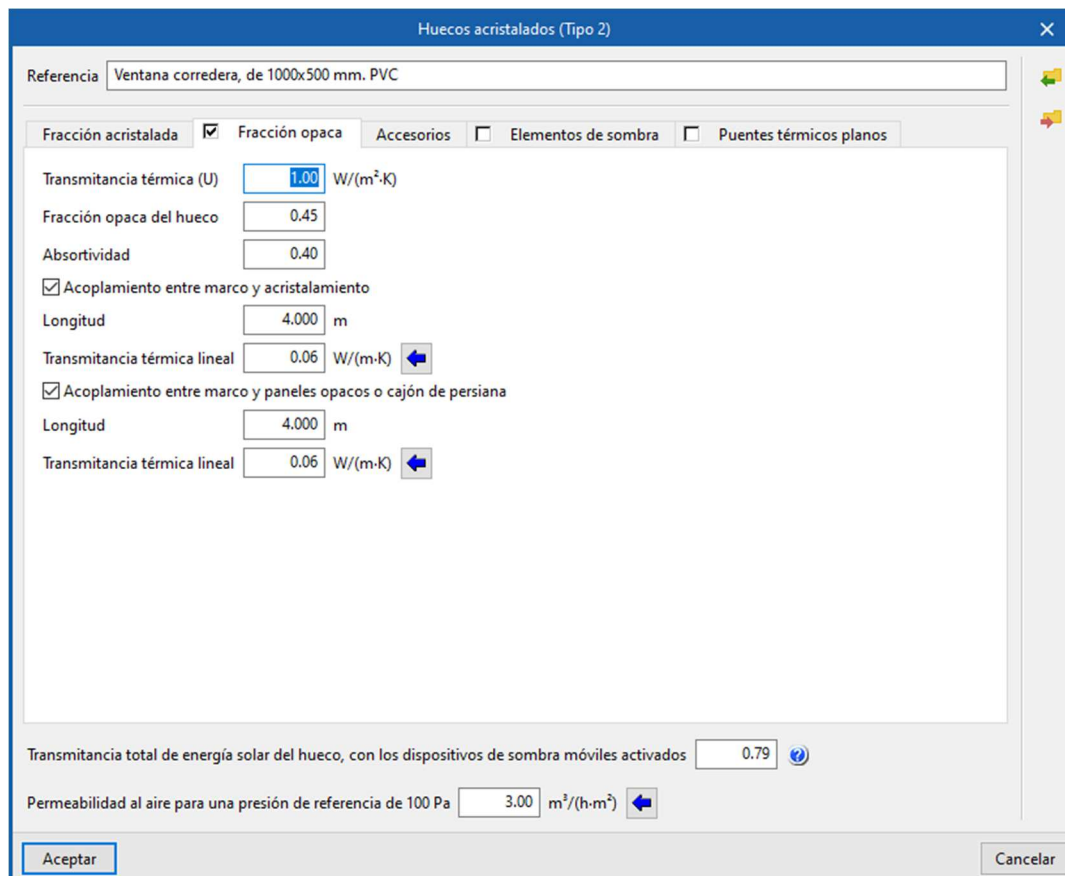
¹El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

6.4.3. APLICACIÓN HERRAMIENTA CYPETHERM HE PLUS (CT_SC)

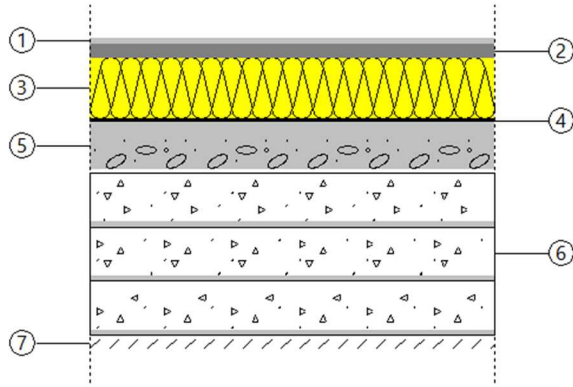
En los muros de fachada se aplica una placa de aislante térmico de 80 mm por el exterior (SATE) de Poliéstireno extruido.



Las ventanas se reemplazan por unas de mayor eficiencia térmica, con doble cristal, vidrios bajo emisivo y marco de PVC.



De acuerdo a la simulación 3, se agrega en la cubierta una capa de aislante térmico XPS de 90 mm, mejorando considerablemente la transmitancia térmica.



Capas	
1	Plaqueta o baldosa cerámica: 1.00 cm
2	Capa de regularización de mortero de cemento: 2.00 cm
3	XPS Expandido 9mm: 9.00 cm
4	Impermeabilización asfáltica monocapa adherida: 0.50 cm
5	Hormigón de pendiente: 7.00 cm
6	Losa maciza 25 cm: 25.00 cm
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300: 1.50 cm
Espesor total: 46.00 cm	
Caracterización térmica	
Coeficiente de transmisión térmica (refrigeración): 0.32 W/(m ² ·K)	
Coeficiente de transmisión térmica (calefacción): 0.33 W/(m ² ·K)	
Capacidad térmica: 53473.56 J/m ² ·K	

En general, en la fase 2 se obtiene un promedio de mejora de la transmitancia térmica del 83% respecto a los valores del modelo inicial (MI) de la fase 1.

ELEM.	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	U _{FASE 1} (W/m ² ·K)	U _{FASE 2} (W/m ² ·K)	% mejora U
A1	FACHADA PRINCIPAL	2,03	0,38	81,3%
A2	FACHADA POSTERIOR	1,98	0,38	80,8%
B1	TABIQUE INTERIOR 1	2,04		
B2	TABIQUE INTERIOR 2	2,38		
C	MEDIANERA	1,74		
D	CUBIERTA	2,65	0,33	87,5%
E	FORJADO	1,44		
F	VENTANA	5,7	1,00	82,5%
PROMEDIO TOTAL				83,0%

Tabla 15 - Comparación de transmitancia térmica obtenidas con CYPETHERM entre Fase 1 y Fase 2. Elaboración propia

En la simulación combinada, los resultados obtenidos con CYPETHERM dan cuenta de una mejora importante. Los indicadores CEPNOR, DEC y DER aumentan de calificación (de letra F a E, de F a C y de C a B, respectivamente). Por otro lado, pese a que la calificación se mantiene en la letra E, el indicador ECO2 acusa una mejora energética del 42,7%, estando a solo 1 puntos de subir de calificación (a la letra D).

En general, la eficiencia energética sufre una mejoría del 47,6% promedio sobre MI.

Calificación energética del edificio

Zona climática	B3	Uso	Residencial privado
----------------	----	-----	---------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Emisiones calefacción [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones ACS [kgCO ₂ /m ² ·año]
	3.89	12.01
Emisiones globales [kgCO ₂ /m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Emisiones refrigeración [kgCO ₂ /m ² ·año]	Emisiones iluminación [kgCO ₂ /m ² ·año]
	0.91	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² ·año	kgCO ₂ ·año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	15.66	9715.15
Emisiones CO2 por otros combustibles	3.89	2411.81

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES	
	CALEFACCIÓN	ACS
	Energía primaria calefacción [kWh/m ² ·año]	Energía primaria ACS [kWh/m ² ·año]
	18.36	70.91
Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m ² ·año] ¹	REFRIGERACIÓN	ILUMINACIÓN
	Energía primaria refrigeración [kWh/m ² ·año]	Energía primaria iluminación [kWh/m ² ·año]
	5.35	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demandadecalefacción[kWh/m ² ·año	Demandaderefrigeración[kWh/m ² ·año

¹ El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo edificios terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no de los valores parciales.

6.5. RESULTADOS FINALES

Los resultados finales obtenidos de la Fase 2 se presentan separados por simulación y por la herramienta digital utilizada, con el fin de establecer una **comparación de los resultados** con criterios en común.

Respecto a los resultados por simulación, se compararán las calificaciones energéticas obtenidas en los distintos programas que han realizado el mismo proceso de simulación de rehabilitación energética en una de las partes de la envolvente (muros, ventanas y cubierta), finalizando con los resultados del proceso de simulación combinada, que sería el producto final.

En cuanto a los resultados por software, se compararán los valores obtenidos por cada software en las distintas etapas con el fin de analizar las variaciones realizadas por los programas conforme a cada simulación que se va realizando al caso de estudio, también llamado modelo inicial (MI).

El punto de partida será la calificación obtenida en la Fase 1 (modelo inicial), la que será tomada constantemente como referencia para comparar todas las simulaciones de la Fase 2.

Con el motivo de sintetizar conceptos comúnmente usados y optimizar el espacio en las tablas comparativas, se han desarrollado una serie de nomenclaturas que son necesarias de esclarecer en forma preliminar al presente apartado

ECO2	(INDICADOR) CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIF. EN EMISIONES DE CO2
CEPNOR	(INDICADOR) CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE
DEC	(INDICADOR) DEMANDA DE CALEFACCIÓN
DER	(INDICADOR) DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
NOM	NOMENCLATURA (DE LA SIMULACIÓN)
IND.	INDICADOR GLOBAL DEL CERTIFICADO ENERGÉTICO
CAE	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO
%	PORCENTAJE DE MEJORA DEL INDICADOR GLOBAL RESPECTO AL MI (FASE 1)
MI	MODELO INICIAL
S1	MEDICIÓN SIMULACIÓN 1
S2	MEDICIÓN SIMULACIÓN 2
S3	MEDICIÓN SIMULACIÓN 3
SC	MEDICIÓN SIMULACIONES COMBINADAS (S1+S2+S3)

NOTA: el resto de las nomenclaturas utilizadas se encuentran en el inicio del presente capítulo.

Por otro lado, dentro de los resultados finales obtenidos en cada herramienta digital utilizada, es relevante presentar las transmitancias térmicas que arroja cada programa conforme a la intervención de los elementos constructivos realizados en cada simulación, resultados que se repiten en la simulación combinada.

En la tabla 16 se compara la diferencia que existe entre el valor que calcula cada aplicación de la transmitancia térmica U del modelo inicial (MI) con el valor U de los elementos constructivos intervenidos en las simulaciones 1, 2 y 3.

Los valores indicados corresponden a la transmitancia térmica expresada en unidad (W/m²·K).

ELEM.	U (referencia)	U _{CERMA} (CR_MI)	U _{CERMA} (CR_SC)	U _{HULC} (HL_MI)	U _{HULC} (HL_SC)	U _{CYPETHERM} (CT_MI)	U _{CYPETHERM} (CT_SC)
A1	2,18	2,55	0,36	2,55	0,36	2,55	0,38
A2	2,18	2,53	0,36	2,53	0,36	2,53	0,38
B1	2,02	2,00	-	2,10	-	2,04	-
B2	2,09	2,49	-	2,51	-	2,38	-
C	2,16	2,12	-	2,24	-	1,74	-
D	2,33	2,59	0,33	2,59	0,33	2,59	0,33
E	2,64	2,67	-	2,76	-	1,44	-
F	5,70	4,88	1,83	6,27	1,68	5,70	1,00

Tabla 16 - Comparación de la transmitancia térmica obtenida por cada herramienta en Fase 2. Elaboración propia

En la tabla 16 se aprecia que los valores U que más diferencia¹⁹ tienen son las transmitancias calculadas en las ventanas (elemento F). En la cubierta los valores calculados por cada aplicación son iguales. En los muros de fachada, solamente el programa CYPETHERM (CT) presenta una leve diferencia de 0,02 puntos respecto a CERMA (CR) y HULC (HL); en general, los valores de transmitancia térmica U son muy similares entre sí.

Los elementos constructivos señalados en la tabla 16 son:

- A1 Fachada principal
- A2 Fachada posterior
- B1 Tabique interior 1
- B2 Tabique interior 2
- C Medianera
- D Cubierta
- E Forjado
- F Ventana

Finalmente, cabe destacar que no todos los valores de transmitancia térmica estudiados con anterioridad son modificados, dado que solo se intervienen los paramentos que tienen contacto directo con el exterior. Los tabiques interiores y forjados no son modificados.

¹⁹ La tabla 16 se complementa con la tabla 12 y la gráfica de la imagen 52, en donde se calcula la diferencia de valores en porcentaje. Ver capítulo 5.4 Cuadro resumen y comparación de resultados

6.5.1. RESULTADOS APLICACIÓN CERMA (CR)

Una vez obtenidos los resultados finales de la CAE a través de la herramienta digital CERMA se comparan los resultados entre sí, a partir de la calificación obtenida en la Fase 1 (CR_MI), la que es tomada como referencia para comparar las simulaciones de la Fase 2.

De los resultados obtenidos se confecciona la tabla 17, una tabla comparativa que permitirá analizar los indicadores correspondientes a cada simulación realizada con el programa CERMA.

En la simulación que interviene los cerramientos verticales (CR_S1), se aprecia que el porcentaje promedio de mejora de la eficiencia energética es uno de los más altos (48,8%), lo que podría permitir inferir que los cerramientos tienen un alto impacto en la calificación energética de una vivienda, no obstante, la CAE no logra cambiar el indicador principal (ECO2) manteniendo la letra E, a pesar de que los otros 3 indicadores (CEPNOR, DEC y DER) si obtienen mejoras en sus calificaciones.

La simulación que interviene las ventanas (CR_S2) es la que menos impacto tiene en la eficiencia energética del edificio (1,9%), lo cual se aprecia en que ninguno de los indicadores sufre alguna variación.

La aplicación de aislamiento térmico en la cubierta (CR_S3) genera una leve mejora (8,6%) que será suficiente para modificar el indicador CEPNOR. Los otros indicadores mantienen sus índices inmutables.

Finalmente, al combinar todas las mejoras realizadas en forma separada, se aprecia un enorme mejoramiento (en promedio un 63%) de la eficiencia energética del edificio capaz de modificar todos los indicadores, incluso llegando a alcanzar la máxima calificación de la escala energética (letra A) en el indicador DER. Pese a este gran cambio, el indicador principal solo sube 1 categoría (de la letra E a la D).

NOM.	ECO2			CEPNOR			DEC			DER			%* PROM
	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	
CR_MI	36,2	E		187,0	F		85,7	G		20,5	D		
CR_S1	19,8	E	45,3	108,2	E	42,2	27,8	D	67,6	12,8	C	37,7	48,8
CR_S2	35,8	E	1,1	184,4	F	1,4	86,4	G	-0,8	16,4	D	19,9	1,9
CR_S3	33,4	E	7,9	173,1	E	7,4	75,9	G	11,5	18,9	D	7,7	8,6
CR_SC	15,4	D	57,5	86,2	E	53,9	14,8	C	82,7	5,4	A	73,6	63,0

Tabla 17 - Resumen de resultados finales de la CAE realizada con herramienta CERMA

Resulta pertinente destacar que en la simulación 2, el valor del porcentaje de variación del indicador DEC es negativo (al costado derecho del indicador DEC), es decir que con la sustitución de las ventanas la demanda de calefacción (DEC) aumentó levemente respecto al modelo inicial. Esto se puede comprender porque las nuevas ventanas tienen un filtro solar que podría afectar en el ingreso de calor por las ventanas, por lo cual, la vivienda requiere un poco más de calefacción, en un porcentaje mínimo (0,8%).

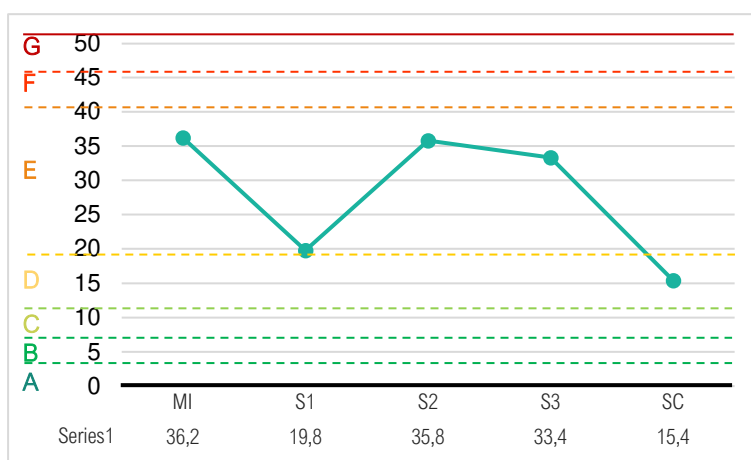


Imagen 56 - Gráfica de resultados de calificación energética de herramienta CERMA

6.5.2. RESULTADOS APLICACIÓN HULC (HL)

Los resultados finales obtenidos a través de la herramienta digital HULC se encuentran contenidos en la tabla 18, un resumen que permitirá analizar los indicadores correspondientes a cada simulación realizada durante el desarrollo de la fase 2.

En la simulación 1, con el aislamiento térmico de los muros (HL_S1), se aprecia la mejora de la eficiencia energética en un 22,2% promedio respecto al modelo inicial, es decir que interviniendo los muros que colinda hacia el exterior el edificio en estudio obtiene una mejoría de una quinta parte. Los indicadores que se ven modificados son DEC y DER, aumentando una categoría cada uno respectivamente.

En la simulación que sustituye las ventanas (HL_S2) se aprecia un leve impacto en el modelo en la eficiencia energética (4,6%), permitiendo que el indicador DEC mejora su calificación energética (de letra F a letra E).

Por otro lado, en la simulación 2 se observa un número negativo en el indicador DER, una variación poco común que se podría explicar estableciendo que disminuye la pérdida de calor por las ventanas cuando las ventanas son más eficientes, pudiendo provocar que el calor se quede adentro de la vivienda requiriendo un mayor enfriamiento, es decir, un aumento de la demanda de refrigeración. En este caso, el porcentaje de variación es mínimo (2,3%).

En el caso de la instalación de aislamiento térmico en la cubierta (CR_S3), el indicador afectado es el DER que aumenta la calificación energética en una letra (de la letra D a la C), generando una leve mejora promedio del 8,1% en total.

Por último, al combinar todas las mejoras realizadas en las simulaciones anteriores, se observa un notable aumento de la eficiencia energética en un 49,1% promedio respecto al modelo inicial. Esto es capaz de afectar en la calificación de 3 indicadores (ECO2, DEC Y DER). El indicador CEPNOR también obtiene una considerable mejora (41%), pero que no alcanza a aumentar la CAE, manteniendo la letra E.

NOM.	ECO2			CEPNOR			DEC			DER			%* PROM
	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	
HL_MI	29,8	E		155,6	E		66,2	F		14,1	D		
HL_S1	23,7	E	20,5	126,5	E	18,7	43,7	E	34,0	12,8	C	8,7	22,2
HL_S2	28,5	E	4,3	149,5	E	3,9	61,2	E	7,7	14,4	D	-2,3	4,6
HL_S3	27,7	E	7,2	145,1	E	6,7	58,9	E	11,1	12,3	C	12,2	8,1
HL_SC	16,4	D	45,0	91,6	E	41,1	17,4	C	73,8	10,0	C	28,9	49,1

Tabla 18 - Resumen de resultados finales de la CAE realizada con herramienta HULC

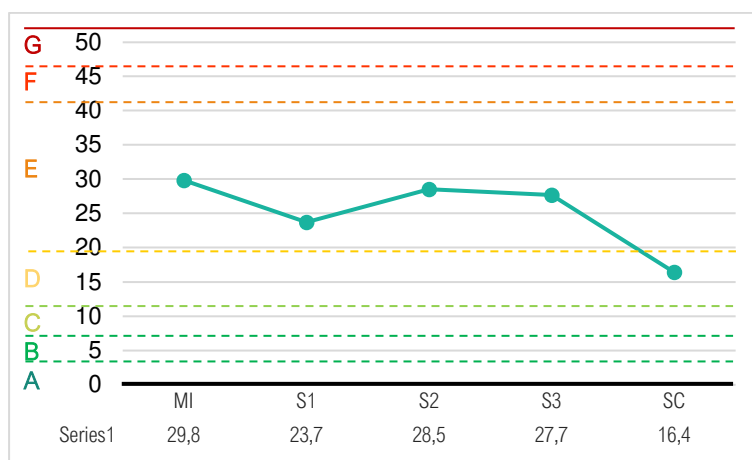


Imagen 57 - Gráfica de resultados de calificación energética de herramienta HULC

6.5.3. RESULTADOS APLICACIÓN CYPETHERM HE PLUS (CT)

Una vez obtenidos los resultados finales de la CAE a través de la herramienta digital CYPETHERM HE Plus se comparan los resultados obtenidos en la Fase 2 y se vierte la información en la tabla 19.

En la simulación que interviene las fachadas (CT_S1) se aprecia que el porcentaje promedio de mejora de la eficiencia energética es del 21,7%. Esta intervención produce un aumento en las calificaciones de los indicadores CEPNOR, DEC y DER. El indicador que mide las emisiones de CO2 (ECO2) también se ve beneficiado, disminuyendo en un 20%, no obstante, la variación no alcanza para modificar la categoría de la escala energética (letra E).

Con la modificación de las ventanas (CT_S2) se observa que el impacto en la eficiencia energética es menor (6,5%), y a pesar de lo bajo que resulta, es suficiente para aumentar los indicadores CEPNOR y DEC, mejorando la calificación de la letra F a la letra E.

En cuando a la simulación realizada en la cubierta (CT_S3), la aplicación de CYPETHERM señala una leve mejora (8,5% promedio) respecto al modelo inicial, la que permite modificar favorablemente 3 indicadores (CEPNOR, DEC y DER) en una calificación cada uno.

Finalmente, en la simulación combinada (CT_SC) que concentra a todas las simulaciones anteriores (en forma separada) en una sola rehabilitación, se aprecia una mejora del 47,6% promedio capaz de modificar los indicadores CEPNOR, DEC y DER. No obstante, el indicador principal ECO2 es el único que no logra ser modificado a pesar de la intervención completa de la envolvente.

NOM.	ECO2			CEPNOR			DEC			DER			%* PROM
	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	
CT_MI	34,1	E		180,2	F		65,5	F		10,0	C		
CT_S1	27,3	E	20,0	147,7	E	18,0	43,2	E	34,1	8,7	B	12,6	21,7
CT_S2	31,9	E	6,6	169,5	E	6,0	60,0	E	8,4	9,8	C	1,7	6,5
CT_S3	31,4	E	8,1	166,8	E	7,5	58,9	E	10,0	8,1	B	19,1	8,5
CT_SC	19,6	E	42,7	110,8	E	38,5	14,7	C	77,5	6,9	B	30,9	47,6

Tabla 19 - Resumen de resultados finales de la CAE realizada con herramienta CYPETHERM

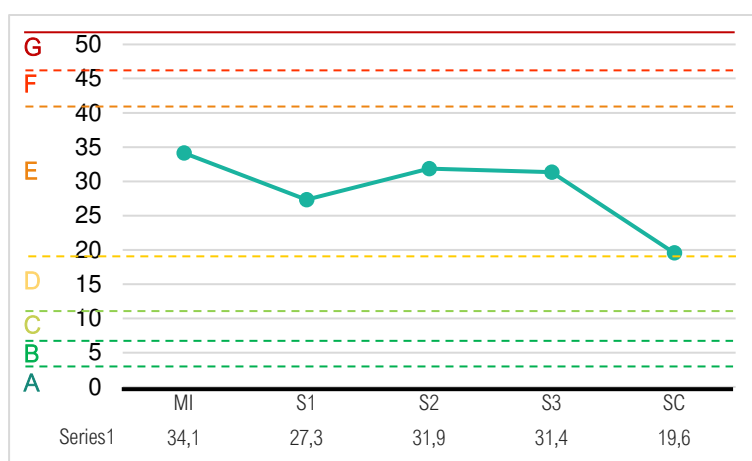


Imagen 58 - Gráfica de resultados de calificación energética de herramienta CYPETHERM HE Plus

Es importante destacar que la herramienta digital CYPETHERM es la única aplicación que no logra modificar el indicador principal que mide la emisión de CO2 del edificio en la intervención total de la envolvente del caso de estudio. A pesar de que el indicador ECO2 adquiere una mejora de la eficiencia energética en un 42,7%, le falta un poco más de 1 punto (kgCO2/m²·año) para aumentar la calificación.

6.5.4. RESULTADOS SIMULACIÓN 1 (S1)

Los resultados obtenidos por la simulación de aplicar aislamiento térmico en los muros de cerramiento por el exterior se encuentran contenidos en la tabla 20.

En general, se aprecia una relevante mejoría en los indicadores de consumo de energía primaria no renovable (CEPNOR) y de la demanda de calefacción (DEC), un resultado esperable tras la enorme mejora energética de la transmitancia térmica con gran repercusión en una gran superficie (todos los muros en contacto con el exterior).

NOM.	ECO2		CEPNOR		DEC		DER		PROMEDIO
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	
CR_S1	19,8	E	108,2	E	27,8	D	12,8	C	42,1
HL_S1	23,7	E	126,5	E	43,7	E	12,8	C	51,7
CT_S1	27,3	E	147,7	E	43,2	E	8,7	B	56,7
PROMEDIO	23,6		127,5		38,2		11,4		

Tabla 20 - Cuadro resumen de los resultados de la clasificación energética de la simulación 1. Elaboración propia

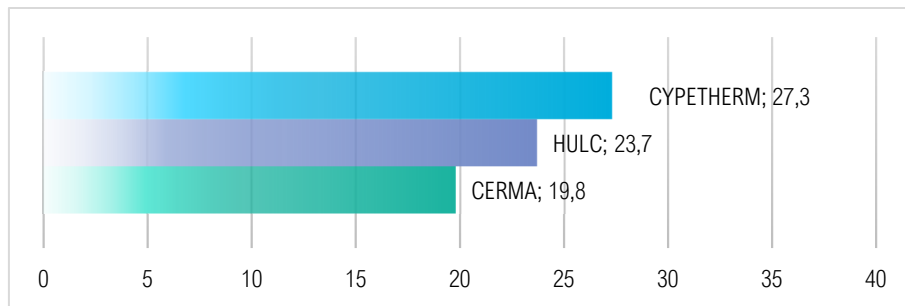


Imagen 59 - Gráfico de resultados del indicador principal ECO2 en la simulación 1

En comparación con los resultados del modelo inicial (tabla 10, capítulo 5.4), prácticamente todas las aplicaciones obtienen una mejor calificación energética subiendo de categoría (letra) en los indicadores CEPNOR, DEC y DER.

Si se considera el resultado promedio obtenido por las 3 aplicaciones (señalado en color gris en los bordes de la tabla 20), la ponderación es muy cercana a las calificaciones obtenidas por el programa HULC, arrojando un promedio de esta manera:

	ECO2		CEPNOR		DEC		DER	
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE
Promedio	23,6	E	127,5	E	38,2	E	11,4	C

En cuanto al indicador principal por Emisiones de CO₂ (ECO2), al comparar el resultado promedio obtenido en la simulación 1 (23,6 kgCO₂/m²·año) con el resultado promedio obtenido en el modelo inicial (33,4 kgCO₂/m²·año), la diferencia es de un 30%, es decir, que el edificio obtiene una disminución de sus emisiones de CO₂ anuales en un 30%, mejorando su eficiencia energética casi en un tercio con la instalación de 80mm de aislamiento térmico en XPS. No obstante, pese a que la reducción es evidente, el indicador principal se mantiene en la misma categoría energética (letra E) que el modelo inicial.

Por último, es necesario destacar la enorme mejoría que obtiene el indicador DEC, disminuyendo prácticamente a la mitad (un 47,3%) la demanda de calefacción (DEC) que el modelo inicial arrojó (valor promedio de 72,5 kWh/m²·año) en la tabla 10 (capítulo 5.4).

6.5.5. RESULTADOS SIMULACIÓN 2 (S2)

En la simulación 2 se sustituyen todas las ventanas por unas con una alta eficiencia energética (doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo y marco de PVC). Los resultados se encuentran contenidos en la tabla 21.

Se aprecia en el cuadro comparativo obtenido de los resultados de los diferentes programas que las calificaciones (en letras) de las herramientas HULC (HL) y CYPETHERM (CT) son similares entre sí, a excepción del indicador DER (el cual se encuentra a 1 punto de haber cambiado a letra C).

Por otro lado, se observa que la herramienta CERMA (CR) no presenta variación en la calificación obtenida en el modelo inicial.

NOM.	ECO2		CEPNOR		DEC		DER		PROMEDIO
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	
CR_S2	35,8	E	184,4	F	86,4	G	16,4	D	80,8
HL_S2	28,5	E	149,5	E	61,2	E	14,4	D	63,4
CT_S2	31,9	E	169,5	E	60,0	E	9,8	C	67,8
PROMEDIO	32,1		167,8		69,2		13,5		

Tabla 21 - Cuadro resumen de los resultados de la clasificación energética de la simulación 2. Elaboración propia

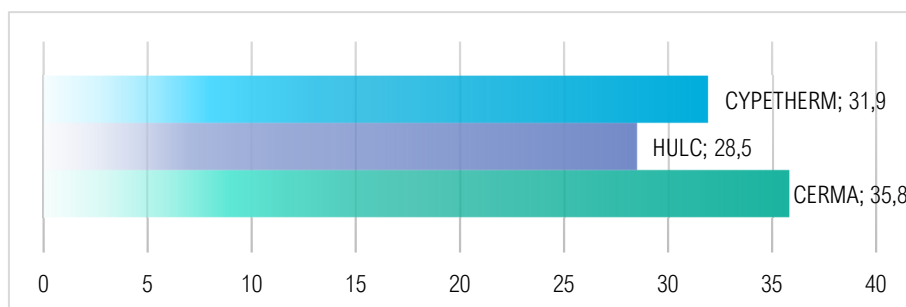


Imagen 60 - Gráfico de resultados del indicador principal ECO2 en la simulación 2

En cuanto a las mejoras obtenidas en la simulación 2, la eficiencia energética lograda a partir de la modificación de ventanas es de un 4,2% promedio respecto al modelo inicial (tabla 10, capítulo 5.4). No obstante, esa leve mejoría del 4,2% es suficiente para modificar los indicadores CEPNOR, DEC y DER, aumentando una calificación (en letras) respectivamente.

Con el fin de poder comparar los valores promedios obtenidos en el modelo inicial (tabla 10), se ordenan los resultados promedios obtenidos en la simulación 2 en el siguiente cuadro:

	ECO2		CEPNOR		DEC		DER	
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE
Promedio	32,1	E	167,8	E	69,2	F	13,5	C

Se observa que el indicador ECO2 a penas sufre la variación de 1 punto (comparando los promedios obtenidos por las 3 aplicaciones) disminuyendo de 33,4 a 32,1 (kgCO₂/m²·año) con calificación de letra E.

En general, el impacto que generó la simulación 2 sobre el modelo inicial es muy baja, logrando una mejora energética de un 4,2% promedio.

6.5.6. RESULTADOS SIMULACIÓN 3 (S3)

Los resultados obtenidos en la simulación 3, correspondiente a la instalación de aislamiento térmico en la cubierta, se encuentra resumidos en la tabla 22, en donde se puede apreciar que la calificación predominante es la letra E, en especial sobre los 2 indicadores principales (ECO2 y CEPNOR).

NOM.	ECO2		CEPNOR		DEC		DER		PROMEDIO
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	
CR_S3	33,4	E	173,1	E	75,9	G	18,9	D	75,3
HL_S3	27,7	E	145,1	E	58,9	E	12,3	C	61,0
CT_S3	31,4	E	166,8	E	58,9	E	8,1	B	66,3
PROMEDIO	30,8		161,7		64,6		13,1		

Tabla 22 - Cuadro resumen de los resultados de la clasificación energética de la simulación 3. Elaboración propia

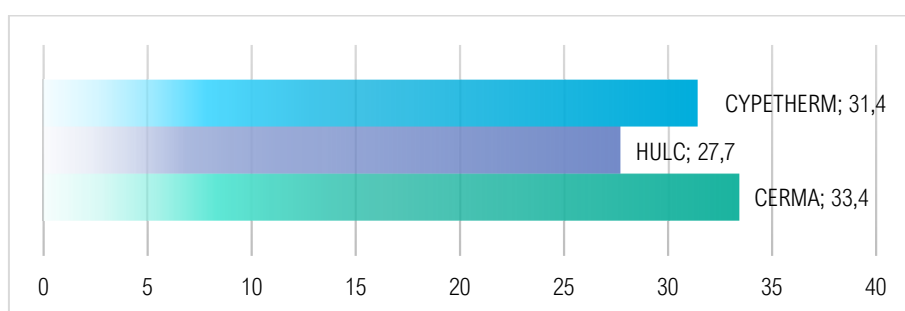


Imagen 61 - Gráfico de resultados del indicador principal ECO2 en la simulación 3

Comparando los resultados con el modelo inicial, en la herramienta digital CERMA solo el indicador CEPNOR sube de categoría (de letra F a letra E); en la aplicación HULC los indicadores DEC y DER suben 1 categoría cada uno respectivamente; en el programa CYPETHERM los indicadores CEPNOR, DEC y DER suben de categoría un escalón cada uno.

De los resultados obtenidos, se estable un promedio correspondiente a las calificaciones de las 3 herramientas, expresados de la siguiente forma:

	ECO2		CEPNOR		DEC		DER	
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE
Promedio	30,8	E	161,7	E	64,6	F	13,1	C

Al comparar el promedio de los resultados con el promedio de las calificaciones del modelo inicial expresados en la tabla 10 (capítulo 5.4), es posible observar que los indicadores CEPNOR, DEC y DER suben 1 categoría cada uno, pero el indicador principal que mide las emisiones de CO2 se mantiene estoico en la letra E.

En general, con la intervención de la cubierta la mejoría de la eficacia energética es de un 8,4% respecto al modelo inicial. Un porcentaje que dobla la mejora obtenida por la sustitución de las ventanas (simulación 3) pero que a pesar de ser superior la calificación de los resultados promedios son iguales a los obtenidos en la simulación 3, predominando la letra E en los indicadores principales y teniendo una variación de 2,6 (kgCO2/m²·año) puntos en las emisiones de CO2, equivalente a un 7,8% sobre el promedio del modelo inicial.

6.5.7. RESULTADOS SIMULACIÓN COMBINADA (SC)

El proceso cúlmine de la fase 2 consiste en una simulación que combina las 3 simulaciones anteriores en una sola versión, desarrollando una rehabilitación completa de la envolvente (muro, ventanas y cubierta). Los resultados de la simulación combinada se encuentra contenidos en la tabla 23 que se presenta a continuación :

NOM.	ECO2		CEPNOR		DEC		DER		PROMEDIO
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	
CR_SC	15,4	D	86,2	E	14,8	C	5,4	A	30,5
HL_SC	16,4	D	91,6	E	17,4	C	10,0	C	33,8
CT_SC	19,6	E	110,8	E	14,7	C	6,9	B	38,0
PROMEDIO	17,1		96,2		15,6		7,4		

Tabla 23 - Cuadro resumen de los resultados de la clasificación energética de la simulación combinada

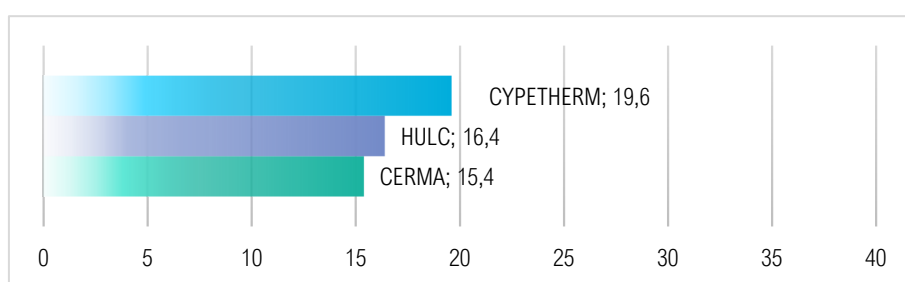


Imagen 62 - Gráfico de resultados del indicador principal ECO2 en la simulación combinada

A primera vista se distingue un notable aumento de las calificaciones obtenidas, superando el rango de eficiencia energética media, con 3 calificaciones sobre el índice del medio (letra A, B y C) y 2 resultados en el centro de la escala (letra D). Es evidente la mejoría que incluso se visualizan las calificaciones más altas de la escala energética.

Para el análisis de los resultados obtenidos en la simulación combinada (SC) es necesario establecer una comparación entre los resultados de la Fase 1 (modelo inicial destacado en negrita) y los resultados de la Fase 2 (simulaciones 1, 2, 3 y combinada), por lo cual se confecciona la tabla 24 en la cual figura la CAE del caso de estudio sin intervención y luego la calificación otorgada en las respectivas simulaciones (regiones siguientes).

NOM.	ECO2			CEPNOR			DEC			DER			%* PROM
	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	IND.	CAE	%*	
CR_MI	36,2	E		187,0	F		85,7	G		20,5	D		
CR_S1	19,8	E	45,3	108,2	E	42,2	27,8	D	67,6	12,8	C	37,7	48,8
CR_S2	35,8	E	1,1	184,4	F	1,4	86,4	G	0,8	16,4	D	19,9	1,9
CR_S3	33,4	E	7,9	173,1	E	7,4	75,9	G	11,5	18,9	D	7,7	8,6
CR_SC	15,4	D	57,5	86,2	E	53,9	14,8	C	82,7	5,4	A	73,6	63,0
HL_MI	29,8	E		155,6	E		66,2	F		14,1	D		
HL_S1	23,7	E	20,5	126,5	E	18,7	43,7	E	34,0	12,8	C	8,7	22,2
HL_S2	28,5	E	4,3	149,5	E	3,9	61,2	E	7,7	14,4	D	2,3	4,6
HL_S3	27,7	E	7,2	145,1	E	6,7	58,9	E	11,1	12,3	C	12,2	8,1
HL_SC	16,4	D	45,0	91,6	E	41,1	17,4	C	73,8	10,0	C	28,9	49,1
CT_MI	34,1	E		180,2	F		65,5	F		10,0	C		
CT_S1	27,3	E	20,0	147,7	E	18,0	43,2	E	34,1	8,7	B	12,6	21,7
CT_S2	31,9	E	6,6	169,5	E	6,0	60,0	E	8,4	9,8	C	1,7	6,5
CT_S3	31,4	E	8,1	166,8	E	7,5	58,9	E	10,0	8,1	B	19,1	8,5
CT_SC	19,6	E	42,7	110,8	E	38,5	14,7	C	77,5	6,9	B	30,9	47,6

Tabla 24 - Comparación de resultados de calificación energética entre Fase 1 y Fase 2

NOTA: %* Se refiere a la diferencia porcentual de una simulación respecto al modelo inicial (MI)

En la tabla 24, además de apreciar los resultados con cada herramienta digital, se agrega una columna (a la derecha del indicador) que señala el porcentaje de mejora energética que el indicador presenta respecto al modelo inicial, lo que permite establecer una comparación de la repercusión que generan los cambios introducidos (en cada simulación) sobre la eficiencia energética del caso de estudio.

En el caso de las CAE obtenidas, la herramienta digital CERMA es la que peor evalúa el caso de estudio (MI) otorgándole las calificaciones más bajas (letra G) en varios de los procesos realizados. No obstante, al intervenir toda la envolvente en su conjunto (simulación combinada) CERMA es la aplicación que otorga la mayor eficiencia energética, promediando un 63% de mejora en total; desde la intervención de los muros (simulación 1) se destaca por el mejor resultado de eficiencia energética.

En contraposición, la herramienta digital que se mantiene más estable es CYPETHERM, a pesar de que en la simulación combinada gana un 47,6% de eficiencia energética, el indicador principal de emisiones de CO2 no sufre variaciones en todo el proceso, manteniendo la calificación “E” del modelo inicial.

En términos generales se aprecia que la mejora energética que el caso de estudio obtiene a través de intervenir la envolvente completa es de un 53% (promedio) respecto al promedio del modelo inicial.

Para obtener una mayor claridad de los datos obtenidos en la tabla 24, se realiza una gráfica comparativa que entrecruza los resultados del indicador principal ECO2, permitiendo visualizar gráficamente la evolución (o la repercusión) energética de las distintas simulaciones realizadas al modelo inicial

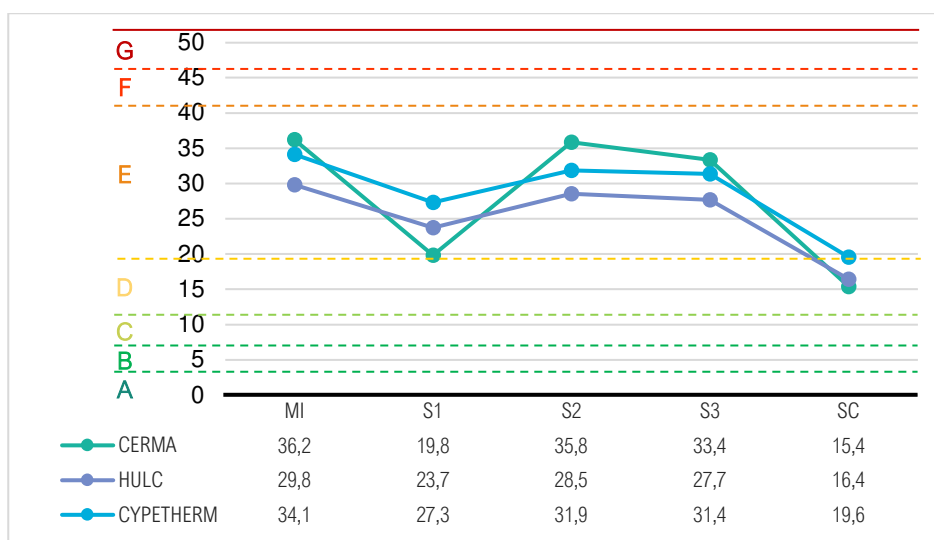


Imagen 63 - Gráfica comparativa de resultados de calificación energética entre Fase 1 y Fase 2

A partir de esta gráfica se puede apreciar que la mejora que obtiene el caso de estudio a través de la simulación 1, 2 y 3 (señaladas como S1, S2 y S3) correspondiente a las partes de la envolvente (por separado), no es equivalente con el **impacto de eficiencia energética que logra con la simulación combinada**. En términos cuánticos, las simulaciones arrojan resultados de una mejora energética (promedio) del 32% (al intervenir los muros), 4,2% (al sustituir las ventanas) y 8,4% (al intervenir la cubierta) respecto al modelo inicial (ver tabla 24), sin embargo, al sumar estos resultados no se alcanza el 45%. En contraposición, el impacto de eficiencia energética que se logra con las mismas simulaciones, pero combinada en una sola simulación es de un 53,8% en promedio (de los resultados de las 3 herramientas). Este efecto sucede por igual en las 3 herramientas digitales estudiadas. Por lo cual, se podría inferir que la intervención de las partes de la envolvente en forma conjunta tiene **un efecto multiplicador de eficiencia energética**.

Tal como se realizó en los resultados de las simulaciones 1, 2 y 3, se establece un valor promedio de las calificaciones obtenidas en la simulación combinada, determinando una calificación media de:

	ECO2		CEPNOR		DEC		DER	
	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE	IND.	CAE
Promedio	17,1	D	96,2	E	15,6	C	7,4	B

Por lo anterior, se observa que en los resultados promedios obtenidos en la simulación combinada todos los indicadores aumentan la calificación energética, desde 1 categoría (letra) hasta 4 categorías.

Finalmente, es pertinente destacar que el indicador de demanda de calefacción (DEC) disminuye en un 78% promedio respecto al modelo inicial. Esto se debe a que el edificio recibe un contundente aislamiento térmico en la envolvente completa, eliminando puentes térmicos y facilitando que el calor no se disipe fácilmente, por ende, las viviendas están más abrigadas y no requiere tanta calefacción.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



7. CONCLUSIONES

Siguiendo la metodología propuesta en el presente trabajo de investigación, el trabajo se ejecuta en 2 fases de desarrollo: la fase 1 corresponde a la medición energética del caso de estudio, cuyo resultado se define como "modelo inicial", y la fase 2 que consiste en la simulación de distintos tipos de mejoras energéticas. Al término del desarrollo de la Fase 1 se realiza la comparación del uso²⁰ de las diferentes herramientas digitales, desarrollando unas conclusiones preliminares que complementan este capítulo.

Una vez culminados ambas fases, analizado el proceso de ejecución de las herramientas digitales y estudiado los resultados obtenidos, las conclusiones a las que se llega en el presente trabajo final de máster se presentan a continuación:

- i. Mediante este estudio se reconoce la importancia de utilizar y **comparar las herramientas digitales** sobre eficiencia energética en casos de estudio de **edificios concretos**, en lugar de generalizar con edificios tipo. Este enfoque permite reconocer la diferencia de la introducción de datos en las herramientas digitales y proporciona resultados comparables. Además, hace posible un análisis enfocado en los objetivos de la investigación, como el uso de herramientas digitales, sus ventajas y desventajas, las diferencias en los parámetros calculados por las aplicaciones y los resultados obtenidos.
- ii. La investigación revela que, en la mejora de la eficiencia energética frente a la rehabilitación independiente en partes separadas de la envolvente, **la intervención conjunta en las mismas genera un efecto multiplicador**. Este efecto se observa en las tres herramientas digitales estudiadas. Aunque las simulaciones independientes de las diferentes partes de la envolvente (muros, huecos y cubierta) resultan en mejoras energéticas del 32%, 4,2% y 8,4% respectivamente, la suma total de estas mejoras no supera el 45%. Sin embargo, cuando estas mismas simulaciones se combinan en una sola, el impacto en la eficiencia energética alcanza un promedio del 53,8%.
- iii. La investigación ha puesto de manifiesto que los **resultados obtenidos entre las diferentes herramientas digitales varían significativamente**. Debido a la variación de los resultados y con el fin de cuantificar las diferencias, se establece un promedio de los resultados (de las 3 aplicaciones) y se compara el promedio con cada resultado obtenido. Al comparar los resultados entre sí, se observa una variación en los indicadores de un 8% a un 25% entre una herramienta y otra.
- iv. Respecto a las herramientas digitales utilizadas, la investigación pone de manifiesto que **no hay un software que supere a los demás en términos de resultados**. Es evidente que cada herramienta digital produjo resultados variados. En algunos casos, una aplicación mostró una mayor eficiencia en una simulación, pero en otra simulación, la misma herramienta obtuvo resultados inferiores. Por lo tanto, según los resultados obtenidos en las distintas fases o supuestos, no se puede afirmar que un software es superior a otro en términos de la precisión de los resultados obtenidos.
- v. Por otro lado, el estudio si ha permitido determinar que **los resultados más detallados se obtienen a partir de un modelo digital tridimensional BIM** mediante la aplicación CYPETHERM HE Plus. En contraste, las aplicaciones HULC y CERMA presentan los resultados finales en conjunto y sin detallar, considerando el edificio como un gran volumen. Una ventaja distintiva de trabajar con BIM es su capacidad para detallar permitiendo, por ejemplo, la inclusión de instalaciones en un recinto o planta específica.
- vi. El estudio pone de manifiesto que la herramienta digital **CERMA es la más sensible a los cambios**. Sometida a distintas fases o supuestos, es el único programa que presenta los resultados más bajos y altos en la escala energética, dado que presenta tanto la evaluación más baja (letra G) como la más alta (letra A) en la escala energética. Por lo tanto, se confirma que es una herramienta muy aproximada con alta variabilidad.
- vii. Como conclusión hay que indicar que, utilizando los **valores por defecto de los programas**, cada herramienta digital aplica diferentes transmitancias térmicas a distintos elementos constructivos, lo cual supone un **punto de partida muy distinto**. En la tabla 12 se señala que la diferencia promedio de transmitancia térmica fluctúa entre un 7,6% y un 18,8% respecto a los valores referenciales de transmitancia térmica.

²⁰ Capítulo 5.5 titulado Conclusiones Fase 1: Comparación de usabilidad

- viii. La investigación concluye y reafirma que, **a pesar de las intervenciones pasivas significativas en la envolvente del edificio, no se pueden alcanzar las calificaciones energéticas más altas** en el indicador principal (emisiones de CO2) debido a la demanda de energía no suplida.
- ix. Por otro lado, un **edificio con deficiencias energéticas** que satisface su demanda de energía completa a través **de instalaciones de fuentes renovables se califica como un edificio de alta "eficiencia energética", a pesar de que el consumo de energía es alto**. Esta conclusión, combinada con la anterior, ratifica y subraya la importancia de la **ponderación de las instalaciones** en estos programas, así como la necesidad de la autosuficiencia energética en la calificación energética de un edificio.
- x. A través del estudio se ha constatado que las **herramientas digitales analizadas carecen de sistemas constructivos actualizados, a diferencia de las posibilidades utilizando herramientas BIM**. A pesar de utilizar la versión más reciente de cada software y que los programas permiten la creación de soluciones personalizadas para un elemento no disponible en el catálogo, se observa una notable falta de opciones que contemplen las prácticas constructivas actuales que se han desarrollado precisamente por los requisitos planteados por la normativa. Esto supone un incremento notable de las horas dedicadas de trabajo.
- xi. Finalmente, se concluye que las aplicaciones que utilizan la metodología BIM obtienen resultados más detallados, no obstante, **el uso de un software con un modelo 3D** (como CYPETHERM) **implica una triple inversión de tiempo** en modelado tridimensional respecto a herramientas del procedimiento simplificado (como CERMA). Por otro lado, **el tiempo de aprendizaje de una aplicación tridimensional es ampliamente superior** a una herramienta de uso simplificado.

- I. GENERALIDADES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGÍA
- IV. CASO DE ESTUDIO
- V. FASE 1: MEDICIÓN MODELO INICIAL
- VI. FASE 2: SIMULACIONES DE REHABILITACIÓN
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFÍA
- IX. ANEXOS



8. BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS ELECTRÓNICOS

8.1. BIBLIOGRAFÍA

ARCAS-ABELLA, Joaquim et al., 2019. Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos. *Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento*. N.º 01.

BPIE, 1993. *Directiva 93/76/CEE* [en línea]. 93/76/CEE. UE : Diario Oficial n° L 237 de 22/09/1993 . 93/76/CEE. Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). Recuperado a partir de : <http://data.europa.eu/eli/dir/1993/76/oj> [accedido 14 enero 2024].

BPIE, 2003. *Directiva 2002/91/CE* [en línea]. 2002/91/CE. UE : Diario Oficial n° L 001 de 04/01/2003 . 2002/91/CE. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios L 001. Recuperado a partir de : <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj> [accedido 1 noviembre 2022].

BPIE, 2010. *Directiva 2010/31/UE* [en línea]. 2010/31/UE. UE : Diario Oficial n° L 153 de 18/06/2010 . 2010/31/UE. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010 , relativa a la eficiencia energética de los edificios (versión refundida). Recuperado a partir de : <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj> [accedido 14 enero 2024].

BPIE, 2017. *97% of buildings in the EU need to be upgraded* [en línea]. Recuperado a partir de : <http://www.bpie.eu/publication/97-of-buildings-in-the-eu-need-to-be-upgraded/> [accedido 29 agosto 2022].

BPIE, 2023. *Directiva 2023/1791/UE* [en línea]. 2023/1791/UE. 2023/1791/UE. Directiva 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de septiembre de 2023, relativa a la eficiencia energética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955. Recuperado a partir de : <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj> [accedido 22 febrero 2024].

CAÑIZARES RUIZ, María del Carmen, 2005. Los asentamientos humanos y la filosofía de la sostenibilidad. *Revista de Salud Ambiental, ISSN-e 1697-2791, Vol. 5, N°. 2, 2005 (Ejemplar dedicado a: VIII Congreso Nacional de Sanidad Ambiental Toledo, 15-17 de junio de 2005), págs. 126-130* [en línea]. Vol. 5, n.º 2, pp. 126-130. Recuperado a partir de : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5787710> [accedido 18 agosto 2022].

CARTA DE AALBORG, 1994. Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad. *Conferencia Europea sobre las Ciudades Sostenibles*.

CENSO, 2021. Viviendas según tipo de vivienda y año de construcción del edificio. *Censos 2021* [en línea]. 2021. Recuperado a partir de : <https://censos2021.es/viviendas-segun-tipo-de-vivienda-y-ano.1.px.1-11> [accedido 11 enero 2024].

CMMAD, 1987. *Nuestro Futuro Común. Informe de Brundtland. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml> [accedido 16 agosto 2022].

CNUMAD, 1992. *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* [en línea]. Río de Janeiro : ONU. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Recuperado a partir de : <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm> [accedido 16 agosto 2022].

COMISIÓN EUROPEA, 2019. *Buildings performance factsheet* [en línea]. Bruselas. Recuperado a partir de : https://energy.ec.europa.eu/publications/factsheet-energy-performance-buildings-directive_en [accedido 28 diciembre 2023].

COMISIÓN EUROPEA, 2020. *Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas*. . Bruselas.

CUCHÍ, Albert y DE LA PUERTA, Ignacio, 2016. Diagnóstico de la rehabilitación en Comunidades Autónomas. Luces y sombras de un sector que no despega. .

DATOSMACRO, 2022. Consumo de electricidad per cápita 2021 en Europa. [en línea]. 2022. Recuperado a partir de : <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo> [accedido 28 diciembre 2023].

ENERGY AGENCY, International, 2016. *Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos Estadísticos* [en línea]. France. Recuperado a partir de : www.iea.org/ [accedido 16 octubre 2023].

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2020. *Trends and projections in Europe 2020. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets*. DOI 10.2800/830157.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2021. *Trends and projections in Europe 2021* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021#additional-files> [accedido 15 diciembre 2023].

EUROSTAT, 2023. Energy consumption in households. *Eurostat Statistics Explained* [en línea]. junio 2023. Recuperado a partir de : https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Energy_products_used_in_the_residential_sector [accedido 28 diciembre 2023].

FORSTER, Hannah. et al., 2021. Trends and projections in Europe 2021. . pp. 1-41.

GBCE y DGNB, 2021. Construir un mundo mejor. Cómo contribuyen los edificios a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU . .

GBCE, 2021. *Informe País GBCE 2021. Sobre el estado de la edificación sostenible en España*. .

GRANADOS, Helena., 2014. *Rehabilitación energética de edificios*. Madrid : Tornapunta. Restauración y rehabilitación. ISBN 9788415977230.

HIGUERAS, Ester, 2009. *El reto de la ciudad habitable y sostenible*. 2009. Pamplona. España. ISBN 9788492507191.

IDAE, 2009. *Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción* [en línea]. Recuperado a partir de : https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_CALENER_07_Escala_Calif_Energetica_A2009_A_5c0316ea.pdf [accedido 11 agosto 2022].

IDAE, 2011. *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. .

IDAE, 2015. *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. .

IDAE, 2017. 2017-2020 National Energy Efficiency Action Plan. *IDAE-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. [en línea]. p. 218. Recuperado a partir de : https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_en.pdf

IDAE, 2019. Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado. *Guías IDAE*. Vol. 018.

IDAE, 2021a. Estado de la certificación energética de los edificios (10º Informe). .

IDAE, 2021b. Consumos del Sector Residencial en España. Resumen de Información Básica. *Consumos del Sector Residencial en España* [en línea]. 2021. Recuperado a partir de : https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf [accedido 8 octubre 2023].

IDAE, 2022. Guía práctica para la gestión de ayudas a la rehabilitación energética de edificios. .

IVE y GENERALITAT VALENCIANA, 2012. Catálogo de Elementos Constructivos del IVE . [en línea]. 2012. Recuperado a partir de : <https://cec.f-ive.es/catalogue> [accedido 12 enero 2024].

- MINISTERIO DE FOMENTO y INSTITUTO JUAN DE HERRERA, 2014. *Análisis de las características de la edificación residencial en España en 2011. Tomo 1.* . Madrid.
- MINISTERIO DE FOMENTO, 2019. *Real Decreto 732/2019* [en línea]. 314/2006. España. 314/2006. BOE-A-2019-18528. Recuperado a partir de : <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/12/20/732> [accedido 22 febrero 2024].
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, 2007. *Real Decreto 47/2007* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-2007-consolidado.pdf> [accedido 12 agosto 2022].
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, 2013. *Real Decreto 235/2013* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-3904-consolidado.pdf> [accedido 16 octubre 2023].
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, 2021. *Real Decreto 390/2021* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.boe.es/boe/dias/2021/06/02/pdfs/BOE-A-2021-9176.pdf> [accedido 17 octubre 2023].
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA, 2022. *CTE DB HE.* . Real Decreto 450/2022. España : CTE Documento Básico HE. Real Decreto 450/2022.
- MINISTERIO DE VIVIENDA et al., 2008. *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.* .
- MITECO, 2016. Procedimientos para la certificación de edificios . [en línea]. 2016. Recuperado a partir de : <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/certificacion-energetica/documentos-reconocidos/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.html> [accedido 10 enero 2024].
- MITECO, 2017. Acuerdo de París. [en línea]. 2017. Recuperado a partir de : <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.html> [accedido 27 diciembre 2023].
- ONU, 1992. Programa 21. [en línea]. 1992. Recuperado a partir de : <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm> [accedido 15 octubre 2023].
- ONU, 2012. Objetivos de Desarrollo Sostenible. [en línea]. 2012. Recuperado a partir de : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/> [accedido 27 diciembre 2023].
- ONU, 2015. Acuerdo de París. *Cop21*. Vol. 21930.
- ORTIZ PALAFOX, Karla Haydee, 2019. Sustentabilidad global: Principios y acuerdos internacionales. *Revista de Ciencias Sociales*. Vol. 25, n.º 4, pp. 75-86. DOI 10.31876/rcs.v25i4.30518.
- PÉREZ COBOS, Sergi, 2013. *Certificación energética en edificios existentes : criterios para la identificación de la envolvente térmica*. Barcelona : Marcombo. ISBN 9788426720566.
- REY MARTÍNEZ, F. Javier, 2018. *Eficiencia energética de los edificios : certificación energética*. Madrid : Paraninfo. ISBN 9788428339940.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2020. *Sistemas de rehabilitación energética para edificios de uso residencial. Guía para comunidades de propietarios y usuarios*. 2020 UPM. Madrid. ISBN 978-84-18661-01-3.
- ZABALZA, Ignacio et al., 2010. *Metodologías de análisis para la calificación energética de los edificios*. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza. Textos docentes ; 189. Eficiencia energética. ISBN 9788415031796.

8.2. DOCUMENTOS DIGITALES

AUTOR	DETALLE	AÑO
ASA	LIBRO: LA FACHADA DINÁMICA, por ASA. Junio, 2017.	2.017
COMISION EUROPEA	Informe: "Buildings performance factsheet".	2.018
COMISION EUROPEA	INFORME. La eficiencia energética de los edificios (In focus: Energy efficiency in buildings)	2.020
COMISION EUROPEA	FICHA. Factsheet - Energy Performance of Buildings	2.021
COMISION EUROPEA	FICHA. MAKING OUR HOMES AND BUILDINGS FIT FOR A GREENER FUTURE	2.021
BPIE	Informe de BPIE "97% of buildings in the EU need to be upgraded"	2.017
GBCe	INFORME. Posicionamiento del Green Building Council España sobre Economía Circular. Edición 2019.	2.019
GBCe	INFORME. Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible	2.020
GBCe	Informe País GBCe 2021. Sobre el estado de la edificación sostenible en España	2.021
ICAEN	INFORME. PREGUNTAS FRECUENTES SOBRE LAS HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN	2.020
IDAE	SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual. ESTUDIO IDEA 005.	2.019
IDAE	Informe Nro 9 del IDAE "Estado de la certificación energética de los edificios"	2.020
IDAE	Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual	2.019
IDAE	Informe Nro 10 del IDAE "Estado de la certificación energética de los edificios"	2.021

8.3. RECURSOS ELECTRÓNICOS

SITIO	ENLACE
AECID	https://www.aecid.es/EN/FCAS/Paginas/Que-es/Transp/objetivos-milenio.aspx
ARCHDAILY	https://www.archdaily.co/co/958603/quienes-son-lacaton-and-vassal-15-cosas-que-debes-conocer-sobre-los-ganadores-del-premio-pritzker-2021
ASA	https://www.sostenibilidadyarquitectura.com/biblioteca-normativa-construccion-tesis-arquitectura-sostenible/libros-urbanismo-arquitectura-sociedad-y-sostenibilidad/
BUILDING SMART ESPAÑA	https://www.buildingsmart.es/bim/
CENSOS 2021 (ESPAÑA)	https://censos2021.es/viviendas-segun-tipo-de-vivienda-y-ano.1.px.1-1
COMISION EUROPEA	https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/buildings_performance_factsheet_es.pdf
COMISION EUROPEA	https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_21_6691
COMISION EUROPEA	https://commission.europa.eu/system/files/2020-03/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_es.pdf
COMISION EUROPEA	https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_en
COMISION EUROPEA	https://data.europa.eu/doi/10.2775/637834
COMISION EUROPEA	https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/energy-efficiency.html
COMISION EUROPEA	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0662
CTE	http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=26
CYPE INGENIEROS S.A.	https://www.cype.es/cypeingenieros/
DATOSMACRO	https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo
DOGV	https://dogv.gva.es/es/eli/es-vc/d/2011/04/29/43/
DOGV	https://dogv.gva.es/es/proyecto-eli-identificador-legislatiu-europeu#que-normas
EL ORDEN MUNDIAL	https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/emisiones-co2-respecto-1990-protocolo-de-kioto/
EL PERIODICO DE ARAGON	https://www.elperiodicodearagon.com/cultura/2021/10/06/filosofia-lacaton-vassal-renovar-derribar-58093186.html
BPIE	http://www.bpie.eu/publication/97-of-buildings-in-the-eu-need-to-be-upgraded/
EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY	https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021
EUROSTAT STATISTICS EXPLAINED	https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Energy_products_used_in_the_residential_sector
GBCE	https://gbce.es/informes/
GENERALITAT VALENCIANA	https://habitatge.gva.es/es/web/arquitectura/aplicacion-informe-de-evaluacion-del-edificio
GENERALITAT VALENCIANA	https://habitatge.gva.es/va/web/arquitectura/informe-de-evaluacion-del-edificio
GENERALITAT VALENCIANA	https://www.gva.es/es/inicio/procedimientos?id_proc=15922&version=amp
GENERALITAT VALENCIANA	https://xarxaloc.es/ayudas-economicas/rehabilitacion-energetica-prtr/
GENERALITAT VALENCIANA	https://gceedadesobertes.aven.es/dadesobertes/
GLOBAL CARBON ATLAS	http://www.globalcarbonatlas.org/es/CO2-emissions
IDAE	https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/estudio_spahousec-ii_270619.pdf
IDAE	https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
IDAE	https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/convocatorias-cerradas/programa-de-ayudas
IDAE	https://sede.idae.gob.es/lang/modulo/?refbol=tramites-servicios&refsec=pareer-ii
IDAE	https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/programa-pree-5000-rehabilitacion
IVE	https://cec.f-ive.es/catalogue
IVE	https://www.five.es/project/ieev-cv/

IVE	https://productos.five.es/producto/cerma
IVE	https://xarxaloc.es/ayudas-economicas/rehabilitacion-energetica-prtr/
MITECO	https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Paginas/certificacion.aspx
MITECO	https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx
MITECO	https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx
ONU	https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm
ONU	https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter1.htm
ONU	https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml
ONU	https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm
ONU	https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/
OUR WORLD IN DATA	https://ourworldindata.org/renewable-energy
PARLAMENTO EUROPEO	https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20180703STO07123/cambio-climatico-en-europa-hechos-y-cifras
PARLAMENTO EUROPEO	https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200618STO81513/pacto-verde-europeo-clave-para-una-ue-climaticamente-neutral-y-sostenible
PARLAMENTO EUROPEO	https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20180703STO07129/respuestas-de-la-ue-al-cambio-climatico
PORTAL DE INGENIEROS ESPAÑOLES	https://www.ingenieros.es/noticias/ver/doce-anos-del-protocolo-de-kioto/6513
SDGF	https://www.sdgfund.org/es/de-los-odm-los-ods
SEDE ELECTRÓNICA DEL CATASTRO	https://www.sedecatastro.gob.es/
SELECTRA	https://selectra.es/energia/info/que-es/certificado-energetico#cuando-obligatorio-certificado-energetico
STATISTA	https://es.statista.com/grafico/9654/que-paises-forman-parte-del-acuerdo-de-paris/
UNFCCC	https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris
UNFCCC	https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris
VIELCA INGENIEROS	http://www.vielca.com/web/pages/areas/ice-cee-informacion.php