

IMPACTO DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DEL SIGLO XX.

Estudio de un aula de la Escuela Técnica Superior
de Ingenierías Industriales sede Paseo del Cauce.

Proyecto Fin de Master

Master en investigación e innovación en arquitectura.

*Intervención en el Patrimonio, Rehabilitación y
Regeneración.*

Autor: Ing. Inés María Pérez Castillo

Tutor: Dr. Arq. Alberto Grijalba Bengoetxea.

Julio 2025



Universidad de Valladolid

A Noel, Olguita e Irene

AGRADECIMIENTOS

A Jehová

A mi nueva familia

A mis nuevos amigos

A RR Ingenieros

A JST Arquitectura y Patrimonio S.L.

A Dr. Ing. Julio Francisco San José Alonso

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	4
a. Objetivos de la investigación	5
Objetivos generales	5
Objetivos específicos	6
b. Hipótesis	6
c. Metodología	6
II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO: EL VIDRIO COMO MATERIAL Y EL ORGANICISMO COMO INFLUENCIA.	9
a. La presencia del vidrio en el patrimonio arquitectónico del Siglo XIX, XX y XXI.	10
III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE: SOLUCIONES PASIVAS Y BIENESTAR TÉRMICO.	15
a. Las soluciones pasivas basadas en la radiación solar y los acristalamientos.	17
Tipologías de Ventanas, Materiales y Componentes: Caracterización de los Parámetros	18
b. Factores que influyen en el bienestar térmico. Variable de mayor influencia en el Bienestar global.	22
IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR. DB-HE CTE 2022 Y RITE 2021	27
a. Normativas de Ahorro Energético: DB-HE CTE 2022	28
b. Normativas para el bienestar térmico:	31
V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA: CYPECAD MEP Y CYPETHERM HE PLUS	32
a. CYPECAD MEP	33
b. CYPETHERM HE Plus	34

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.	38
a. El arquitecto y su obra. Principios del diseño.	39
b. Características físicas y geométricas del edificio, ubicación y entorno.	40
Ubicación y entorno	40
El edificio	41
El aula objeto de estudio	43
VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO DE LA EIIVA FRENTE A LA MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS HUECOS DE FACHADA.	46
a. Modelación y cálculo del aula de estudio en CYPE MEP y CYPE THERM.	47
b. Cumplimiento de la sección HE1. Comportamiento de las emisiones de CO ₂	50
c. Comportamiento de las condensaciones Intersticiales del muro. ...	53
d. Comportamiento de las condiciones de confort en el interior del aula de estudio para cada variante según los criterios del RITE.	53
VIII. CONCLUSIONES	59
IX. BIBLIOGRAFÍA	63
X. ANEXOS	67
1. Informes CYPETHERM para la Condición Inicial	68
1.1. Condición Inicial: Descripción de materiales y elementos constructivos	68
1.2 Descripción de los puentes térmicos lineales: Condición Inicial, Variante Recomendada, Variante Óptima.	73
1.3 Condición Inicial: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética.	75
1.4 Condición Inicial: Indicadores de eficiencia energética.	80
1.5 Condición Inicial: Consumo Energético.	81
1.6 Condensaciones. Condición Inicial, Variante Recomendada, Variante Óptima.	86
1.7 Condición Inicial: Confort Interior	99

2. Informes CYPETHERM para Variante Recomendada	100
2.1 Variante Recomendada: Descripción de materiales y elementos constructivos.	100
2.2 Variante Recomendada: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética.	101
2.3 Variante Recomendada: Indicadores de eficiencia energética.	106
2.4 Variante Recomendada: Consumo Energético.	107
2.5 Variante Recomendada: Confort Interior	112
3. Informes CYPETHERM para la Variante Óptima	113
3.1 Variante Óptima: Descripción de materiales y elementos constructivos.	113
3.2 Variante Óptima: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética.	114
3.3 Variante Óptima: Indicadores de eficiencia energética.	119
3.4 Variante Óptima: Consumo Energético.	120
3.5 Variante Óptima: Confort Interior	125

RESUMEN

La presente investigación evalúa el impacto de la mejora de los acristalamientos de fachada en edificios del siglo XX con valor patrimonial, con el objetivo de analizar su influencia en el confort térmico interior y la demanda energética. Se busca verificar el cumplimiento de las exigencias de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía (CTE DB-HE 2022), contrastando los resultados obtenidos con los criterios de confort establecidos en el RITE.

El estudio se desarrolla a partir del caso de un aula docente con orientación suroeste, ubicada en la sede del Paseo del Cauce de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Mediante el uso de herramientas de simulación energética como CYPE MEP y CYPETHERM HE Plus, se comparan distintas configuraciones de huecos, clasificadas como condición inicial, variante recomendada y variante óptima.

El análisis integra criterios normativos, antecedentes energéticos y térmicos del mismo edificio, así como las características técnicas de los componentes de la ventana, tales como el acristalamiento y los marcos. Los resultados demuestran que es posible mejorar de forma significativa el comportamiento térmico del edificio mediante soluciones pasivas compatibles con su valor patrimonial, reduciendo la demanda energética y optimizando el confort interior sin comprometer su integridad arquitectónica. La investigación concluye con una serie de recomendaciones técnicas aplicables a intervenciones similares en el patrimonio arquitectónico del siglo XX.

ABSTRACT

This research evaluates the impact of improving façade glazing in 20th-century buildings of heritage value, with the aim of analyzing its influence on interior thermal comfort and energy demand. The aim is to verify compliance with the requirements of Section HE1 of the Basic Energy Saving Document (CTE DB-HE 2022), comparing the results obtained with the comfort criteria established in the RITE (Spanish Institute of Building and Construction Technology)

The study focuses on the case of a southwest-facing classroom located at the Paseo del Cauce campus of the School of Industrial Engineering of the University of Valladolid. Using energy simulation tools such as CYPE MEP and CYPETHERM HE Plus, different opening configurations are compared, classified as initial conditions, recommended variants, and optimal variants.

The analysis integrates regulatory criteria, energy and thermal data from the building itself, as well as the technical characteristics of window components, such as glazing and frames. The results demonstrate that it is possible to significantly improve the building's thermal performance through passive solutions compatible with its heritage value, reducing energy demand and optimizing interior comfort without compromising its architectural integrity. The research concludes with a series of technical recommendations applicable to similar interventions in 20th-century architectural heritage.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de crisis climática y transición energética, la rehabilitación del parque edificado existente se ha consolidado como una prioridad estratégica a nivel europeo y nacional. En este escenario, los edificios del siglo XX con valor patrimonial presentan un doble desafío: garantizar la conservación de su identidad arquitectónica al tiempo que se adecuan a las crecientes exigencias normativas en materia de eficiencia energética y confort interior.

Entre los elementos más sensibles en este tipo de intervenciones se encuentran los huecos de fachada, particularmente los acristalamientos, que constituyen uno de los puntos más débiles de la envolvente térmica. Su mejora implica el desarrollo de soluciones técnicamente eficaces, reversibles y compatibles con los criterios de protección patrimonial, así como con las normativas vigentes que regulan la demanda energética, el confort ambiental y las intervenciones arquitectónicas en edificios protegidos o de interés cultural.

La presente investigación defiende la necesidad de evaluar estrategias de intervención pasiva y no invasiva que permitan optimizar las condiciones de confort térmico y reducir el consumo energético en edificios patrimoniales del siglo XX. A través del uso de herramientas de simulación y el análisis normativo, se demuestra que es posible alcanzar los estándares actuales sin comprometer la integridad formal ni los valores culturales del edificio. Estudios como este contribuyen a establecer criterios técnicos replicables que faciliten la toma de decisiones en procesos de rehabilitación energética del patrimonio moderno, favoreciendo un equilibrio entre sostenibilidad, habitabilidad y conservación arquitectónica.

a. Objetivos de la investigación

Objetivos generales

Evaluar el impacto de la mejora de los acristalamientos de fachada en edificios del siglo XX con valor patrimonial en términos de confort térmico interior y demanda energética para cumplimiento de las exigencias de la sección HE1 del CTE DB-HE 2022, mediante simulaciones energéticas aplicadas a un caso de estudio.

Objetivos específicos

- Analizar el aporte de las soluciones pasivas en el bienestar térmico y la eficiencia energética de edificios existentes con valor patrimonial, en el marco de la arquitectura sostenible.
- Revisar las normativas vigentes (CTE DB-HE, RITE) que condicionan el diseño de los cerramientos en rehabilitación energética.
- Caracterizar los distintos tipos de ventanas y sus componentes: acristalamientos y marcos, identificando sus prestaciones térmicas y su influencia en el comportamiento global del cerramiento.
- Modelar energéticamente un aula de estudio con orientación suroeste de la Sede Paseo del Cauce de la Escuela de ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, evaluando la condición inicial y variantes de mejora mediante CYPE MEP y CYPE THERM.
- Evaluar y comparar el comportamiento energético y de confort térmico interior para distintas soluciones de acristalamiento, según criterios normativos y técnicos.
- Determinar cuál de las variantes analizadas ofrece el mejor equilibrio entre eficiencia energética, confort interior y viabilidad técnica en un contexto patrimonial.

b. Hipótesis

La intervención sobre los acristalamientos de fachada en edificios del siglo XX con valor patrimonial puede mejorar significativamente las condiciones de confort térmico interior y reducir la demanda energética, contribuyendo al cumplimiento de diversas exigencias del CTE DB-HE 2022 y el RITE, sin comprometer los valores patrimoniales del inmueble.

c. Metodología

La presente investigación adopta una metodología cuantitativa, aplicada y comparativa, sustentada en el uso de herramientas de simulación energética y en el análisis detallado del marco normativo vigente. El objetivo principal es evaluar el impacto de la mejora de los acristalamientos de fachada en edificios del siglo XX con valor patrimonial, centrándose en su efecto sobre el confort térmico interior y la demanda energética, y

I. INTRODUCCIÓN

verificando el cumplimiento de la exigencia básica HE1 del Documento Básico HE del CTE 2022, así como de los criterios de confort establecidos por el RITE y la norma UNE-EN ISO 7730.

El enfoque adoptado es de tipo experimental-simulado, y se basa en un estudio de caso aplicado a un aula docente con orientación suroeste ubicada en el edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales, sede Paseo del Cauce, de la Universidad de Valladolid. La selección del caso responde a dos criterios fundamentales: su representatividad como muestra de la arquitectura institucional del siglo XX español con valor patrimonial, y la disponibilidad de estudios energéticos previos realizados por el Grupo de Termotecnia de la propia institución, lo que permite contar con información técnica fiable para el desarrollo del modelo.

La metodología parte del levantamiento arquitectónico y la caracterización física tanto del edificio como del aula seleccionada de forma más detallada, incluyendo geometría, orientación, sistemas constructivos, materiales y configuración de los huecos solicitados por el software para realizar una simulación lo más cercana a las condiciones reales. A partir de la información recopilada, se construyen modelos energéticos del aula en los programas CYPE MEP y CYPETHERM HE Plus, que permiten simular el comportamiento energético y térmico de las distintas variantes bajo las condiciones climáticas de Valladolid

Se simulan tres escenarios diferenciados:

1. **Condición Inicial:** representa el estado actual del aula, sin intervención sobre los huecos de fachada.
2. **Variante Recomendada:** plantea la sustitución de los acristalamientos según los valores guía propuestos por la Guía de aplicación del DB-HE 2019 (versión 2022) para edificios existentes no residenciales en zona climática D2. Se emplea un doble acristalamiento 4/20/6 con cámara de aire y vidrio exterior con baja emisividad, junto a un marco de aluminio con rotura de puente térmico (BE 4/20/6 AL RPT), alcanzando una transmitancia térmica del hueco $U_h = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, manteniendo la proporción de marco, la estética y el color original.
3. **Variante Óptima:** refina la Variante Recomendada mediante ajustes técnicos orientados a lograr el

I. INTRODUCCIÓN

cumplimiento completo de la sección HE1 del DB-HE 2022, es decir, se emplea un doble acristalamiento 4/20/6 con cámara de aire y vidrio exterior con baja emisividad y control solar, junto a un marco de PCV foliado en ambas caras ($BE_{\text{selectivo}}4/20/6$ PVC), alcanzando una transmitancia térmica del hueco $U_h = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, manteniendo la proporción de marco, la estética y el color original.

Cada variante incorpora cambios exclusivamente en los huecos de fachada (acristalamientos y marcos), respetando los criterios de compatibilidad formal con el edificio. Los elementos se definen con base en catálogos técnicos, parámetros normativos y productos disponibles en el mercado.

El análisis comparativo entre variantes se centra en los siguientes indicadores:

1. Demanda energética de calefacción y refrigeración ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$).
2. Emisiones de CO_2 .
3. Comportamiento higrotérmico de los cerramientos: evaluación de condensaciones superficiales e intersticiales mediante el módulo de análisis higrotérmico de CYPETHERM.
4. Horas fuera de consigna
5. Condiciones de temperatura operativa y humedad relativa interior frente al RITE.

Los resultados obtenidos tienen la base en estudios previos realizados en el mismo edificio de parámetros térmicos específicos desarrollados por el Grupo de Termodinámica de la Escuela de Ingenierías Industriales, así como con el estudio de literatura especializada sobre rehabilitación energética con soluciones pasivas y sobre los fundamentos de la arquitectura del siglo XX.

Finalmente, la investigación formula recomendaciones técnicas aplicables a otros casos similares, con criterios replicables de selección de soluciones de acristalamiento compatibles con la normativa vigente y los principios de conservación arquitectónica.

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO: EL VIDRIO COMO MATERIAL Y EL ORGANICISMO COMO INFLUENCIA.

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

a. La presencia del vidrio en el patrimonio arquitectónico del Siglo XIX, XX y XXI.



1 Vitrales de la Catedral Notre-Dame de Paris. (EL PARIS HISTÓRICO, 2025) (EL PARIS HISTÓRICO, 2025)

Desde tiempos antiguos, el vidrio ha sido empleado en la construcción de elementos arquitectónicos en distintas culturas del mundo, destacándose especialmente en los vitrales de las catedrales europeas. Sin embargo, fue a partir de la Revolución Industrial cuando este material experimentó una transformación significativa, gracias al desarrollo de nuevos métodos de producción de vidrio plano a gran escala. Estos avances lo convirtieron en un material más accesible y funcional para la arquitectura, ampliando sus aplicaciones más allá del ámbito ornamental.

Inicialmente incorporado en estructuras temporales, el vidrio fue ganando presencia en edificaciones permanentes, donde comenzó a asociarse con cualidades como la rapidez constructiva, la higiene y una nueva percepción del espacio interior. Su utilización resultó decisiva en la redefinición de las ciudades modernas.

En este contexto surge la denominada arquitectura ferroviaria, basada en el uso combinado de hierro y vidrio, una técnica constructiva característica del siglo XIX que encontró amplia difusión en estaciones ferroviarias, mercados cubiertos y galerías comerciales.



2 Galería Real de Bruselas

Respecto a las galerías comerciales, uno de los primeros ejemplos destacados en Europa Occidental es la galería Burlington Arcade, inaugurada en Londres en 1819. Hacia mediados del siglo, la Galería Real de Bruselas aspiró a superar las construcciones precedentes en escala y ambición, consolidándose hoy como un referente turístico y patrimonial en la capital belga. De manera análoga, en Valladolid se erigió el Pasaje Gutiérrez en 1886, un claro ejemplo del fenómeno de las galerías acristaladas en menor escala, inspirado en modelos europeos y orientado a la modernización urbana. (Giposkua, 2025)



3 Edificio de la Bauhaus. Arq. A. Gropius

El siglo XX supuso una etapa de innovación decisiva para los cerramientos de vidrio. La invención del vidrio laminado y templado mejoró sustancialmente la seguridad y resistencia del material, al tiempo que los avances en sistemas de sellado y eficiencia energética consolidaron su uso en la edificación residencial, comercial e institucional.

La arquitectura moderna temprana adoptó el vidrio como símbolo de transparencia y funcionalidad. El edificio de la Bauhaus en Dessau, proyectado por Walter Gropius, constituye

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

un ejemplo paradigmático de esta tendencia: sus amplias superficies acristaladas expresan una estética racionalista y un enfoque integral del diseño, abarcando desde la arquitectura hasta el diseño gráfico e industrial. (Archdaily, s.f., pág. s)



4 Fachadas de Lake Shore Drive 860-880.
Arq. M.V. der Rohe

Asimismo, los Apartamentos Lake Shore Drive 860–880 (Chicago, 1949), diseñados por Mies van der Rohe, introdujeron una tipología estructural y formal, basada en vidrio y acero, que marcaría la expansión global del Estilo Internacional. Estas torres, consideradas emblemas de su tiempo, fueron reconocidas como Chicago Landmarks en 1996. (Architecture, s.f.)

En España, la modernización técnica de la arquitectura con vidrio encuentra un hito significativo en las Torres Colón de Madrid (1967–1976), obra del arquitecto Antonio Lamela, presentadas en el Congreso Mundial de Arquitectura y Obra Pública en Nueva York, 1975 como el edificio más avanzado tecnológicamente hasta la fecha. (Lamela, s.f.) Estas torres, construidas mediante un innovador sistema de suspensión estructural, integran vidrio y hormigón pretensado como elementos centrales de una propuesta arquitectónica audaz y experimental. Las intervenciones posteriores, particularmente las reformas de los años 1990 y la reciente rehabilitación energética finalizada en 2024, han permitido la obtención de la certificación LEED Oro y el inicio del proceso para lograr la certificación WELL, consolidándolas como un modelo de Edificio de Consumo Casi Nulo (ECCN). (EL PAIS, 2025)



5 Torres Colón, Madrid 1975.
Arq. Antonio Lamela

Desde el siglo XIX hasta nuestros días, la tecnología asociada a los cerramientos de vidrio ha experimentado una evolución vertiginosa. En la actualidad, los sistemas de fachada acristalada incorporan soluciones altamente sofisticadas, como el vidrio inteligente, capaz de modificar su opacidad en función de la luz o la temperatura, mejorando así el confort, la eficiencia energética y la privacidad de los espacios interiores.

El uso contemporáneo del vidrio alcanza uno de sus máximos exponentes en el Burj Khalifa de Dubái, inaugurado en 2010. Este rascacielos, el más alto del mundo, ostenta también el récord de la instalación de fachada de vidrio y aluminio a mayor altitud (512 metros). El acristalamiento empleado proporciona control solar, aislamiento térmico y resistencia frente a condiciones climáticas extremas, como fuertes vientos y actividad sísmica, cumpliendo con exigencias tanto funcionales como medioambientales. (Cristel, 2025)



6 Burj Khalifa, Dubái. Arq. Adrian Smith

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

La arquitectura organicista. Aportes al patrimonio edificado mundial.

La arquitectura organicista surge como una propuesta filosófica y proyectual que busca integrar la edificación con el entorno natural de manera armónica, evitando rupturas visuales, materiales o espaciales. Esta corriente se fundamenta en una visión holística del universo heredada del organicismo filosófico, corriente de pensamiento que remonta sus orígenes al siglo V a.C., cuando el filósofo griego Anaxágoras formuló los primeros postulados sobre la naturaleza como un todo vivo e interrelacionado (EncyclopaediaHerder, 2017). A diferencia del mecanicismo, que interpreta el universo como una máquina, el organicismo concibe la realidad como un sistema dinámico en el que cada elemento adquiere sentido solo en relación con el conjunto.

Aplicado a la arquitectura, este enfoque se consolida a principios del siglo XX bajo el nombre de arquitectura organicista, en oposición a la rigidez racionalista de la época. El máximo exponente de esta corriente fue Frank Lloyd Wright, quien en 1908 publica en la revista *Architectural Record* de Estados Unidos el manifiesto de esta tendencia proyectual. En su texto “Manifiesto por la arquitectura orgánica”, Wright expone los principios esenciales de su propuesta, enunciando ideas fundamentales como: “...la forma es predicada por la función, pero la trasciende...”; “Las imitaciones de la imitación destruyen una tradición original”; “...el sentido de la profundidad que surge de la cosa y no sobre ella...” (RetoKömmerling, 2020)

Estas afirmaciones reflejan una concepción de la arquitectura como un proceso vital, en el que forma, función, contexto y materialidad están íntimamente vinculados. Los edificios, en este marco, no deben imponerse sobre el entorno, sino emerger de él, como una manifestación más del paisaje. Los principios fundamentales de la arquitectura organicista incluyen (RetoKömmerling, 2020):

- *Adaptabilidad funcional*: los espacios deben ser flexibles y capaces de evolucionar con el tiempo según las necesidades humanas.
- *Integración con el entorno*: se concibe la edificación como una prolongación del paisaje, no como una irrupción artificial.

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

- *Materialidad natural:* se favorece el uso de materiales locales, de origen natural, con mínima transformación industrial.
- *Luz y ventilación natural:* se maximiza la eficiencia ambiental mediante recursos pasivos.
- *Asimetría y formas orgánicas:* se rechazan las composiciones simétricas o impuestas, en favor de formas que emulan la complejidad de la naturaleza.

Dos ejemplos paradigmáticos: Wright y Gaudí



7 La Casa de la Cascada Arq. F.L. Wright

La Casa Kaufmann (1937), también conocida como la Casa de la Cascada, ubicada en Pennsylvania, es desde 1966 Monumento Histórico Nacional de Estados Unidos. Esta vivienda de descanso redefine la relación entre el ser humano y la naturaleza mediante un diseño que se funde visual y estructuralmente con el entorno natural. En esta obra, Frank Lloyd Wright materializa su ideal: que la casa no pareciera construida, sino que “hubiera nacido” del lugar. Los volúmenes en voladizo se proyectan sobre la cascada sin perturbar su curso, mientras que los materiales piedra, hormigón y vidrio; dialogan con el paisaje rocoso y boscoso que la rodea. (CUPAGROUP, 2022)



8 Técnica del trencadís en el Parque Güell. Arq. A. Gaudí

Otro ejemplo insoslayable es el Parque Güell (1926), en Barcelona, obra de Antoni Gaudí, quien representa el organicismo con un enfoque profundamente ligado a la naturaleza y a la tradición artesanal catalana. Desde 1969 es declarado Bien de Interés Cultural (BIC) por el Estado español y en 1984 es considerado Patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO como parte del conjunto “Obras de Antoni Gaudí”. En esta obra, Gaudí traslada formas vegetales y geológicas a pabellones, columnas y caminos curvos que evocan procesos naturales de crecimiento. Su uso del trencadís, técnica que reutiliza fragmentos de cerámica para formar mosaicos, anticipa el concepto de economía circular mucho antes de su formulación contemporánea. Este reciclaje creativo y consciente es testimonio de una mentalidad proyectual que entiende la arquitectura como parte de un sistema ecológico y cultural. (CUPAGROUP, 2022)

Aunque el organicismo arquitectónico nació como una expresión artística y filosófica, en la actualidad sus principios encuentran continuidad en la arquitectura bioclimática y la arquitectura sostenible, ambas derivadas de la necesidad urgente de responder a los desafíos medioambientales contemporáneos.

II. PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO MODERNO

La arquitectura bioclimática retoma el vínculo directo con el clima y el lugar. Utiliza estrategias pasivas, como la orientación solar, la inercia térmica o la ventilación natural, para reducir la demanda energética sin comprometer el confort. Esta disciplina, fuertemente técnica, traduce la sensibilidad del organicismo en herramientas concretas de diseño climático.

Por su parte, la arquitectura sostenible se basa en el uso racional de los recursos naturales, la eficiencia energética, la reducción de emisiones de carbono y la mejora del bienestar interior. No se limita a minimizar el impacto ambiental de los edificios, sino que plantea un enfoque integral que contempla el ciclo de vida completo de la edificación, desde el diseño hasta la operación y eventual demolición. Actualmente, la sostenibilidad no es solo un valor añadido, sino una exigencia normativa, como reflejan regulaciones como el CTE DB-HE 2022 o las certificaciones internacionales LEED, WELL, BREEAM, entre otras.

En definitiva, la arquitectura del presente debe recuperar la conexión con la naturaleza que defendían figuras como Wright o Gaudí, pero traducida ahora en acciones medibles, técnicas y normativas, que garanticen un entorno construido viable, resiliente y éticamente sostenible.

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE:
SOLUCIONES PASIVAS Y BIENESTAR
TÉRMICO.

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

A lo largo de la historia, el ser humano ha sabido aprovechar las energías naturales como un recurso esencial para su supervivencia y desarrollo. Estas fuentes, inagotables a escala humana y disponibles en el entorno inmediato, han sido utilizadas inicialmente de forma empírica y directa, y más tarde de manera racional y técnica, con fines energéticos, productivos y de confort. (Neila, 2004)

Las energías naturales son aquellas que se originan en procesos físicos y naturales continuos, y pueden clasificarse según su origen en:

- **Energía solar:** Procedente de la radiación emitida por el Sol, es la fuente primaria de casi todas las demás energías naturales. Puede aprovecharse directamente como calor (solar térmico), como fuente de electricidad (fotovoltaica), o pasivamente, mediante la captación solar en la arquitectura para calefacción e iluminación.
- **Energía eólica:** Generada por el movimiento del aire como consecuencia de las diferencias de presión atmosférica provocadas por el calentamiento desigual de la superficie terrestre.
- **Energía hidráulica:** Resultado del ciclo hidrológico impulsado por la energía solar, esta fuente aprovecha el movimiento del agua en ríos o saltos naturales para generar energía mecánica o eléctrica.
- **Energía geotérmica:** Tiene origen en el calor interno de la Tierra, proveniente de la desintegración de elementos radiactivos y del calor remanente de la formación del planeta. Su aprovechamiento permite generar electricidad o climatizar espacios mediante sistemas de intercambio térmico.
- **Energía de la biomasa:** Resulta de procesos biológicos, especialmente la fotosíntesis, que almacenan energía solar en materia orgánica.

Todas estas fuentes comparten el carácter de ser renovables y, en muchos casos, de bajo impacto ambiental si se gestionan de forma sostenible. Su aprovechamiento ha sido parte de la evolución cultural y tecnológica de las civilizaciones, y hoy

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

constituyen el eje fundamental de la transición energética hacia modelos bajos en carbono.

En el ámbito de la edificación y la planificación urbana, el uso inteligente y racional de estas energías naturales, ya sea a través de sistemas pasivos o mediante tecnologías activas, permite reducir la dependencia de fuentes fósiles, mejorar el confort ambiental y disminuir la huella energética del entorno construido. Sin embargo, su aprovechamiento efectivo requiere un conocimiento profundo del clima local, la geografía y los ciclos naturales, así como una adecuada integración en los criterios normativos.

a. Las soluciones pasivas basadas en la radiación solar y los acristalamientos.

En condiciones de invierno, la fuente de energía térmica natural exterior por excelencia es la radiación solar. Desde el punto de vista del diseño de los edificios y la concepción de los sistemas pasivos de aprovechamiento todo se orienta a la captación, acumulación y distribución de la energía solar. (Neila, 2004)

Las estrategias pasivas de captación de energía solar se basan en la forma en que esta energía es absorbida y utilizada dentro del edificio. Según el momento en que se aprovecha la radiación solar esta se considerará como captación directa o retardada. En la primera la energía solar es absorbida y utilizada de forma inmediata y en la segunda la energía se acumula primero en un elemento intermedio y se libera al interior transcurrido un período de tiempo.

No obstante, en la práctica no existe un sistema completamente directo ni completamente retardado. La clasificación se establece, por tanto, según el predominio de una u otra forma de funcionamiento. Así, se distinguen los siguientes tipos de sistemas pasivos (Neila, 2004):

- Sistema de captación directa
- Sistema de captación directa con lazo convectivo.
- Sistema de captación retardada por acumulación
- Sistema de captación directa con acumulación y lazo convectivo.

Los elementos arquitectónicos de captación incluyen desde ventanas y lucernarios, empleados en los sistemas de captación directa, hasta cubiertas y cerramientos con

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

propiedades físicas específicas que permiten retardar la transmisión del calor, actuando como acumuladores térmicos.

Los sistemas de captación directa se basan principalmente en la disposición de superficies acristaladas adecuadamente orientadas. Su implementación requiere únicamente de un diseño arquitectónico adecuado, sin necesidad de inversiones adicionales, lo que otorga una alta relación efectividad/coste. Sin embargo, presentan ciertas limitaciones, entre las que destacan la dependencia directa de la radiación solar disponible y la distribución desigual del calor, debido a un proceso de acumulación difícilmente controlable.

Tipologías de Ventanas, Materiales y Componentes: Caracterización de los Parámetros

En el marco de la envolvente térmica de un edificio, las ventanas representan uno de los elementos constructivos más sensibles y determinantes en la respuesta energética global. Constituyen una fuente significativa de pérdidas térmicas en invierno y de sobrecalentamiento en verano. Por tanto, su diseño y selección impactan directamente en las condiciones de confort térmico, lumínico y en la calificación energética del edificio. (Neila, 2004)

Los proyectos de rehabilitación energética deben prestar especial atención al control solar y al uso de sistemas de protección solar que minimicen el sobrecalentamiento estival. La integración arquitectónica de estos sistemas y la mejora tecnológica en los acristalamientos permiten actualmente mantener elevados niveles de confort lumínico sin comprometer la eficiencia energética.

Las prestaciones térmicas que caracterizan a una ventana permiten evaluar su comportamiento frente a la transmisión de calor, la entrada de radiación solar y su eficiencia energética global dentro de un cerramiento.

La primera de estas prestaciones es la **Transmitancia Térmica (U)**, esta mide la cantidad de calor que atraviesa la ventana por unidad de tiempo y superficie, por diferencia de temperatura entre sus caras. Se expresa en $W/m^2 \cdot K$. A menor valor U, mayor eficiencia térmica.

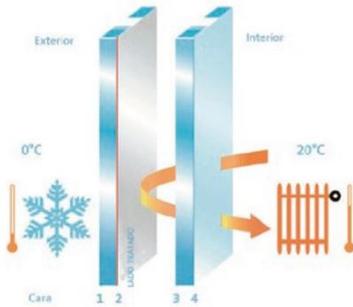
III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Para el cálculo de la transmitancia de huecos (U_h), se utiliza la norma UNE-EN ISO 10077-1:

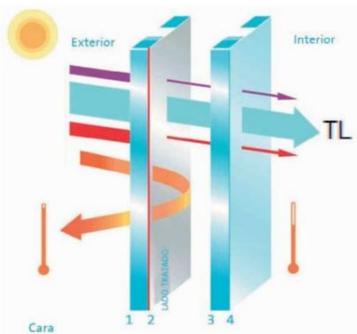
$$U_h = (A_{hv} \cdot U_{hv} + A_{hm} \cdot U_{hm} + l_v \cdot \Psi_v + A_{hp} \cdot U_{hp} + l_p \cdot \Psi_p) / (A_{hv} + A_{hm} + A_{hp})$$

Donde:

- U_{hv} : transmitancia del acristalamiento
- U_{hm} : transmitancia del marco
- U_h : transmitancia del hueco
- Ψ_v, Ψ_p : transmitancias térmicas lineales (marco-acristalamiento y marco-panel opaco)
- A_{hv}, A_{hm}, A_{hp} : áreas respectivas
- l_v, l_p : longitudes de acoplamiento



9 Funcionamiento de la capa bajo emisiva en invierno.



10 Reducción de los rayos infrarrojos, ultravioletas, transmisión luminosa y térmica con la capa BE.

Otro es, el **Factor Solar Modificado (F)**, que representa la fracción de radiación solar incidente que no es bloqueada por elementos de fachada y partes opacas del hueco. Se calcula como:

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

Donde:

- F_s : factor de sombra
- F_m : fracción del marco en el hueco
- g : factor solar de la parte semitransparente
- U_m : transmitancia térmica del marco
- α : absorptividad del marco

La **Permeabilidad al Aire**, otro factor que influye en la calidad de las ventanas, representa la cantidad de aire que atraviesa la ventana debido a una diferencia de presión. Se ensaya según la UNE-EN 12207, clasificándose en cinco clases (0 a 4), siendo la clase 4 la más estanca y eficiente.

Estanqueidad al agua (UNE-EN 12208): Capacidad de la ventana para resistir la penetración de agua bajo presión.

Resistencia al viento (UNE-EN 12210): Capacidad estructural ante presiones de viento sin deformaciones o fallos.

De forma general estos son los más relevantes y por los que se pueden clasificar las ventanas.

Las ventanas de fachada son técnicamente un conjunto de elementos y materiales. Y actualmente el predominio en las ventanas lo tiene el acristalamiento (Onventana, 2021)

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Actualmente, el vidrio, además de proporcionar iluminación natural y contacto visual con el exterior, puede contribuir significativamente al aislamiento térmico, acústico y a la seguridad. Entre sus principales parámetros están:

Transmitancia Térmica (Ug): Depende del tipo de vidrio, número de capas y el gas de la cámara intermedia (aire, argón).

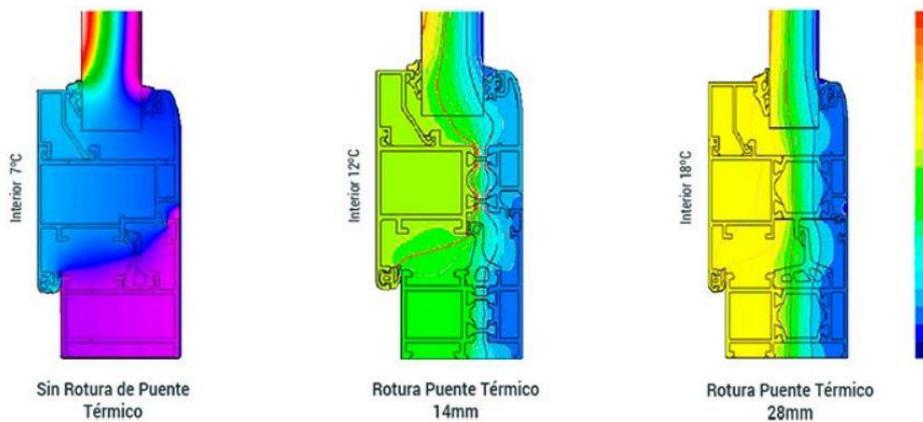
Factor Solar (g): Energía solar total transmitida (UV, visible, IR). Un valor bajo reduce la carga térmica en verano.

Transmisión Luminosa (TL): Porcentaje de luz visible transmitida. Valores cercanos al 80% son comunes en dobles acristalamientos neutros.

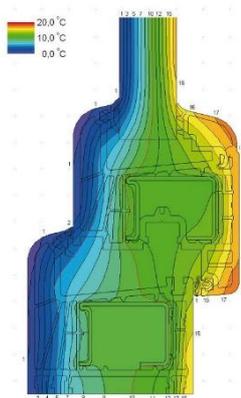
Selectividad (TL/g): Relación entre transmisión luminosa y factor solar. Vidrios de alta selectividad ($TL/g > 2$) permiten máxima luz con mínimo calor.

Los acristalamientos bajo emisivos y con control solar han evolucionado notablemente desde los años 80, permitiendo un mejor balance entre protección solar y aprovechamiento de la luz natural, adaptando su selección según orientación y tamaño del hueco.

El segundo componente más representativo de una ventana es, sin dudas el marco. Este influye directamente en la eficiencia global de la ventana. Los materiales más comunes son:



12 Efecto de la RPT en perfiles de aluminio ante diferencias de temperatura elevadas.



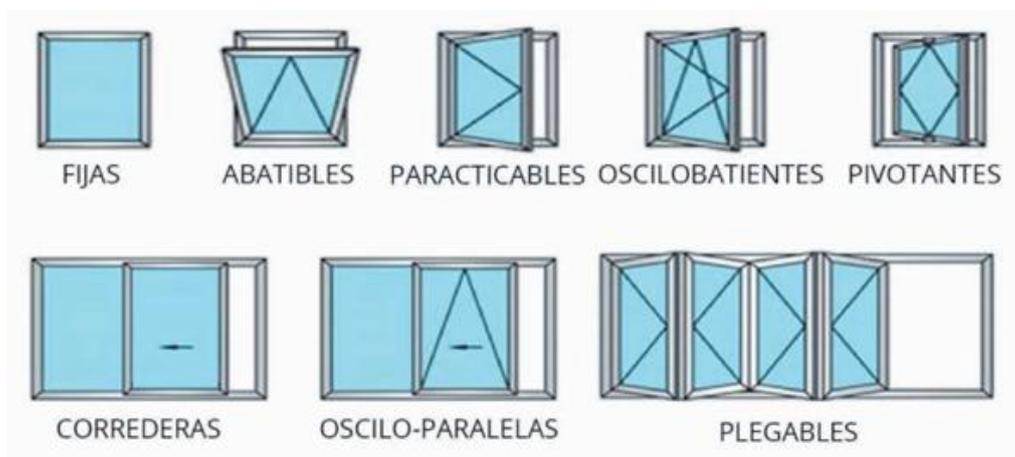
Transmitancia Térmica (Uf): Depende material con que este elaborado (ALUMINIO, PVC, Madera), el espesor, el número de cámaras de aire o aisladas con poliamidas reforzadas.

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Superficie visible del marco (factor de marco): Define el porcentaje de superficie del hueco ocupado por el marco frente a la superficie acristalada.

Estanqueidad al aire y al agua: capacidad del marco para evitar infiltraciones.

Tipo de Apertura y herrajes: Según el tipo están; fija, practicable, abatible, oscilobatiente, corredera y pivotante. Y en cuanto al herraje, los sistemas modernos incluyen herrajes que permiten microventilación según DB-HS del CTE, mediante una apertura parcial del herraje para asegurar la renovación del aire. Cuantos más puntos de cierre tenga el sistema, mayor será su hermeticidad y eficiencia.



13 Tipo de apertura en ventanas acristaladas.

La selección de ventanas de alta eficiencia energética permite una mejora significativa del confort interior y una reducción de la demanda energética del edificio. (Onventanas, 2021) Dos aspectos clave a considerar son:

Puentes Térmicos: Causan entre el 15% y 25% de las pérdidas energéticas. Generan riesgo de condensaciones y reducen la sensación de confort.

Estanqueidad al Aire: El 30%-40% de las fugas de aire se producen en las ventanas. Su sellado adecuado evita infiltraciones, pérdidas de energía (>13%) y mejora el confort térmico, acústico y la calidad del aire interior.

Condensaciones y durabilidad de la envolvente

Una parte esencial del análisis térmico es la evaluación de las condensaciones superficiales e intersticiales, que pueden

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

comprometer la salubridad, el confort y la durabilidad del edificio. Las condensaciones superficiales se producen cuando la temperatura interior de una superficie desciende por debajo del punto de rocío, mientras que las intersticiales tienen lugar en el interior de los cerramientos por acumulación de vapor de agua. Las limitantes de estas se recogen en el DB-HE del CTE.

b. Factores que influyen en el bienestar térmico. Variable de mayor influencia en el Bienestar global.

El ser humano desarrolla sus actividades en ambientes rodeados de múltiples estímulos: higrotérmicos, acústicos, lumínicos y olfativos. Los órganos receptores perciben estos estímulos, generando una excitación que se transmite hasta el cerebro, donde se produce una imagen del fenómeno y una respuesta que puede manifestarse como una reacción placentera o molesta en el organismo. No obstante, la sensación de bienestar o incomodidad resulta de la combinación compleja de dichos estímulos y su acción simultánea. Existen, además, factores personales que influyen en la percepción ambiental, como el estado de salud, el cansancio o el estrés. Sin embargo, desde el punto de vista del diseño ambiental, los parámetros regulables son los higrotérmicos, acústicos, lumínicos y los vinculados a la calidad del aire. Que matemáticamente puede expresarse como (Neila, 2004):

$$B_{\text{global}} = f(B_{\text{ht}}, B_{\text{lum}}, B_{\text{acu}}, B_{\text{olf}})$$

Desde la arquitectura, e independientemente de las interacciones entre estímulos, es necesario definir los parámetros específicos que permitan alcanzar una sensación plena de bienestar, y concretarlos en condiciones particulares de diseño. Estas condiciones son (Neila, 2004):

- Condiciones del ambiente luminoso
- Condiciones del ambiente acústico
- Condiciones del ambiente higrotérmico
- Condiciones vinculadas a la calidad del aire

A continuación, se resumen las principales normativas aplicables según el ámbito territorial:

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Condición ambiental	España (CTE / UNE / RITE)	Normas Europeas (EN)	Normas Internacionales (ISO)
Luminoso	CTE DB HE3 UNE-EN 12665 UNE-EN 13032-1	EN 12464-1	ISO 8995-1 (= EN 12464-1)
Acústico	CTE DB HRE UNE 74201	EN 12354 (partes 1-6)	ISO 3382 ISO 16283-1
Higrotérmico	CTE DB HE0, HE1 CTE DB HS1 RITE	EN ISO 7730 EN 16798-1 (ex EN 15251)	ISO 7730 ISO 7726 ISO 16813
Calidad del aire	CTE DB HS3 RITE	EN 13779 EN 16798-3	ISO 16000 (serie) ISO 16890

Tabla 1 Normativas aplicables a las condiciones de bienestar

Condiciones de Diseño Higrotérmico

Los seres humanos obtienen energía de las calorías aportadas por los alimentos. Una vez metabolizadas, estas se transforman en otras formas de energía o se acumulan en compuestos más simples como grasas o hidratos de carbono. Las formas en que se transforma dicha energía incluyen la energía mecánica, eléctrica o calorífica.

Debido a que, en la mayoría de los casos, la temperatura del cuerpo humano es superior a la del entorno, se produce de forma continua una pérdida de calor hacia el ambiente. Así, se considera que el bienestar higrotérmico se alcanza cuando dicha pérdida ocurre a una velocidad adecuada: una mayor velocidad se percibe como sensación de frío, y una menor velocidad como sensación de calor.

El intercambio de energía entre el cuerpo y el entorno puede cuantificarse mediante la siguiente expresión (Neila, 2004):

$$M - V = \pm CV \pm R \pm CC \pm RS + EV + D + A$$

Donde:

- M: Velocidad del metabolismo
- W: energía mecánica efectiva del exterior
- CV: intercambio por convección
- R: Intercambio por radiación
- CC: Intercambio por conducción
- RS: Intercambio de calor latente y sensible producidos en la respiración
- EV: Pérdidas por evotranspiración

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

- D: Difusión del agua desde la piel
- A: Energía acumulada

Pudiéndose dividir el estudio en la actividad metabólica del individuo y otros parámetros vinculados al bienestar higrotérmico.

Este análisis puede dividirse en dos grandes áreas: la actividad metabólica del individuo y los parámetros que influyen en el bienestar higrotérmico.

Para la cuantificación de la actividad metabólica, existen diversos métodos como la estimación en función del tipo de actividad o de la ocupación. Sin embargo, una medición directa resulta mucho más precisa. En la actualidad, se utiliza la norma UNE-EN-ISO 8996:2021, Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica, que establece valores según el grado de actividad, expresados en unidades met.

Un "met" equivale a una dispersión de 50 kcal/h por metro cuadrado de superficie corporal (58,2 W/m²). Aplicado a una superficie corporal estandarizada, se adopta la equivalencia de 1 met = 100 W.

Por otra parte, el bienestar resulta de la interacción compleja de múltiples parámetros, agrupables en cuatro categorías: geográficos, climáticos, personales y del espacio interior. (Neila, 2004)

Tabla 2 Relación de parámetros vinculados al bienestar.

RELACIÓN DE PARÁMETROS VINCULADOS AL BIENESTAR	
Parámetros Geográficos	Latitud
	Altitud
Parámetros Climáticos	Temperatura
	Humedad
	Movimiento del aire
	Radiación
Parámetros Personales	Actividad
	Arropamiento
	Edad
	Sexo
	Previsibilidad Subjetiva
Parámetros del Espacio Interior	Tiempo de Ocupación
	Gradiente Vertical de Temperatura
	Radiación de onda larga emitida por los parámetros interiores
	Variación periódica de la temperatura
	Asimetría radiante entre parámetros

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Para manejar esta combinación de factores, se han desarrollado distintos índices de bienestar, que permiten evaluar el efecto global del entorno sobre el confort térmico. Según el número y tipo de parámetros incorporados, se obtendrá un mayor o menor grado de precisión, y su uso dependerá del objetivo del estudio. Estos índices pueden clasificarse en (Neila, 2004):

- Índices de Bienestar Directo
- Índices Derivados de los Directos
- Índices de Bienestar Empíricos.

Tabla 3 Clasificación de los Índices de Bienestar

CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE BIENESTAR	
Índices de Bienestar Directos	Temperatura
	Humedad
	Velocidad del aire
Índices de Bienestar Derivados de los Directos	Temperatura Media Radiante
	Temperatura Equivalente
	Temperatura Operativa
	Temperatura Operativa Húmeda
Índice de Bienestar Empírico	Índice de Enfriamiento por Viento
	Voto Medio Observado
	Voto Medio Previsto (VMP)
	Índice de Confort Ecuatorial
	Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI)
	Índice de Temperatura Húmeda- Temperatura de Globo

Actualmente, el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) utilizan los Índices Derivados de los Directos para establecer condiciones de confort, teniendo en cuenta factores como el tipo de vestimenta, nivel de actividad y condiciones climáticas.

En cambio, la norma UNE-EN ISO 7730 emplea índices empíricos para calificar la sensación térmica provocada por el ambiente. Entre los más relevantes destacan:

- Voto Medio Previsto (VMP o PMV): escala que varía desde +3 (calor) hasta -3 (frío), reflejando la sensación térmica media de una población.
- Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI o PPD): representa el porcentaje estimado de ocupantes que se sienten incómodos. En ningún caso puede reducirse por debajo del 5 % debido a la variabilidad fisiológica, y se considera un umbral del 20 % como límite razonable en entornos donde el confort térmico no puede asegurarse mediante medios pasivos.

III. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO
INTERIOR.

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y
CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR.
DB-HE CTE 2022 Y RITE 2021

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR.

a. Normativas de Ahorro Energético: DB-HE CTE 2022

Para la regulación del consumo y la demanda energética de los edificios y su correspondiente bienestar global se generan normativas nacionales e internacionales. En el caso del Código Técnico de la Edificación CTE, la normativa de ahorro energético DB-HE, se implementó desde 1979 teniendo en cuenta las condiciones de la envolvente térmica de la edificación. Cada nueva modificación agrega nuevas herramientas para el cálculo de parámetros que mejoran la caracterización del edificio, además de límites de consumo y demanda energética más estrictos. (CTE, 2022)

La estructura del DB-HE 2022 se organiza con un total de siete secciones, desde la HE0 hasta la HE6. Estas secciones se ordenan de forma ascendente de lo general a lo particular, partiendo del consumo energético del edificio pasando por la definición de la envolvente térmica y terminando con las instalaciones técnicas. Orden que funcionaría de la misma forma si se tratase de rehabilitaciones energéticas en edificios existentes. Sin embargo, un proceso constructivo de obra nueva este partiría del correcto diseño del edificio, las condiciones de la envolvente térmica, la definición de los sistemas técnicos y la evaluación final del consumo. (CTE, 2022)

De los aspectos más sobresalientes de esta normativa es la aplicación de criterios de flexibilidad para edificios existentes siempre y cuando se justifiquen criterios de inviabilidad bien sustentados que posibilitan intervenir en la envolvente térmica por fases. Aun así, la normativa remarca que, aunque ocurran situaciones de inviabilidad justificables se plantee la propuesta con el mayor nivel de adecuación posible.

Este trabajo centra su atención en la sección HE1. Para el cumplimiento de esta es necesario comprobar cinco aspectos:

1. El coeficiente de transmitancia global de la envolvente térmica (K) y las transmitancias por elementos (U_{lim}).
2. El control solar de la envolvente térmica ($q_{sol; jul}$)
3. La permeabilidad al aire de la envolvente térmica (Q_{100} y n_{50})
4. Limitar las descompensaciones entre unidades de uso (U_{lim} particiones interiores)

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR.

5. El control de las condensaciones.

Otro aspecto a tener en consideración para esta normativa es la exhaustiva partición que hace de la evaluación de los parámetros desde términos generales: obra nueva y obra existente hasta términos particulares como el tipo de uso: residencial o no residencial. (CTE, 2022)

HE1				
NUEVO		EXISTENTE		
Todos los casos excepto:	•Construcciones provisionales (<2 años) •Edificios Industriales, de defensa o agrícolas con baja demanda energética •Edificios aislados $S_{del} < 50 \text{ m}^2$	Ampliación	Cambio de uso	Reforma > 25% envolvente Reforma < 25% envolvente
Excepto edificios protegidos				
CONDICIONES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA				
AISLAMIENTO TÉRMICO				
U_{lim}	Tabla 3.1.1.a - HE1 - Aplica a cada elemento de la envolvente térmica		Aplica a 1* y 2*	
K_{lim}	Tabla 3.1.1.b - HE1 (Residencial privado) Tabla 3.1.1.c - HE1 (Otros usos)	Tabla 3.1.1.b - HE1 (Residencial privado) Tabla 3.1.1.c - HE1 (Otros usos)		
ALTERNATIVA DE CUMPLIMIENTO CON D_{cal} Y $D_{ref} < 15 \text{ kWh/m}^2$ CADA UNA				
CONTROL SOLAR				
$q_{sol;jul}$	Tabla 3.1.2 - HE1			
PERMEABILIDAD AL AIRE				
Q_{100}	Tabla 3.1.3.a - HE1		Aplica a 1* y 2*	
n_{50}	Tabla 3.1.3.b - HE1 SOLO RESIDENCIAL, con $S_{del} > 120\text{m}^2$			
LIMITACIÓN DE DESCOMPENSACIONES ENTRE UNIDADES DE USO				
U_{lim}	Tabla 3.2 - HE1 Particiones interiores		Aplica a 1* y 2*	
LIMITACIÓN DE LAS CONDENSACIONES DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA				

1*: Elementos que se sustituyan, incorporen o modifiquen sustancialmente

2*: Elementos que vean modificadas sus condiciones exteriores o interiores como resultado de la intervención suponiendo un incremento de las necesidades energéticas del edificio

14 Cuadro resumen de la aplicación de la sección HE1 del DB-HE2022 CTE

Específicamente para edificios existentes con más del 25% de la envolvente térmica a reformar en el que se intervendrá únicamente en la envolvente transparente y cuyo uso es no residencial, tal como el edificio caso de estudio de la presente investigación quedarían así desglosados los diferentes indicadores del HE1 a cumplir:

- $K_{lim} = 0.7$ según la Tabla 3.1.1.c-HE1
- $U_{lim} = 1.8$ según la tabla 3.1.1.a-HE1 Zona D2 exclusivamente a los elementos de la envolvente que se sustituyan, en este caso los huecos de fachada, de acuerdo con el HE1 3.1.1. párrafo 2.

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR.

- $q_{sol; jul} = 4$, según la tabla 3.1.2-HE1 ya sea para la modificación de la envolvente opaca como de la envolvente transparente.
- $Q_{100} = 9.00 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$, se aplicaría exclusivamente a los huecos que se sustituyan, incorporen o modifiquen sustancialmente de acuerdo con el HE1 3.1.3 párrafo 3.
- n50: no es de aplicación puesto que solo aplica a edificios nuevos residenciales de más de 120m² de acuerdo con el HE1 3.1.3 párrafo 4
- Límite de descompensaciones de las particiones interiores: no es de aplicación ya que solo se aplica a los elementos que se sustituyan, incorporen o modifiquen sustancialmente (o modifiquen sus condiciones de contorno) de acuerdo con el HE1 3.2 párrafo 2.
- Límite de condensaciones en la envolvente térmica: sí es de aplicación, acuerdo con el HE1 3.3 (siempre lo será). Ya que este parámetro garantiza la permanencia en el tiempo de las capacidades aislantes de los materiales. Lo que se logra evitando la producción de condensaciones intersticiales. Por lo que HE1 establece que las condensaciones intersticiales siempre serán inferiores a la cantidad de evaporación posible lo largo de un año. O lo que es lo mismo, el valor calculado o medido de la evaporación anual de la envolvente térmica debe ser superior a la condensación de la misma.

Con estos criterios de flexibilidad y de niveles de exigencia según el tipo de intervención, lo que se busca es favorecer la renovación gradual y paso a paso de la edificación, mejorando mediante cada pequeña intervención las prestaciones del edificio. Esto motiva la renovación dinámica de los edificios existentes y promueve el re-uso. De este modo se obtienen actuaciones generalizadas que permitirán alcanzar los niveles de descarbonización y reducción de emisiones de GEI para 2050.

IV. AHORRO ENERGÉTICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO INTERIOR.

b. Normativas para el bienestar térmico:

Las normativas de confort interior en edificación regulan las condiciones ambientales necesarias para garantizar el bienestar térmico, higrotérmico, lumínico y acústico de los ocupantes. En el contexto español, estas normativas están principalmente contenidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

El DB-HE del CTE si bien no define y regula directamente el confort, si estipula los límites de demanda energética y las horas permisibles fuera de consigna. (DB-HE2022, s.f.)

Sin embargo, en cuanto a una normativa específica está el RITE y sus ITE que establece los parámetros de temperatura operativa y humedad que deben cumplir los espacios interiores y los referentes a las instalaciones térmicas de los edificios. (RITE,ITE, 2022)

Y está la UNE-EN 7730 que define la forma de evaluación detallada del confort térmico. Y de la que parte la resolución del RITE al respecto.

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA: CYPECAD MEP Y CYPETHERM HE PLUS

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Entre los diferentes programas de simulación energética como CYPETHERM HE Plus, CYPECAD MEP, Estudio de rehabilitación energética de edificios, HULC, CE3, CE3X, CERMA o SG SAVE, se pueden encontrar diferencias en los resultados obtenidos tanto en la verificación de documentos del CTE como en la certificación energética del edificio. La razón para estas diferencias está en la variedad de los motores de cálculo, criterios de cálculo tan variados como la flexibilidad de la normativa les permita a los desarrolladores, normativas utilizadas y la actualización de las mismas por parte de los desarrolladores, mayor o menor sensibilidad ante cambio de la modelación y finalmente por el uso de una versión u otra pues con la evolución del software van la implementación de mejoras y los cambios normativos. (CYPEIngenierosS.A, s.f.)

Siempre y cuando los desarrolladores se acojan a los procedimientos para la certificación de edificios y empleen las condiciones técnicas establecidas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y por el Ministerio de Fomento, este reconocerá y certificará el software.

Para el trabajo compartido de las herramientas CYPECAD MEP y CYPETHERM HE Plus es necesario vincular la obra a la plataforma BIMserver.center. Por lo general, y para el caso de la presente investigación, cuando el modelo se ha diseñado en CYPECAD MEP por es posible importar toda la información del modelo BIM a CYPETHERM HE Plus y allí generar los cálculos y la justificación de la normativa. (CYPEIngenierosS.A, s.f.)

a. CYPECAD MEP

CYPECAD MEP es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, la distribución y las instalaciones del edificio sobre un modelo 3D integrado.

La aplicación integra en un único modelo todas las instalaciones que pueden proyectarse en un edificio de diversos tipos (viviendas, oficinas, establecimientos comerciales, hoteles y residencias, aparcamientos, centros docentes, hospitales, etc.), permitiendo también el dibujo y la definición de la geometría arquitectónica y constructiva del mismo.

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Entre los diferentes cálculos e instalaciones que pueden realizarse en el programa se encuentran: estudios térmico y acústico, protección contra incendios, abastecimiento y evacuación de aguas, climatización, solar térmica, gas, pararrayos, iluminación, electricidad y telecomunicaciones.

Para el caso que nos concierne, el estudio térmico, se genera la solapa "Estudio térmico" CYPECAD MEP que permite comprobar el cumplimiento de partes del CTE DB-HE 1 2019 "Limitación de la demanda energética".

En concreto, se comprueban los valores límite de transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los elementos descritos en las tablas 3.1.1.a, 3.1.3.a y 3.2 de la Sección HE-1 "Condiciones para el control de la demanda energética" del DB HE "Ahorro de energía" (CTE 2019).

Sin embargo, para verificar el CTE DB-HE 2019 de forma completa, es posible exportar la información del modelo arquitectónico y constructivo, así como de las instalaciones introducidas en otras solapas, desde CYPECAD MEP a CYPETHERM HE Plus. En este último programa se realiza la verificación del cumplimiento de este documento, y se puede obtener la certificación energética del edificio. (CYPEIngenierosS.A., s.f.)

b. CYPETHERM HE Plus

CYPETHERM HE Plus es una aplicación gratuita concebida para la certificación de la eficiencia energética de edificios según los formatos normalizados y realiza la justificación normativa del CTE DB HE1 "Condiciones para el control de la demanda energética", del CTE DB HE0 "Limitación del consumo energético" y del CTE DB HE4 "Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria". " mediante un modelo del edificio para simulación energética calculado con EnergyPlus™.

CYPETHERM HE Plus realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™ integrado en el programa, en la que, hora a hora, se efectúa el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico. Durante este proceso se determina, para cada equipo técnico, el punto de trabajo, la energía útil aportada, la energía final consumida, y la energía primaria equivalente, y se desglosa el consumo energético por sistema

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

de aporte y vector energético utilizado. (CYPEIngenierosS.A., s.f.)

El motor de cálculo EnergyPlus™, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (U.S. Department of Energy, DOE), es uno de los motores de simulación energética más utilizados, potentes y reconocidos de la actualidad. Gracias a su integración en CYPETHERM HE Plus, el programa se convierte en una potente herramienta para la simulación energética de edificios. Actualmente, la versión de EnergyPlus™ implementada en el programa es la versión 23.1.

CYPETHERM HE Plus también integra el programa CteEPBD, que permite obtener los indicadores de la eficiencia energética del edificio, como son el consumo de energía primaria total y no renovable y las emisiones de CO₂, a partir de los resultados de producción y consumo de energía final por vectores energéticos y servicios del edificio. Estos resultados se emplean en la verificación del CTE DB HE 0 y en la calificación de la eficiencia energética.

El programa CteEPBD, elaborado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), perteneciente al CSIC, en el marco del convenio vigente con el Ministerio de Fomento, implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017 "Eficiencia energética de los edificios. Evaluación global. Parte 1: Marco general y procedimientos", dentro del alcance de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios ("Energy Performance of Buildings Directive", EPBD)

La normativa implementada por CYPETHERM HE Plus son las siguientes:

Materiales constructivos

- UNE-EN ISO 10456. Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.
- Catálogo de Elementos Constructivos, CEC (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja).

Resistencia y coeficiente de transmisión térmica de elementos constructivos

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

- UNE-EN ISO 6946. Elementos y componentes para la edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.
- UNE-EN ISO 13370. Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión del calor por el terreno. Método de cálculo.
- UNE-EN ISO 10077-1. Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Método simplificado.

Puentes térmicos lineales

- UNE-EN ISO 14683. Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto.
- UNE-EN ISO 10211. Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados.
- DA DB-HE/3. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE (CTE). Atlas de puentes térmicos.

Rendimiento energético

- Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía:
- Sección HE 1. Condiciones para el control de la demanda energética.
- Sección HE 0. Limitación del consumo energético.
- Sección HE 4. Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.
- EN ISO 52000-1:2017. Eficiencia energética de los edificios. Evaluación global. Parte 1: Marco general y procedimientos.

Calificación energética

- Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.
- Calificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Informe de evaluación energética del edificio en formato electrónico (XML).

La aplicación permite importar la información necesaria extraída a partir de otras herramientas Open BIM, por lo que los modelos arquitectónicos, constructivos y de instalaciones de climatización de algunas aplicaciones pueden utilizarse como base para efectuar la simulación energética.

V. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Como resultado del cálculo se obtienen listados de cumplimiento normativo, la certificación de la eficiencia energética e informes de consumo, demanda y confort interior. Esta información puede exportarse para que sea recogida por otros programas, por ejemplo, para el análisis energético y económico de diferentes medidas de mejora del edificio.

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES,
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE
VALLADOLID.

a. El arquitecto y su obra. Principios del
diseño.

Antonio Fernández Alba está considerado como una de las figuras más influyentes de la arquitectura española de la segunda mitad del siglo XX. Su brillante trayectoria profesional, que se extiende a lo largo de casi seis décadas, ha sido fundamental para la introducción y consolidación de diversas corrientes arquitectónicas contemporáneas en España, especialmente el organicismo y un expresionismo de carácter humanista.

Desde su estudio en Madrid, Fernández Alba fue un pionero en la reinterpretación crítica del racionalismo arquitectónico de posguerra. Su voluntad de innovación, rigurosa y alejada de estridencias formales, lo posicionó como un referente en la búsqueda de alternativas proyectuales frente al funcionalismo dominante durante los años sesenta. Su obra constituye, por tanto, una revisión lúcida del Movimiento Moderno, abierta al diálogo con la tradición, el contexto y la dimensión cultural de la arquitectura. (ETSAVA, 2024)

Su producción abarca prácticamente todos los géneros edificatorios, desde la arquitectura residencial hasta la educativa, institucional, religiosa, industrial y cultural. También incursionó con solvencia en el planeamiento urbano, el paisajismo y en proyectos de colonización, muchos de los cuales fueron promovidos por el Instituto Nacional de Colonización durante el franquismo. Entre sus obras más representativas se encuentran el Colegio Santa María en Madrid, el Colegio Monfort en Loeches y el Convento del Rollo en Salamanca —por el cual fue galardonado con el Premio Nacional de Arquitectura—, todas ellas incluidas en el Registro DOCOMOMO Ibérico, que reconoce aquellas intervenciones emblemáticas del Movimiento Moderno. Hasta la fecha, 23 de sus edificios han sido incluidos en dicho registro. (DoCoMoMolbérico, s.f.)

Además de su reconocida labor proyectual, Fernández Alba tuvo un papel destacado en el ámbito de la restauración del patrimonio histórico, campo que abordó con especial sensibilidad y profundo conocimiento de la tradición arquitectónica. Su capacidad para integrar el pasado con los lenguajes contemporáneos le permitió llevar a cabo

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

intervenciones patrimoniales de gran relevancia técnica y cultural.

Paralelamente, su compromiso con la docencia y la reflexión teórica ha sido igualmente relevante. Como catedrático, pensador y académico, contribuyó de manera decisiva a la renovación pedagógica de las escuelas de arquitectura en España, favoreciendo un enfoque crítico, humanista y transdisciplinar. Su aportación fue reconocida con su ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando y en la Real Academia Española, siendo el primer arquitecto en formar parte de esta última institución. (ETSAVA, 2024) (DoCoMoMolbérico, s.f.)

En 2005, el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM) registraba 948 unidades documentales compuestas y 388 inventariadas correspondientes a su obra, abarcando una cronología desde 1954. Parte de este valioso legado se encuentra actualmente catalogado, inventariado y digitalizado, al menos hasta el año 2011, lo que garantiza su preservación y accesibilidad para futuras generaciones de arquitectos e investigadores.(COAM, s.f.)

b. Características físicas y geométricas del edificio, ubicación y entorno.

Ubicación y entorno

El edificio objeto de estudio es la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid, ubicada en el Paseo del Cauce s/n, dentro del Campus Río Esgueva, en Valladolid, Castilla y León.



15 Ubicación y orientación de la sede Paseo del Cauce de la Escuela de Ingenierías Industriales. Valladolid.

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES,
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

El edificio

Se alza a 19.79 m sobre el nivel de terreno y se soterra hasta la cota 1.78m bajo nivel de terreno. En planta, el área construida es de 6.513,81m² bajo rasante y de 3.684,45m² sobre rasante. El edificio cuenta con planta Sótano y Semisótano, Planta Baja, Primera y Segunda además de una planta sobre elevada respecto a esta última para la colocación de la maquinaria de los ascensores y las tres bóvedas de bloques de vidrio que funcionan como lucernarios.

La planta baja, a 2.55 m sobre la rasante tiene los dos accesos oficiales; la entrada principal y la entrada de profesores, el vestíbulo principal y otros salones.

En las siguientes plantas el área útil se reduce debido a la geometría en planta caracterizada por la formación de dos claustros en cada planta y cuyo principal objetivo es conectar el interior del edificio mediante el acceso de la luz solar desde las bóvedas acristaladas.

Planta	Área (m ²)
Sótano	6.513,81
Semisótano	1.568,43
Planta Baja	3.684,45
Planta Primera	3.258,52
Planta Segunda	3.258,52

16 Superficie de las plantas del edificio (Nájera, 2009)

Planta	Cota Relativa (m)	Altura (m)
Sótano	-1,78	2,5
Semisótano	0,72	2,81
Planta Baja	3,53	4,42
Planta Primera	7,95	4,42
Planta Segunda	12,37	4,42
Casetones	16,79	3
Cubierta	19,79	0

17 Altura y cota de las plantas del edificio. (Nájera, 2009)

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES,
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.



21 Fachada lateral Derecha de la EII Paseo del Cauce



20 Fachada lateral Izquierda de la EII Paseo del Cauce



19 Fachada Principal de la EII Paseo del Cauce



18 Fachada Trasera de la EII Paseo del Cauce

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

El aula objeto de estudio



22 Ubicación del aula de estudio, en la fachada principal.



23 Tipología de las ventanas de la fachada principal

Para la investigación y comprobación de las capacidades térmicas de la envolvente del edificio se toma como muestra una de las aulas cuyo muro exterior corresponde a la fachada principal del edificio. Según la imagen satelital de Google Maps se ha considerado que la orientación cardinal Sur-Oeste es la predominante para dicha fachada.

La información referente las características de los muros de fachada, tabiques, forjados y acristalamientos se ha tomado de (Nájera, 2009) donde se describen las características geométricas de cada elemento.

Sin embargo, los valores físico térmicos de cada uno de ellos serán otorgados por el software de modelación CYPE 3D V2025 a partir de la introducción de las características de partida según lo establecido por la UNE EN ISO 6946, UNE EN ISO 10077, UNE EN ISO 13370 y UNE EN ISO 10456 para los materiales y elementos constructivos.

El sistema envolvente de fachada tiene una superficie total de 73.81m² y esta se compone por las partes ciegas y los huecos, el primero considerado como fachada cara vista de dos hojas de fábrica con cámara de aire no ventilada, para un espesor total de 33 cm.



24 Ubicación de las ventanas de fachada desde el interior del aula de estudio

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES,
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.



25.



26.



25, 26, 27 Materiales y componentes del aula de estudio

VI. ESCUELA TÉCNICA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.

Los huecos de fachada presentan las mismas características físicas donde el acristalamiento es doble con cámara de aire (4/6/5) y marco metálico sin rotura de puente térmico (Nájera, 2009) de color marrón clasificado como Intermedio Clase 2 que representa el 16.2% del área total del hueco (Nájera, 2009), para un área total de hueco de 24.36m² que representa el 33% de la superficie de fachada.

La tabiquería interior o compartimentación interior vertical se distribuye de la siguiente forma: tabique de ladrillos cerámico macizo revestido a cara interior de 15cm de espesor para la división con el pasillo interior, tabique de ladrillo cerámico hueco con revestimiento en ambas caras de 11cm de espesor para la división entre aulas, y tabique ligero de bagazo con revestimiento laminado de alta presión de 5cm de espesor.

Los forjados o compartimentación interior horizontal se dividen en dos tipos de forjados unidireccionales (Nájera, 2009) . El forjado superior compuesto por el forjado unidireccional, la cámara de aire y el falso techo colgado con un espesor total de 124.25cm y una superficie total de 134.43m². Mientras que el forjado inferior se compone por el forjado unidireccional y la terminación del suelo para un espesor de 38.20cm y una superficie total de 134.43m².

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT
TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

VII. COMPORTAMIENTO DE LA
DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL
AULA DE ESTUDIO DE LA EIIVA
FRENTE A LA MODIFICACIÓN DE LAS
CARACTERÍSTICAS DE LOS HUECOS DE
FACHADA.

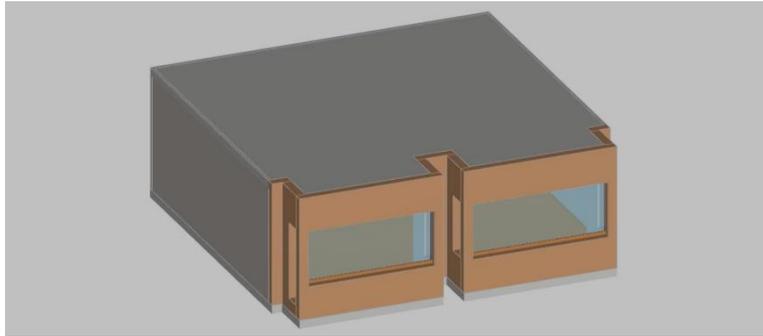
VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Con la intención de demostrar que se pueden obtener mejoras significativas tanto en el consumo energético como en el confort térmico del aula de estudio con solo la modificación de las características de los huecos de fachada se han determinado tres variantes a comparar. La primera serán las condiciones iniciales, que no es más que las características físicas actuales que presentan estos huecos. La segunda variante responde a la recomendación que hace la DA-HE V22 para los huecos en edificios de uso terciario ubicados en la zona climática D2 a la que corresponde Valladolid. Y la tercera variante responderá a la optimización de la variante recomendada para cumplir con la demanda mínima de calefacción y refrigeración en edificios con intervenciones parciales y excluirse del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

a. Modelación y cálculo del aula de estudio en CYPE MEP y CYPE THERM.

Para la modelación de cada una de las variantes es necesario definir características físicas y geométricas del recinto y de los componentes de la envolvente. La Imagen 28 muestra la modelación geométrica del aula de estudio y la Tabla 4 muestra los parámetros físicos y las hipótesis consideradas para cada una de las variantes de estudios. Para la condición inicial de los huecos y el muro de fachada los parámetros fueron tomados del (Nájera, 2009) . Al introducir las características físicas de muros, el valor de la transmitancia térmica del muro modelado por Nájera con respecto a la modelación actual ha variado. Lo que hace suponer que esta versión de CYPE discretiza un poco más las transmitancias de los materiales. La consideración de las características de marco y de los acristalamientos se tomaron idénticamente igual al (Nájera, 2009) . Con respecto al valor del factor solar global para esta variante, se ha tenido en cuenta que actualmente están instaladas persianas interiores color pastel.

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO



25 Modelación del aula de estudio

El Anexo 1.1 es el informe detallado de la descripción de materiales y componentes para la condición inicial para huecos con acristalamiento doble con cámara de aire 4/6/5 y marco de aluminio marrón sin rotura de puente térmico.

La segunda variante, la recomendada, mantiene las hipótesis iniciales y solo modifica los parámetros de los huecos. Con respecto al valor del factor solar global para esta variante, se ha considerado la sustitución persiana interiores por color blanco y los huecos recomendados están conformados por acristalamiento doble con cámara de aire 4/20/6 con baja emitancia térmica y marco de aluminio marrón con rotura de puente térmico. El Anexo 2.1 detalla las características de los materiales y componentes para esta variante.

La tercera variante, la óptima, mantiene las hipótesis iniciales y resulta de ir modificando los parámetros de los huecos hasta alcanzar el cumplimiento de la demanda mínima de calefacción y refrigeración. Se mantiene las persianas interiores de color blanco y se obtienen huecos óptimos conformados por acristalamiento doble con cámara de aire 4/20/6 con baja emitancia térmica y control solar, y marco de PVC foliado color marrón. El Anexo 3.1 detalla las características de los materiales y componentes para esta variante.

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Tabla 4 Datos introducidos para la modelación y cálculo de las variantes

DATOS INTRODUCIDOS PARA LA MODELACIÓN Y EL CÁLCULO DE LAS VARIANTES			
PARAMETROS	CONDICION INICIAL	RECOMENDADA	OPTIMA
MODELACIÓN CYPE MEP			
Tipo de edificio	Docente		
Unidades de Uso	Un aula docente		
Zona Térmica	Habitable Acondicionada		
Carga Interna	Baja: correspondiente a 4-5 ocupantes, 1.5W/m2		
Distribución horaria de la carga interna	8 horas (7:00h-13:00h)		
Carga de Iluminación	Valor asignado automático del valor de potencia instalada de iluminación. 5w/m2		
Ventilación	0,8ren/h	0,8ren/h	0,8ren/h
Orientación	Sur-Oeste		
Datos de emplazamiento	Valladolid		
Tipo de Terreno	Arcilla semidura		
Protección contra el viento	Media: Localización en medio suburbano		
Recinto	Acondicionado, Habitable		
Area	134,43m2		
Volumen entre suelo y Falso Techo	416,13m3		
CÁLCULO TÉRMICO CYPE THERM			
Método	Cálculo Simplificado Energy Plus y CTE HE		
Sistema de acondicionamiento	Solo Calefacción		
Fuente de la energía	Biomasa Potencia: 2000kW		
Sistema de iluminación	Valor asignado automático del valor de potencia instalada de iluminación. 5w/m2		
Fuente de la energía	Eléctrica de la red de distribución.		
Equipos suplementarios de energía	NO		
Selección de Materiales	Base al Generador de precios de la construcción CYPE		
Tabiques colindantes	Elementos Adiabáticos		
Forjados unidireccionales colindantes	Elementos Adiabáticos		
Condiciones operacionales	Temperatura de consigna CTE		
Período de Utilización	8 horas (7:00h-13:00h)		
Ventilación	Mecánica, independiente del sistema de climatización, flujo de admisión mecánica, 0,8ren/h	Mecánica, independiente del sistema de climatización, flujo de admisión mecánica, 0,8ren/h	Mecánica, independiente del sistema de climatización, flujo de admisión mecánica, 0,8ren/h
Infiltraciones	Metodo de cálculo Enhanced Model (ASHRAE), Coef de caudal 8,5m3/(hPa), Siempre en condiciones operacionales.		
Definición manual Coef de transmision termina lineal	Esquina Saliente : 0,09W/(mK) Esquina Entrante : -0,12 W/(m*K) Resto de coef: 0,00 W/(m*K)		
Área de Cerramiento (Fachada)	73,81m2		
Huecos Acristalados			
Área	24,36m2		
Fracción Acristalada (U: W/m2K)	3,53	1,38	1,1
Fracción Acristalada (Factor solar)	0,99	0,6	0,43
Fracción Opaca (U: W/m2K)	5,7	4	1,3
Fracción Opaca (%)	16,2	16,2	16,2
Fracción Opaca (Absortividad)	Color marron: 0,8	Color marron: 0,8	Color marron: 0,8
Transmitancia total de energia solar del hueco, con los dispositivos de sobra móviles activados	Persiana interior pastel: 0,43	Persiana interior blanca: 0,34	Persiana interior blanca: 0,34
Permeabilidad al aire para una presión de referencia de 100Pa	Clase 1: 50m3/(h*m2)	Clase 4: 3m3/(h*m2)	Clase 4: 3m3/(h*m2)

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Los Anexos 1 son los informes que justifican los resultados alcanzados en el cálculo de las Condiciones Iniciales.

Los Anexos 2 son los informes que justifican los resultados alcanzados en el cálculo de la Variante Recomendada.

Los Anexos 3 son los informes que justifican los resultados alcanzados en el cálculo de la Variante Óptima.

b. Cumplimiento de la sección HE1. Comportamiento de las emisiones de CO₂.

A partir de los datos arrojados por cada una de las variantes y los respectivos informes de justificación de las condiciones de control de la envolvente (Anexos 1.3, 2.2 y 3.2) es posible realizar Gráficos y tablas para el análisis de las variantes.

La tabla 5 muestra los valores del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) y los valores del parámetro de control solar de la envolvente térmica (q_{sol}), para las variantes calculadas y los valores límites recogidos en la sección HE1 del DB-HE.

Tabla 5 Valores límites de K y q_{sol} para las variantes modeladas

VARIANTES	K (W/m ² K)	q_{sol} (kWh/m ²)
CTE HE1 (Valores límite)	0,7	4
CONDICION INICIAL	1,77	4,93
RECOMENDADA	0,99	3,9
OPTIMA	0,74	3,9

Para la condición inicial ningunos de estos parámetros cumple con la normativa, por lo que es necesario realizar acciones que lleven al cumplimiento de estos. La mejora de K se logra disminuyendo la transmitancia térmica de los huecos, puesto que los demás elementos de la envolvente se consideran inalterables. Sin embargo, ni siquiera la variante óptima logra cumplir con la K, aunque se acerca bastante al valor límite.

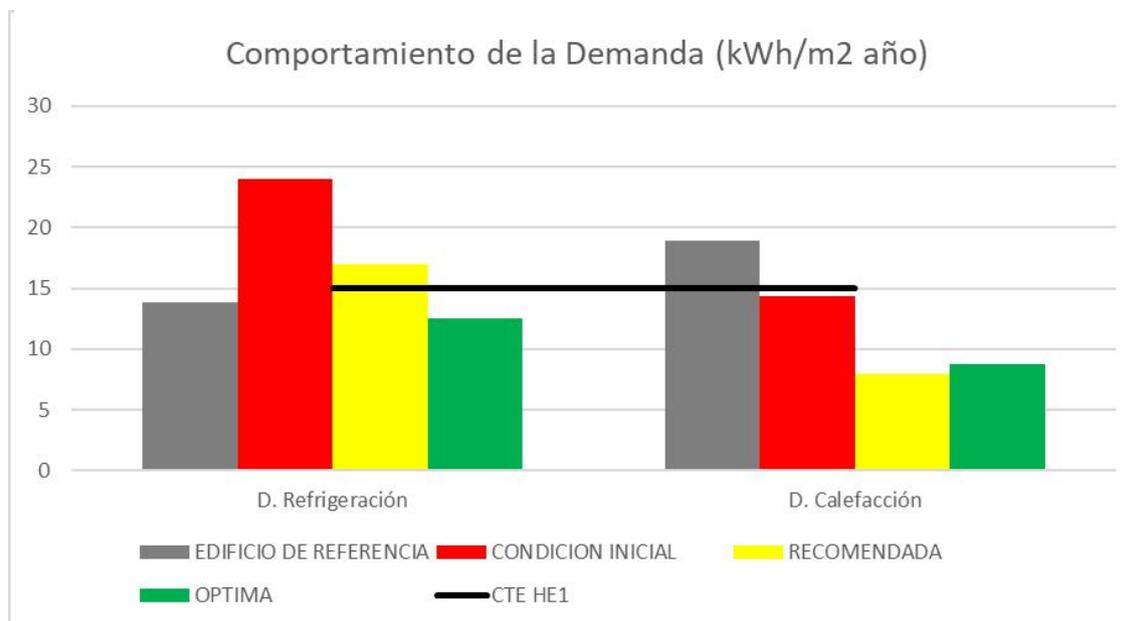
Para el caso del factor solar(q_{sol}), la mejora y el cumplimiento del parámetro fue inmediato al variar solamente el color de las persianas interiores, de color pastel a color blanco.

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

A pesar de que la K no cumpla, la nota 6 del epígrafe 3.1.1 de DB-HE excluye del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) a intervenciones parciales en edificios existentes siempre y cuando las demandas de calefacción y refrigeración sean menores, en ambos casos, de 15 kWh/m² (DB-HE2022, s.f.). Por lo que optar por el cumplimiento de esta nota es una alternativa muy acertada.

El Gráfico 1 “Comportamiento de la Demanda” muestra el detrimento progresivo la demanda de refrigeración al mejorar las características de los huecos. Sin embargo, con la demanda de calefacción no ocurre lo mismo. A pesar de que se consigue mejorar aislamiento térmico del interior con el exterior es necesario tener en cuenta que la variación de la transmitancia térmica y el control solar del vidrio modifican significativamente los valores de demanda por calefacción. Por lo que para el valor del parámetro de factor solar: 0.43 se logra disminuir la demanda de calefacción, y que la demanda de refrigeración cumpla con la demanda límite establecida en la

Gráfico 1 Comportamiento de la Demanda Energética respecto al edificio de referencia

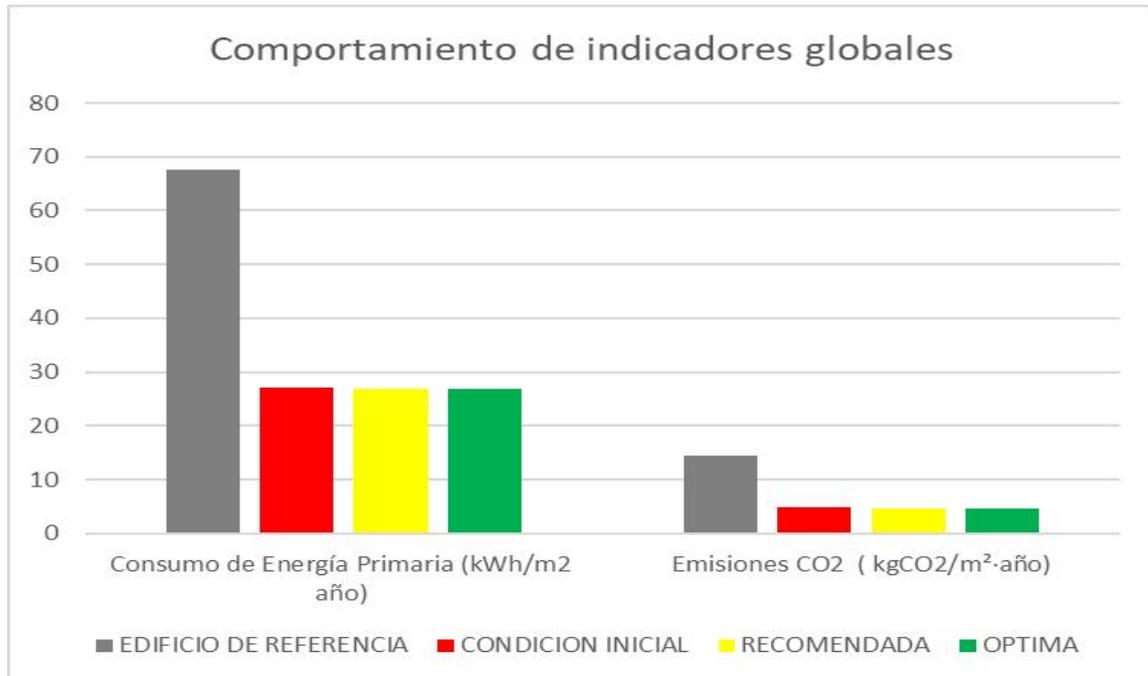


sección HE1 de DB-HE.

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Entre los objetivos de la presente investigación no está lograr el cumplimiento de la sección HE0. Sin embargo, es interesante valorar el comportamiento del Consumo de Energía Primaria y

Gráfico 2 Comportamiento del Consumo de energía primaria y Emisiones de CO₂



Emisiones de CO₂ para las variantes de estudio.

El Gráfico 2 “Comportamiento del consumo y emisiones” muestra resultados para cada variante, la condición inicial y el edificio de referencia.

En cuanto al consumo de energía primaria, la diferencia tan elevada del edificio de referencia con respecto a las demás es que en la modelación no se ha tenido en cuenta la instalación de un equipo de climatización, tal y como ocurre actualmente en el aula mientras que el edificio de referencia si tiene en cuenta su instalación.

Respecto a las Emisiones de CO₂, es visible la diferencia representativa de optar por consumo de energías renovables como la biomasa, cuyas emisiones son inferiores las de los combustibles fósiles y el gas natural.

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

c. Comportamiento de las condensaciones Intersticiales del muro.

Si bien el objeto de estudio principal de esta investigación es el efecto del cambio de las características de los huecos de acristalados de fachada, en la sección HE1 del DB-HE se estipulan las limitaciones de condensaciones en la envolvente térmica de los edificios. La presencia de estas produce una merma significativa en sus prestaciones térmicas y supone un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.

Para ello el software CYPE THERM procede a la verificación de las condensaciones superficiales e intersticiales en los muros de fachada. El Anexo 1.6 es el informe de justificación del cumplimiento de las limitaciones de condensación. Ya que las características del muro no se afectan en ninguno de los casos el Anexo 1.6 corresponde a las tres condiciones.

En resumen, el informe plantea que no existen condensaciones superficiales y que las condensaciones intersticiales ocurren en los meses fríos del año. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo lo que está en concordancia con lo exigido en el apartado 3.3 de la sección HE1 *“En ningún caso, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual podrá superar la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.”*

d. Comportamiento de las condiciones de confort en el interior del aula de estudio para cada variante según los criterios del RITE.

Habiendo modelado y calculado las tres variantes de estudio, se obtienen además informes de temperatura y humedad que varían en cada caso. Las tablas 6, 7 y 8 muestran los valores aportados por CYPETHERM para el aula de estudio durante un periodo de un año. Los anexos 1.7, 2.5 y 3.5 muestran el informe de Confort Interior arrojado por el software CYPETHERM. (Andrés, 2023)

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Tabla 6 Resultados Globales para la Condición Inicial

Resultados														
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Temperatura exterior mínima	°C	-3.3	-4.6	-3.3	-1.4	1	2.2	5.8	7.3	6.9	3.7	-1.3	-4.2	
Temperatura exterior máxima	°C	14	16.1	19.8	22.2	28.5	28.9	31.5	31.4	29.8	24.7	19.5	15.4	
Humedad relativa exterior media	%	74	65	62	59	58	50	42	43	52	63	71	74	
Temperatura operativa interior mínima	°C	15.9	18	18.9	20.2	20.2	24	26	26.1	24.9	21.6	17.9	16.1	
Temperatura operativa interior máxima	°C	22.7	24	26.3	27.9	29.6	30.4	32.6	32.7	32.7	29.7	26.9	21.9	
Temperatura media del aire interior	°C	19	20.7	21.3	23	24.3	26.9	28.2	28.5	27.8	25.5	21.4	19.1	
Humedad relativa interior media	%	34	30	31	30	33	30	30	30	31	34	35	35	
Demanda de calefacción	kWh	700.33	242.45	156.98	21.57	4.64	-	-	-	-	-	120.34	614.42	1860.72
Demanda de refrigeración	kWh	-	-	-	2.58	114.02	350.8	700.89	802.67	494.78	78.52	0.17	-	2544.43
Aporte de energía: Elementos opacos	kWh	607.76	613.4	638.28	629.3	518.57	586.33	720.73	880.33	797.35	725.13	717.26	611.04	8045.48
Pérdida de energía: Elementos opacos	kWh	879.53	766.05	876.24	761.28	815.34	714.49	875.24	974.29	842.76	866.52	685.55	817.3	9874.59
Aporte de energía: Huecos, total	kWh	526.74	771.68	896.03	832.33	916.77	902.53	1115.93	1242.15	1053.19	965.82	715.29	539.63	10478.1
Pérdida de energía: Huecos, total	kWh	551.27	493.49	475.8	414.84	326.14	302.46	253.93	288.91	348.18	450.93	502.17	548.93	4957.05
Aporte de energía: Huecos, radiación solar	kWh	733.5	990.99	1146.48	1096.89	1154.26	1094.93	1239.82	1382.32	1239.42	1192.93	929.54	740.24	12941.3
Aporte de energía: ACS	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Aporte de energía: Ocupación	kWh	58.03	51.58	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	672.69
Aporte de energía: Iluminación	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09
Consumo de electricidad	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09
Aporte de energía: Equipamiento	kWh	43.56	38.72	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	504.93
Aporte de energía: Ventilación	kWh	-	-	-	-	0.39	2.04	9.7	6.82	2.55	-	-	-	21.51
Pérdida de energía: Ventilación	kWh	415.11	338.09	342.67	302.97	259.9	196.6	122.66	142.77	190.55	295.07	328.82	393.8	3329.01
Número de renovaciones hora: Ventilación e infiltraciones		0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25	0.24	0.24

Tabla 7 Resultados Globales para la Variante Recomendada

Resultados															
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
Temperatura exterior mínima	°C	-3.3	-4.6	-3.3	-1.4	1	2.2	5.8	7.3	6.9	3.7	-1.3	-4.2		
Temperatura exterior máxima	°C	14	16.1	19.8	22.2	28.5	28.9	31.5	31.4	29.8	24.7	19.5	15.4		
Humedad relativa exterior media	%	74	65	62	59	58	50	42	43	52	63	71	74		
Temperatura operativa interior mínima	°C	17.9	19.5	20.1	21	21.1	24.8	26	26.1	25.5	23.3	19.5	18		
Temperatura operativa interior máxima	°C	22.6	23.5	25.6	27.4	28.6	29.2	30.8	30.9	31.1	29.1	27.3	21.9		
Temperatura media del aire interior	°C	19.7	21.1	21.8	23.8	24.7	26.8	27.6	27.9	27.5	26	22.7	19.8		
Humedad relativa interior media	%	32	29	30	29	32	31	31	31	32	33	32	33		
Demanda de calefacción	kWh	455.58	117.5	67.98	0.15	-	-	-	-	-	-	-	43.8	387.62	1072.64
Demanda de refrigeración	kWh	-	-	-	3.17	107.65	336.14	599.18	678.53	448.81	111.28	0.43	-	2285.18	
Aporte de energía: Elementos opacos	kWh	306.88	325.06	336.08	349.11	282.92	348.68	464.59	570.75	490.02	403.36	422.97	307.87	4608.28	
Pérdida de energía: Elementos opacos	kWh	573.21	494.06	575.45	512.75	543.48	466.17	582.88	647.91	556.87	557.74	432.15	521.84	6464.51	
Aporte de energía: Huecos, total	kWh	358.65	517.71	600.62	558.75	611.56	602.3	730.57	813.4	699.21	642.25	474.78	365.23	6975.02	
Pérdida de energía: Huecos, total	kWh	251.95	217.86	208.59	184.11	141.01	122.53	96.91	109.76	138.99	196.95	233.86	249.79	2152.32	
Aporte de energía: Huecos, radiación solar	kWh	399.73	540.34	624.76	597.28	627.56	594.9	673.74	752.36	675.23	650.3	506.8	403.51	7046.53	
Aporte de energía: ACS	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
Aporte de energía: Ocupación	kWh	58.03	51.58	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	672.69	
Aporte de energía: Iluminación	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09	
Consumo de electricidad	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09	
Aporte de energía: Equipamiento	kWh	43.56	38.72	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	504.93	
Aporte de energía: Ventilación	kWh	-	-	-	-	0.39	2.04	9.77	6.85	2.55	-	-	-	21.61	
Pérdida de energía: Ventilación	kWh	416.54	340.87	350.14	323.29	275.44	198.47	122.17	142.1	190.51	309.23	355.52	395.11	3419.39	
Número de renovaciones hora: Ventilación e infiltraciones		0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.23	0.24	0.23	0.25	0.25	0.24	0.25	

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

Tabla 6 Resultados Globales para la Variante Óptima

Resultados		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Temperatura exterior mínima	°C	-3.3	-4.6	-3.3	-1.4	1	2.2	5.8	7.3	6.9	3.7	-1.3	-4.2	
Temperatura exterior máxima	°C	14	16.1	19.8	22.2	28.5	28.9	31.5	31.4	29.8	24.7	19.5	15.4	
Humedad relativa exterior media	%	74	65	62	59	58	50	42	43	52	63	71	74	
Temperatura operativa interior mínima	°C	18.1	19.4	19.8	20.6	20.5	24.5	25.8	25.9	25.2	23	19.4	18.3	
Temperatura operativa interior máxima	°C	21.8	22.6	24	25.7	27.5	28.3	29.6	29.6	29.8	28	26.4	21.3	
Temperatura media del aire interior	°C	19.7	20.7	21.1	22.6	23.6	26.3	27.1	27.3	26.9	25.4	21.9	19.8	
Humedad relativa interior media	%	32	30	31	31	35	32	32	32	33	34	34	33	
Demanda de calefacción	kWh	449.06	163.97	103.32	6.83	1.21	-	-	-	-	-	59.55	394.48	1178.41
Demanda de refrigeración	kWh	-	-	-	-	51.38	242.16	474.75	534.61	337.17	45.04	0.18	-	1685.3
Aporte de energía: Elementos opacos	kWh	239.79	220.32	235.67	251.44	183.29	246.44	337.64	419.6	356.06	292.15	316.71	240.16	3339.27
Pérdida de energía: Elementos opacos	kWh	487.19	387.53	447.08	393.62	438.13	354.75	434.74	482.01	415.25	433.32	331.92	449.6	5055.14
Aporte de energía: Huecos, total	kWh	257.7	374.13	435.51	409.43	448.46	437.02	531.07	590.58	507.09	465.63	345.24	262.56	5064.43
Pérdida de energía: Huecos, total	kWh	185.13	155.69	146.72	123.87	93.91	85.53	65.74	73.91	95.84	137.85	163.4	182.79	1510.36
Aporte de energía: Huecos, radiación solar	kWh	258.73	350.21	403.94	385.06	403.03	381.65	432.18	484.18	435.99	421.15	328.52	261.4	4546.04
Aporte de energía: ACS	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Aporte de energía: Ocupación	kWh	58.03	51.58	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	58.03	53.73	58.03	55.88	55.88	672.69
Aporte de energía: Iluminación	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09
Consumo de electricidad	kWh	145.19	129.05	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	145.19	134.43	145.19	139.81	139.81	1683.09
Aporte de energía: Equipamiento	kWh	43.56	38.72	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	43.56	40.33	43.56	41.94	41.94	504.93
Aporte de energía: Ventilación	kWh	-	-	-	-	0.41	2.05	9.85	6.9	2.56	-	-	-	21.75
Pérdida de energía: Ventilación	kWh	416.22	337.95	340.14	298.3	255.61	196.73	121.65	141.52	189.46	302.55	340.63	394.88	3335.64
Número de renovaciones hora: Ventilación e infiltraciones		0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.23	0.24	0.23	0.25	0.25	0.24	0.24

En la actualidad, se puede validar el confort interior de un edificio con normativas en uso. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) establece límites de temperatura operativa y de humedad relativa para determinados casos; condicionados por la actividad metabólica, la vestimenta, el porcentaje de personas insatisfechas y asumiendo velocidades de aire inferiores a 0.1m/s para invierno y verano.

Otra normativa aplicable es la UNE EN ISO 7730. Esta establece rangos de sensación térmica y porcentaje de personas insatisfechas a partir del comportamiento de parámetros como la actividad metabólica, la vestimenta, velocidades de aire, temperatura interior del aire, temperatura de globo y humedad relativa.

En este apartado se analizan los resultados arrojados por el RITE.

El RITE en la IT 1.1.4.1.2 "Temperatura operativa y humedad relativa" de la Parte II Instrucciones Técnicas establece que:

1. Las condiciones interiores de diseño de la temperatura operativa y la humedad relativa se fijarán con base en la actividad metabólica de las personas, su grado de vestimenta y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD), según los siguientes casos:

a) Para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno y un PPD (porcentaje de personas insatisfechas)

VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

menor al 10 %, los valores de la temperatura operativa y de la humedad relativa, asumiendo un nivel de velocidad de aire bajo ($<0.1 \text{ m / s}$), estarán comprendidos entre los límites indicados en la tabla 1.4.1.1.

Tabla 9 Condiciones Interiores de Diseño. RITE 2022

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

(RITE,ITE, 2022)

b) Para valores diferentes de la actividad metabólica, grado de vestimenta, velocidad del aire y PPD del apartado a) es válido el cálculo de la temperatura operativa y la humedad relativa realizado por el procedimiento indicado en la norma UNE-EN ISO 7730.

Para el caso de estudio se tomará de referencia la tabla anterior para evaluar el comportamiento de la Temperatura operativa y la Humedad.

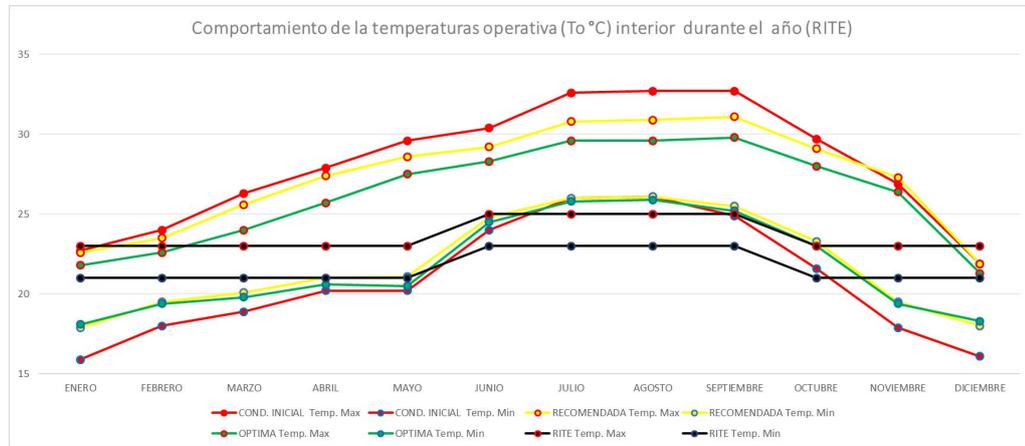
Los meses de verano considerados son: junio, julio, agosto y septiembre y los meses de invierno: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo.

Los Gráficos 3 y 4 "Comportamiento de temperatura Operativa" y "Humedad Relativa" muestran los valores de Temperatura Operativa Máxima y Mínima, y la Humedad Relativa Media de las Tablas 6, 7 y 8 comparadas con los rangos admitidos por el RITE (línea negra) para las condiciones

Gráfico 3 Comportamiento de la Temperatura Operativa Interior respecto al RITE

establecidas.

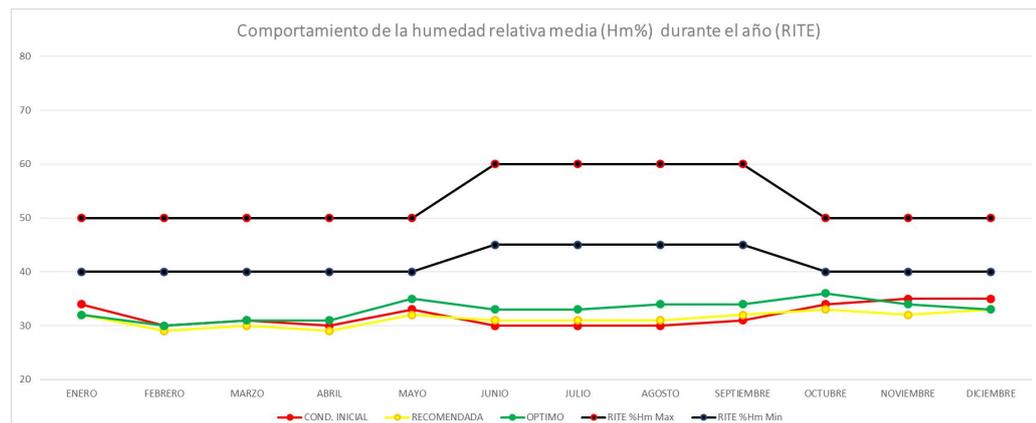
VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO



El gráfico de Temperatura Operativa obtenido a partir de la modelación energética revela que la mejora en las características de los acristalamientos contribuye a una notable reducción de la temperatura máxima interior, alcanzando hasta 3 °C menos en el mes de agosto al comparar la Condición Inicial con la Variante Óptima. Del mismo modo, en la temperatura mínima interior se consigue una elevación de hasta 2,2 °C en enero debido al aumento del aislamiento térmico y a la disminución de la permeabilidad al aire de la ventana.

Sin embargo, estas mejoras, no resultan suficientes para garantizar el cumplimiento continuo de los rangos de confort térmico establecidos por el RITE a lo largo de todo el año. A pesar de ello, se produce una reducción efectiva de la demanda energética asociada a los sistemas de climatización necesarios para mantener dichas condiciones de confort, lo que implica un menor consumo energético y una mejora en la eficiencia global del edificio.

Gráfico 4 Comportamiento de la Humedad Relativa Media respecto al RITE



VII. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA Y CONFORT TÉRMICO DEL AULA DE ESTUDIO

El Gráfico 4, muestra variaciones poco significativas para la mejora de las condiciones de humedad, y es que soluciones pasivas como los acristalamientos no participan directamente en su mejora. Para mejorar estas condiciones será necesario instalar un sistema de humidificación mecánico.

VIII. CONCLUSIONES

VIII. CONCLUSIONES

Habiendo concluido la investigación sobre un edificio patrimonial del siglo XX, representativo de una arquitectura que anticipaba preocupaciones actuales como el confort y el comportamiento integral del entorno construido, se constata que la incorporación de soluciones pasivas en los procesos de rehabilitación no solo contribuye a la mejora estética, sino que desempeña un papel fundamental en la reducción de la demanda energética, el aumento del bienestar térmico y la mejora de la eficiencia energética. Estas estrategias permiten intervenir de manera respetuosa y eficaz en edificaciones con valor histórico, reafirmando la compatibilidad entre sostenibilidad y conservación patrimonial.

En particular, la mejora de los huecos de fachada, mediante la optimización del acristalamiento, la reducción de puentes térmicos y la adecuación de los marcos, incide de forma significativa en el confort térmico interior y en el desempeño energético global del edificio. La tecnología actual en la fabricación de ventanas posibilita intervenciones altamente eficientes sin comprometer la integridad formal ni la expresividad original de la arquitectura. Esto permite dar continuidad al enfoque holístico que inspiró a muchos arquitectos del siglo XX, promoviendo una rehabilitación fiel al lenguaje arquitectónico original, pero alineada con los estándares contemporáneos de eficiencia y sostenibilidad.

El análisis del marco normativo vigente revela que tanto el CTE DB-HE 2022 como el RITE establecen criterios precisos para evaluar el comportamiento térmico de los cerramientos. La exigencia básica HE1, en particular, proporciona una guía clara para la mejora de huecos en edificios existentes, permitiendo su aplicación técnica sin vulnerar los valores patrimoniales, siempre que se atienda a la compatibilidad formal de los materiales y soluciones propuestas.

Considerando el alcance de las normativas vigentes en materia de eficiencia energética y confort, específicamente el CTE DB-HE y el RITE, las cuales contemplan excepciones para edificaciones declaradas de alto valor patrimonial, resulta pertinente señalar que, aunque el edificio objeto de estudio aún no cuenta con una catalogación oficial, presenta cualidades formales, constructivas y culturales que evidencian un valor patrimonial significativo. Como profesionales vinculados a la intervención en el patrimonio edificado, somos capaces de reconocer dicho valor y actuar en consecuencia. En este sentido, la investigación ha permitido identificar y evaluar

VIII. CONCLUSIONES

la brecha existente entre los requisitos técnicos normativos y las particularidades estéticas propias del inmueble, lo cual representa una oportunidad valiosa para desarrollar propuestas de rehabilitación energética conscientes, que equilibren el respeto por la identidad arquitectónica con la mejora del desempeño ambiental.

Se hace evidente que los edificios del siglo XX situados en zonas de clima continental, donde los inviernos son rigurosos y los veranos intensos, y cuyas fachadas fueron concebidas con una alta proporción de acristalamientos orientados a la captación solar, enfrentan un desafío relevante en términos de eficiencia energética y confort térmico. En este contexto, para los profesionales dedicados a la intervención en edificios patrimoniales con estas características, resulta esencial aprovechar al máximo los parámetros de diseño y las amplias posibilidades que ofrece la tecnología actual en materia de acristalamientos. Esta capacidad de adaptación permite conciliar las exigencias contemporáneas de sostenibilidad y eficiencia energética con el respeto por la identidad arquitectónica original.

La modelación energética del aula de estudio en la Sede Paseo del Cauce de la Escuela Técnica de Ingenierías Industriales a través de CYPE MEP y CYPETHERM Plus ha evidenciado el impacto que generan las mejoras en los huecos de fachada sobre el comportamiento energético y las condiciones de confort interior, en relación con las exigencias normativas vigentes. validando la utilidad de estas herramientas como soporte técnico en proyectos de rehabilitación energética en el contexto patrimonial.

Aunque las diferencias de la demanda energética y del confort térmico interior no son excesivas de la condición inicial a las dos variantes propuestas, dado que el diseño original incorporaba estrategias bioclimáticas pasivas, las intervenciones realizadas permiten alcanzar el cumplimiento de la sección HE1 del DB-HE 2022 y mejorar el confort térmico interior. La rehabilitación de los huecos de fachada se consolida así, como una solución duradera, multifuncional y coherente con los principios de conservación del patrimonio arquitectónico.

La comparación entre las variantes de acristalamiento analizadas demuestra que tanto la Variante Recomendada como la Variante Óptima contribuyen significativamente a la mejora del confort térmico interior, reduciendo el número de horas fuera de consigna y manteniendo la temperatura

VIII. CONCLUSIONES

operativa y la humedad relativa dentro de los umbrales establecidos por el RITE.

Asimismo, las condensaciones superficiales e intersticiales en los muros de fachada se mantienen inalterables.

Si bien la Variante Óptima presenta los mejores indicadores en términos de eficiencia energética y confort térmico, estos resultados no son por sí solos concluyentes para definir una solución integral al problema. Aspectos como la viabilidad económica, la durabilidad de los materiales, el impacto en el cumplimiento global del CTE DB-HE 2022 y del RITE, así como la compatibilidad técnica con los valores patrimoniales del edificio, deben ser considerados en conjunto. En este sentido, se plantea como línea de desarrollo futuro la necesidad de continuar profundizando en soluciones pasivas integrales y adaptativas, que respondan de manera equilibrada a los desafíos técnicos, normativos y de conservación que plantea la rehabilitación energética de edificios del siglo XX con valor patrimonial.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Architecture. (s.f.). *860–880 North Lake Shore Drive*. Consultado en junio de 2025, de CHICAGO ARCHITECTURE CENTER: <https://www.architecture.org/online-resources/buildings-of-chicago/860-880-north-lake-shore-drive>

Andrés, P. (2023). *VALORACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR (CAI) EN AULAS UNIVERSITARIAS CON ACTIVIDAD DOCENTE*. Valladolid: EII.

Archdaily. (s.f.). Consultado en junio de 2025, de Clásicos de Arquitectura: Edificio de la Bauhaus en Dessau / Walter Gropius: <https://www.archdaily.cl/cl/02-362897/clasicos-de-arquitectura-edificio-de-la-bauhaus-en-dessau-walter-gropius>

COAM. (s.f.). *FERNÁNDEZ ALBA, ANTONIO (FA)*. Consultado en Junio de 2025, de COAM: <https://www.coam.org/es/fundacion/servicio-historico/fondos-y-legados/fernandez-alba-antonio-fa>

Cristel. (31 de marzo de 2025). *5 edificios de vidrio más sorprendentes del mundo*. Consultado en junio de 2025, de Cristel Soluciones de Vidrio y aluminio: <https://www.cristel.com.mx/blog/edificios-de-vidrio-mas-sorprendentes-del-mundo>

CTE. (2022). *CTE*. Consultado en Mayo de 2025, de Guías de aplicación del DB-HE 2019: <https://www.codigotecnico.org/Guias/GuiaHE2019.html>

CUPAGROUP. (21 de febrero de 2022). *Construcciones orgánicas pioneras: el parque Güell*. Consultado en junio de 2025, de Arquitectura Sostenible: <https://arquitectura-sostenible.es/construcciones-organicas-pioneras-parque-guell/>

CUPAGROUP. (14 de febrero de 2022). *Construcciones orgánicas pioneras: la casa de la cascada*. Consultado en Junio de 2025, de Arquitectura Sostenible: <https://arquitectura-sostenible.es/construcciones-organicas-pioneras-casa-cascada/#:~:text=La%20casa%20de%20la%20cascada%20hoy%20en%20d%C3%ADa%20es%20patrimonio,se%20puede%20vivir%20en%20ella.>

CYPEIngenierosS.A. (s.f.). *Diferencias en los resultados obtenidos con CYPETHERM HE Plus, CYPECAD MEP,*

HULC y otros programas de estudio térmico. Consultado en Mayo de 2025, de CYPElearning: <https://learning.cype.com/es/faq/diferencias-en-los-resultados-obtenidos-con-cypetherm-he-plus-cypecad-mep-hulc-y-otros-programas-de-estudio-termico/>

CYPEIngenierosS.A. (s.f.). *Diferencias entre la utilización de CYPECAD MEP y los programas Open BIM.* Consultado en Mayo de 2025, de CYPElearning: <https://learning.cype.com/es/faq/diferencias-entre-la-utilizacion-de-cypecad-mep-y-los-programas-open-bim/>

CYPEIngenierosS.A. (s.f.). *CYPECAD MEP.* Consultado en mayo de 2025, de CYPElearning: <https://info.cype.com/es/producto/cypecad-mep/>

CYPEIngenierosS.A. (s.f.). *CYPETHERM HE Plus.* Consultado en 2025, de CYPElearning: <https://info.cype.com/es/software/cypetherm-he-plus/>

DB-HE2022. (s.f.). *DB-HE2022.* Consultado en mayo de 2025, de Código Técnico de la Edificación: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>

DoCoMoMolbérico. (s.f.). *Antonio Fernández Alba.* Consultado en junio de 2025, de DoCoMoMolbérico: <https://docomomoiberico.com/autoria/antonio-fernandez-alba/>

EL PAIS. (28 de abril de 2025). *CincoDías.* Consultado en junio de 2025, de Garrigues se instala en las alturas y estrena sede corporativa en las Torres de Colón de Madrid: https://cincodias.elpais.com/legal/2025-04-28/garrigues-estrena-sede-corporativa-en-las-torres-de-colon-de-madrid.html?utm_source=chatgpt.com

EL PARIS HISTÓRICO. (2025). Obtenido de BATOBUS: <https://www.batobus.com/es/saint-germain-des-pres>

EncyclopaediaHerder. (2017). *Anaxágoras.* Consultado en junio de 2025, de Encyclopaedia herder: <https://encyclopaedia.herdereditorial.com/wiki/Autor:Anax%C3%A1goras>

ETSAVA. (8 de mayo de 2024). *Antonio Fernández Alba (1927-2024) In Memoriam.* Consultado en junio de 2025, de ETSAVA:

<https://arquitectura.uva.es/2024/05/08/antonio-fernandez-alba-1927-2024/>

Giposkua, N. d. (20 de 02 de 2025). *Bajo techo de cristal: Grandes galerías que proliferaron en el XIX*. Consultado en junio de 2025, de Urgull S.A: <https://www.noticiasdegipuzkoa.eus/rutas-y-naturaleza/2020/02/25/techo-cristal-grandes-galerias-proliferaron-3793490.html>

Lamela, E. (s.f.). *Torres Colón*. Consultado en junio de 2025, de Estudio Lamela Arquitectos: <https://www.lamela.com/proyectos/torres-colon/>

Nájera, M. (agosto de 2009). Calificación Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid. *Trabajo Final de Carrera*. EII.

Neila, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Munilla-Lería.

Onventana. (13 de mayo de 2021). *Onventana*. Consultado en junio de 2025, de Composiciones de acristalamientos: <https://www.onventanas.com/composiciones-acristalamientos/>

Onventanas. (22 de julio de 2021). *Onventanas*. Consultado en mayo de 2025, de Sellados de las ventanas: <https://www.onventanas.com/sellados-alternativos-ventanas/>

Onventanas. (5 de agosto de 2021). *Onventanas*. Consultado en mayo de 2025, de Perfiles de PVC y su clasificación: <https://www.onventanas.com/perfiles-pvc-ventanas-clasificacion/>

RetoKömmerling. (20 de octubre de 2020). *Arquitectura orgánica: Qué es y en qué consiste*. Consultado en junio de 2025, de Reto Kömmerling : <https://retokommerling.com/arquitectura-organica/#:~:text=El%20organicismo%20deriva%20del%20racionalismo,revista%20Architectural%20Record%2C%20en%20EEUU.>

RITE,ITE. (22 de agosto de 2022). *Boletín Oficial del Estado*. Consultado en mayo de 2025, de Regalmento de Instalaciones Termicas: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/20/1027/con>

X. ANEXOS

1. Informes CYPETHERM para la Condición Inicial

1.1. Condición Inicial: Descripción de materiales y elementos constructivos

Descripción de materiales y elementos constructivos

UNE EN ISO 6946
UNE EN ISO 10077
UNE EN ISO 13370
UNE EN ISO 10456

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE.....	4
1.1. Fachadas.....	4
1.1.1. Parte ciega de las fachadas.....	4
1.1.2. Huecos en fachada.....	4
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN.....	6
2.1. Compartimentación interior vertical.....	6
2.1.1. Parte ciega de la compartimentación interior vertical.....	6
2.2. Compartimentación interior horizontal.....	6
3. MATERIALES.....	9

1. SISTEMA ENVOLVENTE

Descripción de materiales y elementos constructivos

1. SISTEMA ENVOLVENTE

1.1. Fachadas

1.1.1. Parte ciega de las fachadas

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada Superficie total 39.67 m²

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada

	<p>Listado de capas:</p>	
	1 - Fábrica de ladrillo cerámico macizo cara vista	11.50 cm
	2 - Enfoscado de cemento a buena vista	2.00 cm
	3 - Lana mineral	5.00 cm
	4 - Cámara de aire sin ventilar	5.00 cm
	5 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7.00 cm
	6 - Guarnecido y enlucido de yeso	2.00 cm
<p>Características</p>	<p>Transmitancia térmica, U: 0.52 W/(m²·K)</p> <p>Espesor total 32.50 cm</p>	

1.1.2. Huecos en fachada

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Características Transmitancia térmica, U: 3.88 W/(m²·K)
 Factor solar, g: 0.990
 Fracción opaca, Ff: 0.162
 Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{gl\ shui}$: 0.43

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Características Transmitancia térmica, U: 3.88 W/(m²·K)
 Factor solar, g: 0.990
 Fracción opaca, Ff: 0.162
 Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{gl\ shui}$: 0.43

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Características Transmitancia térmica, U: 3.88 W/(m²·K)
 Factor solar, g: 0.990
 Fracción opaca, Ff: 0.162
 Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{gl\ shui}$: 0.43

2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN

Descripción de materiales y elementos constructivos

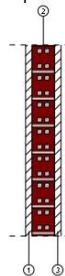
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN

2.1. Compartimentación interior vertical

2.1.1. Parte ciega de la compartimentación interior vertical

Tabique de una hoja, con revestimiento [1] Superficie total 82.81 m²

Tabique de una hoja, con revestimiento [1]



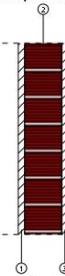
Listado de capas:

1 - Guarnecido y enlucido de yeso	2.00 cm
2 - Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7.00 cm
3 - Guarnecido y enlucido de yeso	2.00 cm

Características Transmitancia térmica, U: 2.04 W/(m²·K)
Espesor total 11.00 cm

Tabique de una hoja, con revestimiento [2] Superficie total 49.32 m²

Tabique de una hoja, con revestimiento [2]



Listado de capas:

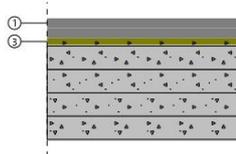
1 - Guarnecido y enlucido de yeso	2.00 cm
2 - Fábrica de ladrillo cerámico macizo	11.50 cm
3 - Guarnecido y enlucido de yeso	2.00 cm

Características Transmitancia térmica, U: 2.22 W/(m²·K)
Espesor total 15.50 cm

2.2. Compartimentación interior horizontal

Forjado unidireccional [1] Superficie total 134.43 m²

Forjado unidireccional [1]



Listado de capas:

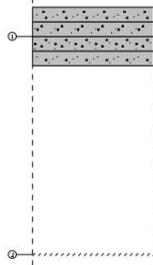
1 - Solado de baldosas de terrazo micrograno (menor o igual a 6 mm)	3.00 cm
2 - [base_mortero_tipo_mater]	3.20 cm
3 - Base de gravilla de machaqueo	2.00 cm
4 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30.00 cm

Características Transmitancia térmica, U: 2.14 W/(m²·K)
Espesor total 38.20 cm

Descripción de materiales y elementos constructivos

Forjado unidireccional [2] Superficie total 134.43 m²

Forjado unidireccional [2]



Listado de capas:

1 - Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30.00 cm
2 - Cámara de aire sin ventilar	93.00 cm
3 - Falso techo continuo suspendido, liso de placas de yeso laminado	1.25 cm

Características

Transmitancia térmica, U: 1.56 W/(m²·K)
Espesor total 124.25 cm

3. MATERIALES**Descripción de materiales y elementos constructivos****3. MATERIALES**

Capas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Fábrica de ladrillo cerámico macizo cara vista	11.50	2170.00	0.958	0.12	1000.00
Enfoscado de cemento a buena vista	2.00	1900.00	1.300	0.02	1000.00
Lana mineral	5.00	40.00	0.040	1.25	1000.00
Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7.00	930.00	0.438	0.16	1000.00
Guarnecido y enlucido de yeso	2.00	1150.00	0.570	0.04	1000.00
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	11.50	2170.00	0.958	0.12	1000.00
Solado de baldosas de terrazo micrograno (menor o igual a 6 mm)	3.00	1700.00	1.300	0.02	1000.00
[base_mortero_tipo_mater]	3.20	1900.00	1.300	0.02	1000.00
Base de gravilla de machaqueo	2.00	1950.00	2.000	0.01	1045.00
Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón)	30.00	1241.11	1.429	0.21	1000.00
Falso techo continuo suspendido, liso de placas de yeso laminado	1.25	825.00	0.250	0.05	1000.00
Abreviaturas utilizadas					
e	Espesor cm		RT	Resistencia térmica ($m^2 \cdot K$)/W	
ρ	Densidad kg/m^3		Cp	Calor específico J/(kg·K)	
λ	Conductividad térmica W/(m·K)				

1.2 Descripción de los puentes térmicos lineales: Condición Inicial, Variante Recomendada, Variante Óptima.

Descripción de los puentes térmicos lineales

EN ISO 14683

EN ISO 10211

Esquina entrante de fachadas	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
LWi [B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada(90) Esquinas entrantes (al interior). Esquina entrante.	16.480	-0.12

Esquina saliente de fachadas	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
LWo [B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada(90) Esquinas salientes (al exterior). Esquina saliente.	16.480	0.09

Hueco de ventana	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
Wi [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento.	6.020	0.00
Ws [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	6.020	0.00
Wi [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	12.000	0.00
Wi [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento.	5.075	0.00
Ws [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	5.075	0.00
Wi [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	8.000	0.00
Wi [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento.	0.580	0.00

Hueco de ventana	Longitud (m)	Ψ (W/(m·K))
Ws [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	0.580	0.00
Wl [K]Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)-[B]Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada TFM EII. Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería.	5.520	0.00

1.3 Condición Inicial: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

ÍNDICE

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA.....	3
1.1. Condiciones de la envolvente térmica.....	3
1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica.....	3
1.1.2. Control solar de la envolvente térmica.....	4
1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica.....	4
1.2. Limitación de descompensaciones.....	4
1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica.....	4
2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO.....	4
2.1. Zonificación climática.....	4
2.2. Agrupaciones de recintos.....	5
3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO.....	5
3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.....	5
3.1.1. Cerramientos opacos.....	5
3.1.2. Huecos.....	5
3.1.3. Puentes térmicos.....	6

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

1.1. Condiciones de la envolvente térmica

1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

Transmitancia de la envolvente térmica: Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. 

Demanda energética anual por superficie útil

Según el apartado 3.1.1.6 de CTE DB HE 1, alternativamente, los edificios o, cuando se trate de intervenciones parciales en edificios existentes, las partes de los mismos sobre las que se intervenga, cuyas demandas de calefacción y refrigeración sean menores, en ambos casos, de 15 kWh/m², podrán excluirse del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

$$D_{cal,edificio} = 13.84 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{cal,lim} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$


donde:

$D_{cal,edificio}$: Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$D_{cal,lim}$: Valor límite de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$$D_{ref,edificio} = 18.93 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{ref,lim} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$


donde:

$D_{ref,edificio}$: Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

$D_{ref,lim}$: Valor límite de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 1.77 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \leq K_{lim} = 0.70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

donde:

K : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

K_{lim} : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

	S (m ²)	L (m)	K _i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 63.4562 m²				
Fachadas	39.67	--	0.32	18.30
Huecos	23.79	--	1.46	82.22
Puentes térmicos	--	32.960	-0.01	-0.52

donde:

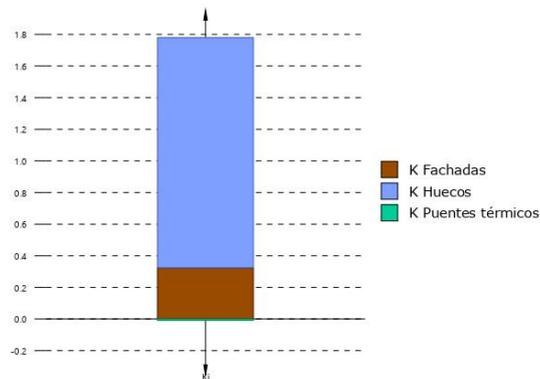
S : Superficie, m².

L : Longitud, m.

K_i : Coeficiente parcial de transmisión de calor, W/(m²·K).

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor., %.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética



1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,Jul}} = 4.93 \text{ kWh/m}^2 \leq q_{\text{sol,Jul,lim}} = 4.00 \text{ kWh/m}^2$$



donde:

$q_{\text{sol,Jul}}$: Valor calculado del parámetro de control solar, kWh/m².
 $q_{\text{sol,Jul,lim}}$: Valor límite del parámetro de control solar, kWh/m².

1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

$$n_{50} = 3.54213 \text{ h}^{-1}$$

donde:

n_{50} : Valor calculado de la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

1.2. Limitación de descompensaciones

Limitación de descompensaciones: La transmitancia térmica de las particiones interiores no supera el valor límite descrito en la tabla 3.2 del DB HE1.



1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica

Limitación de condensaciones: en la envolvente térmica del edificio no se producen condensaciones intersticiales que puedan producir una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.



2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO

2.1. Zonificación climática

El edificio objeto del proyecto se sitúa en el municipio de **Valladolid (provincia de Valladolid)**, con una altura sobre el nivel del mar de **691.000 m**. Le corresponde, conforme al Anejo B de CTE DB HE, la zona climática **D2**.

La pertenencia a dicha zona climática, junto con el tipo y el uso del edificio (**Reforma - Otros usos**), define los valores límite aplicables en la cuantificación de la exigencia, descritos en la sección HE1. Control de la demanda energética del edificio, del Documento Básico HE Ahorro de energía, del CTE.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

2.2. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de la envolvente térmica del edificio, así como la de cada una de las zonas que han sido incluidas en la misma:

	S (m ²)	V (m ³)	V _{inf} (m ³)	Q _{sol,12h} (kWh/mes)	n ₅₀ (h ⁻¹)	q _{sol,12h} (kWh/m ² /mes)	V/A (m ³ /m ²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	651.27	416.13	662.41	3.542	-	-
Envolvente térmica	134.43	651.27	416.13	662.41	3.5	4.93	10.3

donde:

S: Superficie útil interior, m².

V: Volumen interior, m³.

V_{inf}: Volumen interior para el cálculo de las infiltraciones, m³.

Q_{sol,12h}: Ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

n₅₀: Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

q_{sol,12h}: Control solar, kWh/m²/mes.

V/A: Compacidad (relación entre el volumen encerrado y la superficie de intercambio con el exterior), m³/m².

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO

3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **18.30%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m ²)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	α	O. (°)	S·U (W/K)	
ZONA ACONDICIONADA								
Fachada		25.22	0.52	0.41	0.60	Sudoeste(223)	13.07	✗
Fachada		7.54	0.52	0.41	0.60	Sureste(133)	3.90	✗
Fachada		6.91	0.52	0.41	0.60	Noroeste(313)	3.58	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		49.32	2.22	0.65	-	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	2.14	0.65	0.40	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	1.56	0.65	0.40	-	-	✗
							20.55	

donde:

S: Superficie, m².

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **82.22%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m ²)	O. (°)	F _f (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{gl}	g _{gl,12h}	Q _{sol,12h} (kWh/mes)	%Q _{sol,12h}	
ZONA ACONDICIONADA											
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.11	Sureste(133)	0.16	3.88	1.80	4.31	0.86	0.43	25.62	3.87	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	9.68	Sudoeste(223)	0.16	3.88	1.80	37.57	0.86	0.43	297.75	44.95	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.25	Noroeste(313)	0.16	3.88	1.80	4.85	0.86	0.43	19.18	2.90	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	1.11	Sureste(133)	0.16	3.88	1.80	4.31	0.86	0.43	12.38	1.87	✗

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

	S (m ²)	O. (°)	F _p (%)	U (W/(m ² ·K))	U _m (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{ext}	g _{int}	Q _{sol,util} (kWh/mes)	%q _{sol,util}	
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	9.04	Sudoeste(223)	0.16	3.88	1.80	35.09	0.86	0.43	277.44	41.88	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)	1.60	Noroeste(313)	0.16	3.88	1.80	6.21	0.86	0.43	30.04	4.54	✗
						92.34			662.41	100.00	

donde:

- S: Superficie, m².
 O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.
 F_p: Fracción de parte opaca, %.
 U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).
 U_m: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).
 g_{ext}: Factor solar.
 g_{int}: Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados.
 Q_{sol,util}: Ganancia solar para el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.
 %q_{sol,util}: Repercusión en el parámetro de control solar de la envolvente térmica, %.

3.1.3. Puentes térmicos

Los puentes térmicos suponen el **-0.52%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	L (m)	Ψ (W/(m·K))	L·Ψ (W/K)
ZONA ACONDICIONADA				
Esquina entrante de fachadas		16.480	-0.123	-2.0
Esquina saliente de fachadas		16.480	0.088	1.5
				-0.6

donde:

- L: Longitud, m.
 Ψ: Transmitancia térmica lineal, W/(m·K).

1.4 Condición Inicial: Indicadores de eficiencia energética.

Indicadores de eficiencia energética

Demanda		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Refrigeración	24.01	12.24
Calefacción	14.33	19.75

Consumo de energía primaria no renovable		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Global	78.38	71.79
Refrigeración	27.59	14.07
Calefacción	24.13	33.26
ACS	--	--
Iluminación	24.46	24.46

Emisiones		
	Edificio objeto (kgCO ₂ /m ² ·año)	Edificio de referencia (kgCO ₂ /m ² ·año)
Global	15.55	15.30
Refrigeración	4.67	2.38
Calefacción	6.37	8.77
ACS	--	--
Iluminación	4.14	4.14

1.5 Condición Inicial: Consumo Energético.

Consumo energético**ÍNDICE**

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	3
1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.....	3
1.2. Resultados mensuales.....	3
1.2.1. Consumo de energía final del edificio.....	3
1.2.2. Horas fuera de consigna.....	3
2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS.....	4
3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.....	4
3.1. Energía eléctrica producida in situ.....	4
3.2. Energía térmica producida in situ.....	4
3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.....	4
4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.....	4
4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.....	4
4.2. Demanda energética de ACS.....	5
5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.....	5
5.1. Definición de los espacios del edificio.....	5
5.1.1. Agrupaciones de recintos.....	5
5.1.2. Condiciones operacionales.....	5
5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación.....	6
5.1.4. Carga interna media.....	6
5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.....	6
5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.....	6

Consumo energético

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{ren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	1946.15	14.48	2018.09	15.01	66.14	0.49
Ventilación	150.24	1.12	355.84	2.65	293.60	2.18
Iluminación	1683.10	12.52	3985.51	29.65	3288.75	24.46
	3779.49	28.11	6359.44	47.31	3648.49	27.14

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.

EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.

EP_{ren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

1.2. Resultados mensuales.

1.2.1. Consumo de energía final del edificio.

		Año												Año	Año
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)															
Demanda energética	Calefacción	700.3	242.4	157.0	21.6	4.6	--	--	--	--	120.3	614.4	1860.7	13.8	
	Refrigeración	--	--	--	2.6	114.0	350.8	700.9	802.7	494.8	78.5	0.2	--	2544.4	18.9
	TOTAL	700.3	242.4	157.0	24.2	118.7	350.8	700.9	802.7	494.8	78.5	120.5	614.4	4405.2	32.8
Biomasa	Calefacción	733.3	253.9	164.4	22.4	4.8	--	--	--	--	124.0	643.4	1946.2	14.5	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Electricidad	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Control de la humedad	Ventilación	13.0	11.5	13.0	12.0	13.0	12.5	13.0	12.0	13.0	12.5	12.5	150.2	1.1	
	Iluminación	145.2	129.1	145.2	134.4	145.2	139.8	139.8	145.2	134.4	145.2	139.8	1683.1	12.5	
	C _{e, total}	891.5	394.4	322.5	168.8	163.0	152.3	152.3	158.1	146.4	158.1	276.3	795.7	3779.5	28.1

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

C_{e, total}: Consumo de energía en punto de consumo (energía final), kWh/m²·año.

1.2.2. Horas fuera de consigna

Se indica el número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios habitables acondicionados del edificio se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1°C para calefacción y 1°C para refrigeración. Se considera que el edificio se encuentra fuera de consigna cuando cualquiera de dichos espacios lo está.

Zonas acondicionadas		Año												Año
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
ZONA ACONDICIONADA	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	70.00	179.75	208.00	216.00	200.00	66.75	--	--	940.50
Edificio	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Refrigeración	--	--	--	--	70.00	179.75	208.00	216.00	200.00	66.75	--	--	940.50
	TOTAL	--	--	--	--	70.00	179.75	208.00	216.00	200.00	66.75	--	--	940.50

Consumo energético

2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS

Se indica a continuación el consumo de energía final (EF) y el rendimiento estacional de los generadores que atienden los servicios de calefacción, refrigeración y producción de ACS, obtenidos de la simulación del edificio.

El rendimiento estacional expresa la relación entre la producción de energía térmica del generador y su consumo total de energía.

	Descripción	Vector energético	EF (kWh/año)	Rendimiento estacional
Generadores de calefacción				
ref 1	Equipo de rendimiento constante	Biomasa	1946.15	0.95

donde:

EF: Consumo de energía final, kWh/año.

3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.

3.1. Energía eléctrica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía eléctrica.

3.2. Energía térmica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía térmica a partir de fuentes totalmente renovables.

3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.

Se indica la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio que procede de fuentes renovables no fósiles, como son la biomasa, la electricidad consumida que se produce en el edificio a partir de fuentes renovables y la energía térmica captada del medioambiente.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)	Año (kWh/m ² -año)
Electricidad autoconsumida de origen renovable	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Medioambiente	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Biomasa	733.3	253.9	164.4	22.4	4.8	--	--	--	--	--	124.0	643.4	1946.2	14.5
Biomasa densificada (pellets)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.

La demanda energética del edificio que debe satisfacerse en el cálculo del consumo de energía primaria, corresponde a la suma de la energía demandada de calefacción, refrigeración y ACS del edificio según las condiciones operacionales definidas.

4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.

Se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u (m ²)	D_{ca} (kWh/año)	D_{ca} (kWh/m ² -año)	D_{re} (kWh/año)	D_{re} (kWh/m ² -año)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	1860.72	13.84	2544.43	18.93
	134.43	1860.72	13.84	2544.43	18.93

donde:

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{ca} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/año.

Consumo energético

D_{ref} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²-año.

4.2. Demanda energética de ACS.

El edificio proyectado no tiene demanda de agua caliente sanitaria.

5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

5.1. Definición de los espacios del edificio.

5.1.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

	S (m ²)	V (m ³)	ren _h (1/h)	ΣQ_{ocupa} (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,i}$ (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,s}$ (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,l}$ (kWh/año)	ΣQ_{lum} (kWh/año)	Perfil de uso	Condiciones operacionales
ZONA ACONDICIONADA (Zona habitable acondicionada)										
AULA DE ESTUDIO	134.43	416.13	0.80	672.69	424.68	504.93	--	1683.09	Baja, Otros usos 8h	Otros usos 8 h
	134.43	416.13	0.80/0.25*	672.69	424.68	504.93	--	1683.09		

donde:

S: Superficie útil interior del recinto, m².

V: Volumen interior neto del recinto, m³.

ren_h: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.

*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.

Q_{ocupa} : Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,i}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,l}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

Q_{lum} : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

5.1.2. Condiciones operacionales

Distribución horaria

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Perfil: Otros usos 8 h (uso no residencial)																								
Temp. Consigna Alta (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Temp. Consigna Baja (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Consumo energético

5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación

		Distribución horaria																								
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
Perfil: Baja, Otros usos 8 h (uso no residencial)																										
Ocupación sensible (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.1.4. Carga interna media

Se muestran los resultados del cálculo de la carga interna media de las zonas habitables del edificio.

Zonas habitables	S _v (m²)	C _{in} (W/m²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	2.4
	134.43	2.4

donde:

S_v: Superficie habitable del edificio, m².

C_{in}: Carga interna media, W/m². Carga media horaria de una semana tipo, repercutida por unidad de superficie del edificio o zona del edificio, teniendo en cuenta la carga sensible debida a la ocupación, la carga debida a la iluminación y la carga debida a los equipos (Anejo A, CTE DB HE).

5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.

El procedimiento de cálculo empleado tiene como objetivo determinar el consumo de energía primaria del edificio procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Para ello, se ha empleado el documento reconocido CYPETHERM HE Plus. Mediante dicho programa, se realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo térmico zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™ versión 23.1, en la que, hora a hora, se realiza el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico para mantener las condiciones operacionales definidas, determinando, para cada equipo técnico, su punto de trabajo, la energía útil aportada y la energía final consumida, desglosando el consumo energético por equipo, servicio técnico y vector energético utilizado.

El cálculo de la energía primaria que corresponde a la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio, teniendo en cuenta la contribución de la energía producida in situ, se realiza mediante el programa CteEPBD integrado en CYPETHERM HE Plus, desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio con el Ministerio de Fomento, que implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017.

5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.

Vector energético	f _{cep,ren}	f _{cep,ren}
Biomasa	0.034	1.003
Electricidad obtenida de la red	1.954	0.414

donde:

f_{cep,ren}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.

f_{cep,ren}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables.

1.6 Condensaciones. Condición Inicial, Variante Recomendada, Variante Óptima.

Condensaciones

UNE EN ISO 13788

ÍNDICE

1. ZONA ACONDICIONADA.....	3
1.1. Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada.....	3
1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones.....	3
1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo.....	3
1.1.3. Descripción del elemento constructivo.....	4
1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica.....	5
1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales.....	6
1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas.....	10

Condensaciones

ZONA ACONDICIONADA

1.1. Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada

1.1.1. Resultados del cálculo de condensaciones

1.1.1.1. Condensación superficial

$$f_{Rsi} = 0.870 \geq f_{Rsi,min} = 0.792$$

El elemento constructivo no presenta condensaciones superficiales.

donde:

f_{Rsi} : Factor de resistencia superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_{si})$, donde $U = 0.518 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistencia superficial interior mínimo, necesario para evitar la humedad superficial crítica, calculado considerando un valor de $\varphi_{s,c} \leq 0.8$.

1.1.1.2. Condensación intersticial

El elemento constructivo presenta condensaciones intersticiales en los meses de: **noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo**. Sin embargo, la cantidad de condensación acumulada en cada periodo anual no es superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

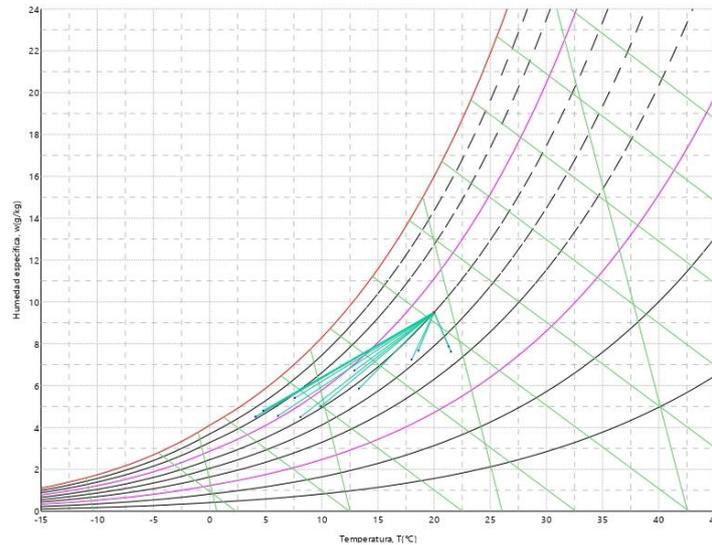
1.1.2. Condiciones higrotérmicas de cálculo

Las condiciones higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar el cálculo de condensaciones son las siguientes:

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Condiciones exteriores													
Temperatura, θ_e	(°C)	4.1	6.1	8.1	9.9	13.3	18.0	21.5	21.3	18.6	12.9	7.6	4.8
Humedad relativa, φ_e	(%)	82	72	62	61	57	52	44	46	53	67	77	83
Condiciones interiores													
Temperatura, θ_i	(°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Humedad relativa, φ_i	(%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

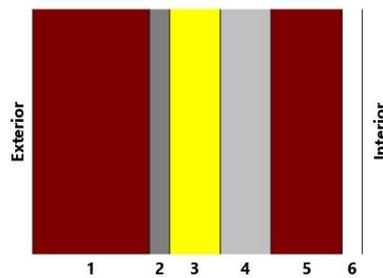
El diagrama psicrométrico asociado al emplazamiento, con una altura sobre el nivel del mar de **691 m**, se muestra a continuación, representando mediante segmentos de recta las transiciones desde cada condición exterior de cálculo a su correspondiente condición interior.

Condensaciones



1.1.3. Descripción del elemento constructivo

El esquema de la composición del elemento constructivo, en sección, es el siguiente:



Las características térmicas y las propiedades de difusión del vapor de agua de las capas homogéneas de caras paralelas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo son las siguientes:

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada		e (cm)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)	μ	S _a (m)
R_{se}				0.04		
1	Fábrica de ladrillo cerámico macizo cara vista	11.5	0.958	0.12000	10	1.15
2	Enfoscado de cemento a buena vista	2.0	1.300	0.01538	10	0.2
3	Lana mineral	5.0	0.040	1.25000	1	0.05
4	Cámara de aire sin ventilar	5.0		0.18000		0.01
5	Fábrica de ladrillo cerámico hueco	7.0	0.438	0.16000	10	0.7
6	Guarnecido y enlucido de yeso	2.0	0.570	0.03509	6	0.12
R_{si}				0.13		

donde:

- e: Espesor, cm.
- λ : Conductividad térmica del material, W/(m·K).
- R: Resistencia térmica del material, m²·K/W.
- μ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua del material.

Condensaciones

S_a : Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua, m.

R_w : Resistencia térmica superficial exterior del elemento, $m^2 \cdot K/W$.

R_i : Resistencia térmica superficial interior del elemento, $m^2 \cdot K/W$.

La información de cálculo relativa a los parámetros higrotérmicos del elemento completo, derivada del modelo de capas homogéneas, es la siguiente:

Magnitud	Uds.	Valor
Espesor total del elemento, e ,	cm	32.5
Resistencia térmica total, R_T ,	$m^2 \cdot K/W$	1.9305
Espesor de aire equivalente total, $S_{d,T}$,	m	2.23
Transmitancia térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.518
Factor de resistencia superficial interior, f_{Rsi}	--	0.870

donde:

E_T : Espesor total del elemento, cm.

R_T : Resistencia térmica total del elemento, sumatorio de la resistencia térmica de cada capa, incluyendo las resistencias superficiales R_w y R_i , $m^2 \cdot K/W$.

$S_{d,T}$: Espesor de aire equivalente total, sumatorio del espesor equivalente de cada capa del elemento, m.

U : Transmitancia térmica del elemento, calculada como la inversa de la resistencia térmica total, $W/(m^2 \cdot K)$.

f_{Rsi} : Factor de resistencia superficial interior, calculado como $(1 - U \cdot R_w)$, donde $U = 0.518 W/m^2 \cdot K$ y $R_w = 0.25 m^2 \cdot K/W$.

1.1.4. Cálculo del factor de temperatura superficial interior necesario para evitar la humedad superficial crítica

Con objeto de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica, se ha limitado la humedad relativa máxima en la superficie interior a un valor de $\varphi_{si,cr} \leq 0.8$.

Dadas las condiciones higrotérmicas exteriores, así como las interiores, el cálculo de $f_{Rsi,min}$ queda como sigue:

	θ_e (°C)	φ_e (%)	θ_i (°C)	φ_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(\theta_{si})$ (Pa)	$\theta_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Enero	4.1	82.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.792
Febrero	6.1	72.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.762
Marzo	8.1	62.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.722
Abril	9.9	61.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.672
Mayo	13.3	57.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.506
Junio	18.0	52.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.000
Julio	21.5	44.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	--*
Agosto	21.3	46.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	--*
Septiembre	18.6	53.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.000
Octubre	12.9	67.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.534
Noviembre	7.6	77.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.733
Diciembre	4.8	83.0	20.0	65.0	1519.02	1898.77	16.7	0.782

*: No hay riesgo de formación de condensaciones superficiales en el paramento interior, ya que $\theta_i \geq \theta_e$.

donde:

θ_e : Temperatura del aire exterior, °C.

φ_e : Humedad relativa del aire exterior, %.

θ_i : Temperatura del aire interior, °C.

φ_i : Humedad relativa del aire interior, aumentada con un coeficiente de seguridad 5%, %.

P_i : Presión de vapor en el ambiente interior, Pa.

$P_{sat}(\theta_{si})$: Presión de saturación del vapor de agua mínima aceptable para la superficie interior, Pa.

$\theta_{si,min}$: Mínima temperatura superficial interior aceptable, calculada en base a la presión de saturación mínima aceptable, °C.

$f_{Rsi,min}$: Factor de resistencia superficial interior mínimo.

Dado que $f_{Rsi} = 0.870 > f_{Rsi,min} = 0.792$, no se producen condensaciones superficiales en el elemento constructivo.

Condensaciones

1.1.5. Cálculo de condensaciones intersticiales

Se exponen a continuación los resultados alcanzados en el cálculo de las temperaturas y presiones en cada una de las interfaces formadas en la unión entre las capas homogéneas que conforman el modelo de cálculo del elemento constructivo.

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Enero.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,i}$ (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_c (g/m ²)
Aire exterior	4.10	818.587	671.241	82.0		
Cara exterior	4.43	837.747	671.241	80.1	--	--
Interfase 1-2	5.42	897.620	897.620	100.0	--	--
Interfase 2-3	5.54	905.563	905.563	100.0	281.025	575.703
Interfase 3-4	15.84	1798.783	933.779	51.9	--	--
Interfase 4-5	17.32	1976.578	939.423	47.5	--	--
Interfase 5-6	18.64	2147.350	1334.451	62.1	--	--
Cara interior	18.93	2186.481	1402.171	64.1	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

$P_{s,i}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_v : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

M_c : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Enero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Febrero.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,i}$ (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_c (g/m ²)
Aire exterior	6.10	941.117	677.604	72.0		
Cara exterior	6.39	960.031	677.604	70.6	--	--
Interfase 1-2	7.25	1018.800	1018.800	100.0	--	--
Interfase 2-3	7.36	1026.559	1026.559	100.0	187.748	763.451
Interfase 3-4	16.36	1859.867	1047.900	56.3	--	--
Interfase 4-5	17.66	2019.051	1052.169	52.1	--	--
Interfase 5-6	18.81	2170.434	1350.951	62.2	--	--
Cara interior	19.06	2204.929	1402.171	63.6	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

$P_{s,i}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_v : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

M_c : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Febrero)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Marzo.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,i}$ (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_c (g/m ²)
Aire exterior	8.10	1079.531	669.309	62.0		
Cara exterior	8.35	1097.778	669.309	61.0	--	--
Interfase 1-2	9.09	1154.160	1047.242	90.7	19.284	19.284
Interfase 2-3	9.18	1161.570	1161.570	100.0	-48.869	714.582
Interfase 3-4	16.89	1922.762	1175.240	61.1	--	--
Interfase 4-5	18.00	2062.320	1177.974	57.1	--	--
Interfase 5-6	18.98	2193.734	1369.361	62.4	--	--
Cara interior	19.20	2223.514	1402.171	63.1	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

Condensaciones

donde:

- θ : Temperatura, °C.
 P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.
 P_v : Presión del vapor de agua, Pa.
 ϕ : Humedad relativa, %.
 g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 M_c : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Marzo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Abril.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	P_{sat} (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_c (g/m ²)
Aire exterior	9.90	1219.110	743.657	61.0		
Cara exterior	10.11	1236.325	743.657	60.2	--	--
Interfase 1-2	10.74	1289.260	1289.260	100.0	-19.284	--
Interfase 2-3	10.82	1296.189	1296.189	100.0	44.474	759.057
Interfase 3-4	17.36	1980.952	1302.210	65.7	--	--
Interfase 4-5	18.30	2101.953	1303.415	62.0	--	--
Interfase 5-6	19.14	2214.892	1387.719	62.7	--	--
Cara interior	19.32	2240.357	1402.171	62.6	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

- θ : Temperatura, °C.
 P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.
 P_v : Presión del vapor de agua, Pa.
 ϕ : Humedad relativa, %.
 g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 M_c : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Abril)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Mayo.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	P_{sat} (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_c (g/m ²)
Aire exterior	13.30	1526.586	870.154	57.0		
Cara exterior	13.44	1540.471	870.154	56.5	--	--
Interfase 1-2	13.86	1582.791	1144.513	72.3	157.158	157.158
Interfase 2-3	13.91	1588.289	1588.289	100.0	-398.252	360.805
Interfase 3-4	18.25	2095.086	1577.714	75.3	--	--
Interfase 4-5	18.87	2178.640	1575.600	72.3	--	--
Interfase 5-6	19.43	2255.343	1427.551	63.3	--	--
Cara interior	19.55	2272.476	1402.171	61.7	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

- θ : Temperatura, °C.
 P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.
 P_v : Presión del vapor de agua, Pa.
 ϕ : Humedad relativa, %.
 g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 M_c : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Mayo)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Junio.

Condensaciones

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	P_{sat} (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_a (g/m ²)
Aire exterior	18.00	2062.830	1072.672	52.0		
Cara exterior	18.04	2068.211	1072.672	51.9	--	--
Interfase 1-2	18.17	2084.427	2084.427	100.0	-157.158	--
Interfase 2-3	18.18	2086.514	2086.514	100.0	-360.805	--
Interfase 3-4	19.48	2262.319	2047.631	90.5	--	--
Interfase 4-5	19.66	2288.674	2039.854	89.1	--	--
Interfase 5-6	19.83	2312.324	1495.490	64.7	--	--
Cara interior	19.87	2317.540	1402.171	60.5	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_v : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

M_a : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Junio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Julio.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	P_{sat} (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_a (g/m ²)
Aire exterior	21.50	2562.947	1127.697	44.0		
Cara exterior	21.47	2558.078	1127.697	44.1	--	--
Interfase 1-2	21.38	2543.517	1269.242	49.9	--	--
Interfase 2-3	21.36	2541.655	1293.858	50.9	--	--
Interfase 3-4	20.39	2394.329	1300.012	54.3	--	--
Interfase 4-5	20.25	2373.741	1301.243	54.8	--	--
Interfase 5-6	20.13	2355.571	1387.401	58.9	--	--
Cara interior	20.10	2351.603	1402.171	59.6	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_v : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

M_a : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Julio)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Agosto.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	P_{sat} (Pa)	P_v (Pa)	ϕ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_a (g/m ²)
Aire exterior	21.30	2531.752	1164.606	46.0		
Cara exterior	21.27	2527.576	1164.606	46.1	--	--
Interfase 1-2	21.19	2515.085	1287.117	51.2	--	--
Interfase 2-3	21.18	2513.487	1308.423	52.1	--	--
Interfase 3-4	20.34	2386.608	1313.750	55.0	--	--
Interfase 4-5	20.22	2368.807	1314.815	55.5	--	--
Interfase 5-6	20.11	2353.081	1389.387	59.0	--	--
Cara interior	20.09	2349.645	1402.171	59.7	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

P_{sat} : Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_v : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).

Condensaciones

M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Agosto)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Septiembre.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,s}$ (Pa)	P_s (Pa)	ϕ (%)	g_s (g/(m ² -mes))	M_s (g/m ²)
Aire exterior	18.60	2141.945	1135.231	53.0		
Cara exterior	18.63	2145.836	1135.231	52.9	--	--
Interfase 1-2	18.72	2157.547	1272.890	59.0	--	--
Interfase 2-3	18.73	2159.053	1296.831	60.1	--	--
Interfase 3-4	19.63	2284.487	1302.816	57.0	--	--
Interfase 4-5	19.76	2303.064	1304.013	56.6	--	--
Interfase 5-6	19.88	2319.688	1387.806	59.8	--	--
Cara interior	19.91	2323.348	1402.171	60.4	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

$P_{s,s}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_s : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_s : Densidad de flujo de condensación, g/(m²-mes).

M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Septiembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Octubre.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,s}$ (Pa)	P_s (Pa)	ϕ (%)	g_s (g/(m ² -mes))	M_s (g/m ²)
Aire exterior	12.90	1487.194	996.420	67.0		
Cara exterior	13.05	1501.577	996.420	66.4	--	--
Interfase 1-2	13.49	1545.461	1205.664	78.0	--	--
Interfase 2-3	13.55	1551.168	1242.054	80.1	--	--
Interfase 3-4	18.14	2081.366	1251.151	60.1	--	--
Interfase 4-5	18.80	2169.493	1252.971	57.8	--	--
Interfase 5-6	19.39	2250.551	1380.337	61.3	--	--
Cara interior	19.52	2268.677	1402.171	61.8	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

θ : Temperatura, °C.

$P_{s,s}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.

P_s : Presión del vapor de agua, Pa.

ϕ : Humedad relativa, %.

g_s : Densidad de flujo de condensación, g/(m²-mes).

M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Octubre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Noviembre.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,s}$ (Pa)	P_s (Pa)	ϕ (%)	g_s (g/(m ² -mes))	M_s (g/m ²)
Aire exterior	7.60	1043.346	803.377	77.0		
Cara exterior	7.86	1061.805	803.377	75.7	--	--
Interfase 1-2	8.63	1118.916	1112.172	99.4	--	--
Interfase 2-3	8.73	1126.430	1126.430	100.0	38.384	38.384
Interfase 3-4	16.76	1906.866	1142.097	59.9	--	--
Interfase 4-5	17.91	2051.427	1145.231	55.8	--	--
Interfase 5-6	18.94	2187.889	1364.570	62.4	--	--
Cara interior	19.16	2218.855	1402.171	63.2	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

Condensaciones

- θ : Temperatura, °C.
 $P_{s,v}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.
 P_v : Presión del vapor de agua, Pa.
 φ : Humedad relativa, %.
 g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Noviembre)

Cálculo de condensaciones intersticiales en el mes de Diciembre.

Fachada cara vista de dos hojas de fábrica, con cámara de aire no ventilada	θ (°C)	$P_{s,v}$ (Pa)	P_v (Pa)	φ (%)	g_c (g/(m ² ·mes))	M_s (g/m ²)
Aire exterior	4.80	859.768	713.607	83.0		
Cara exterior	5.11	878.885	713.607	81.2	--	--
Interfase 1-2	6.06	938.503	938.503	100.0	--	--
Interfase 2-3	6.18	946.398	946.398	100.0	256.294	294.678
Interfase 3-4	16.02	1819.959	972.295	53.4	--	--
Interfase 4-5	17.44	1991.354	977.474	49.1	--	--
Interfase 5-6	18.70	2155.405	1340.020	62.2	--	--
Cara interior	18.98	2192.922	1402.171	63.9	--	--
Aire interior	20.00	2336.951	1402.171	60.0		

donde:

- θ : Temperatura, °C.
 $P_{s,v}$: Presión de saturación del vapor de agua, Pa.
 P_v : Presión del vapor de agua, Pa.
 φ : Humedad relativa, %.
 g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

>> Representación gráfica (Diciembre)

Evolución anual de la condensación acumulada.

Se presentan a continuación las cantidades totales de agua condensada en el elemento constructivo para cada situación de cálculo, así como la evolución de la humedad acumulada a lo largo del año.

El primer mes con condensación en alguna interfase es **noviembre**, aunque la cantidad neta anual es nula, por producirse la evaporación suficiente en los meses siguientes.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Evolución de la cantidad de agua condensada.												
g_c g/(m ² ·mes)	281.025	187.748	19.284	44.474	157.158	--	--	--	--	--	38.384	256.294
g_e g/(m ² ·mes)	--	--	48.869	19.284	398.252	517.963	--	--	--	--	--	--
M_s (g/m ²)	575.703	763.451	733.867	759.057	517.963	--	--	--	--	--	38.384	294.678

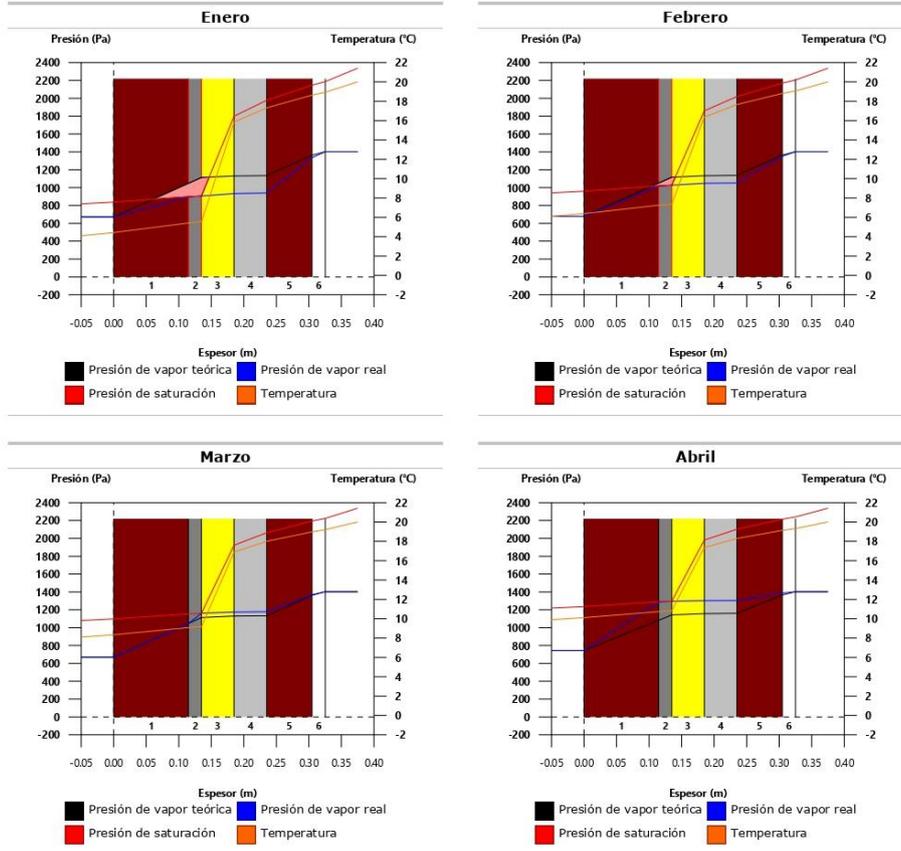
donde:

- g_c : Densidad de flujo de condensación, g/(m²·mes).
 g_e : Densidad de flujo de evaporación, g/(m²·mes).
 M_s : Contenido acumulado de humedad por unidad de superficie, g/m².

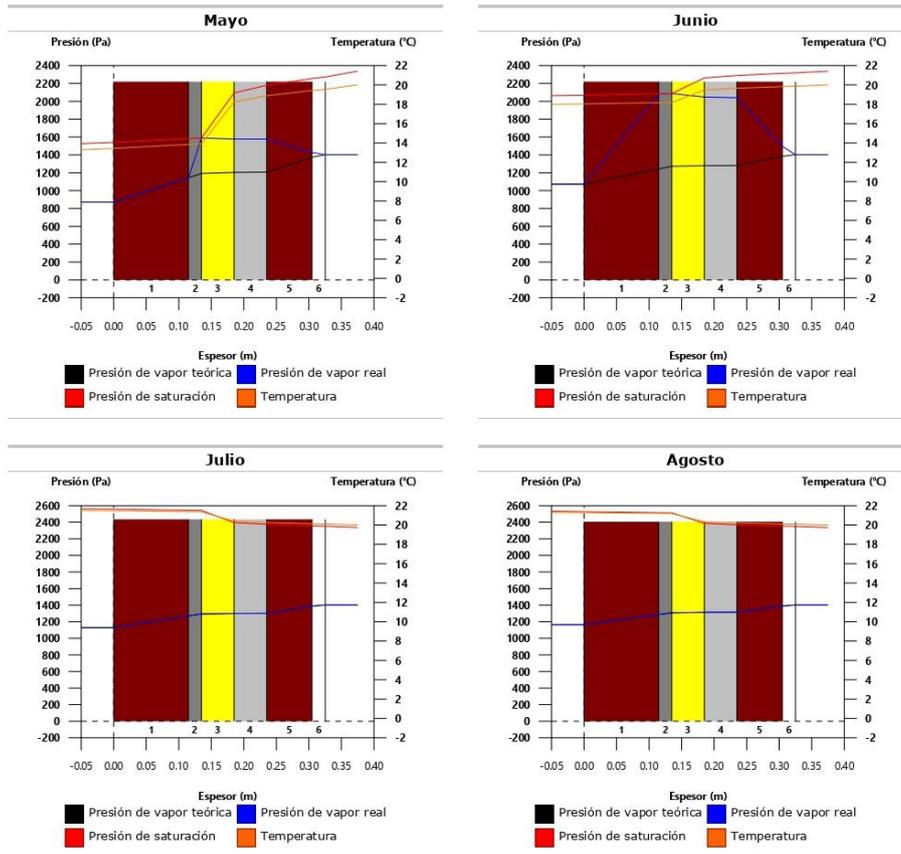
>> Representación gráfica (Condensación acumulada)

1.1.6. Representación gráfica de las condensaciones intersticiales previstas

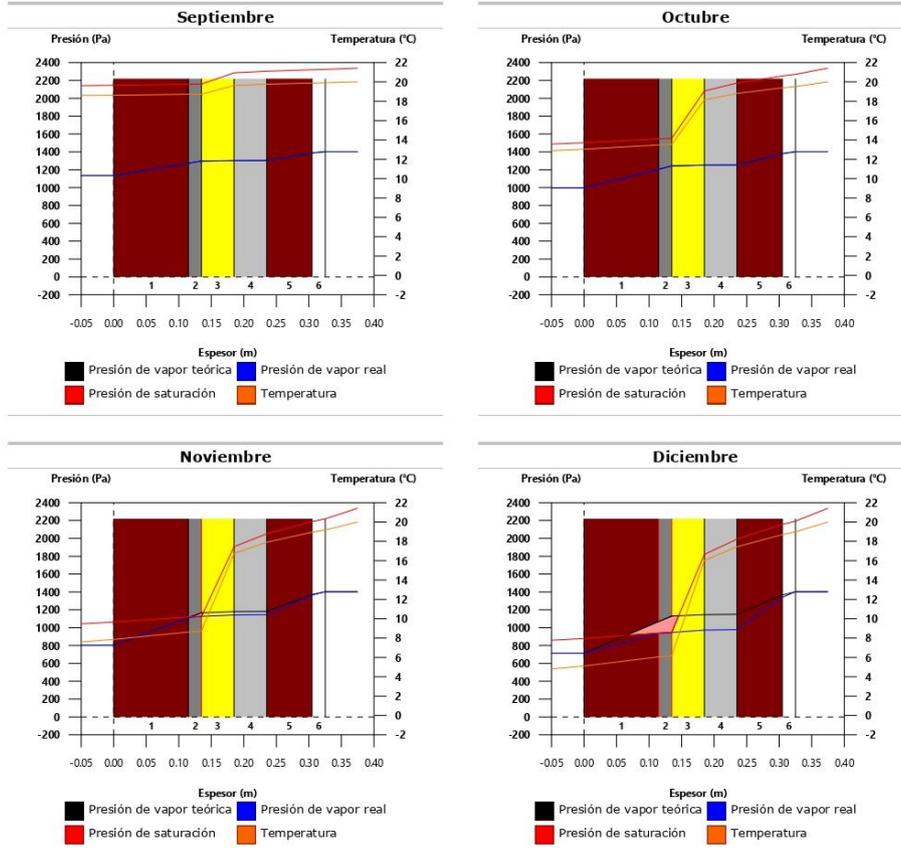
Condensaciones



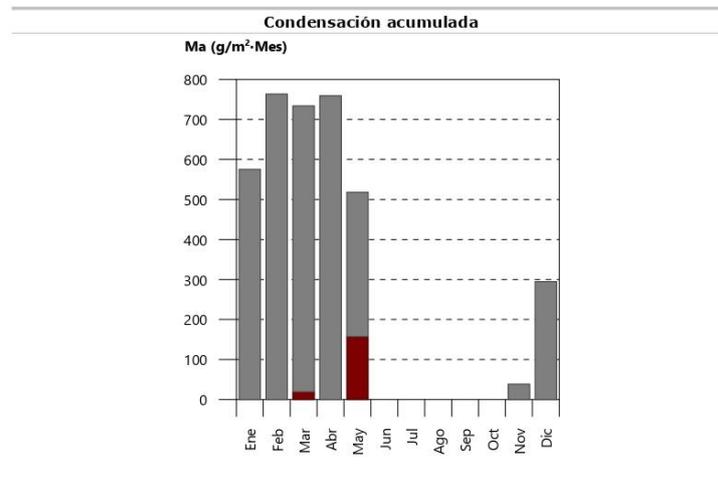
Condensaciones



Condensaciones



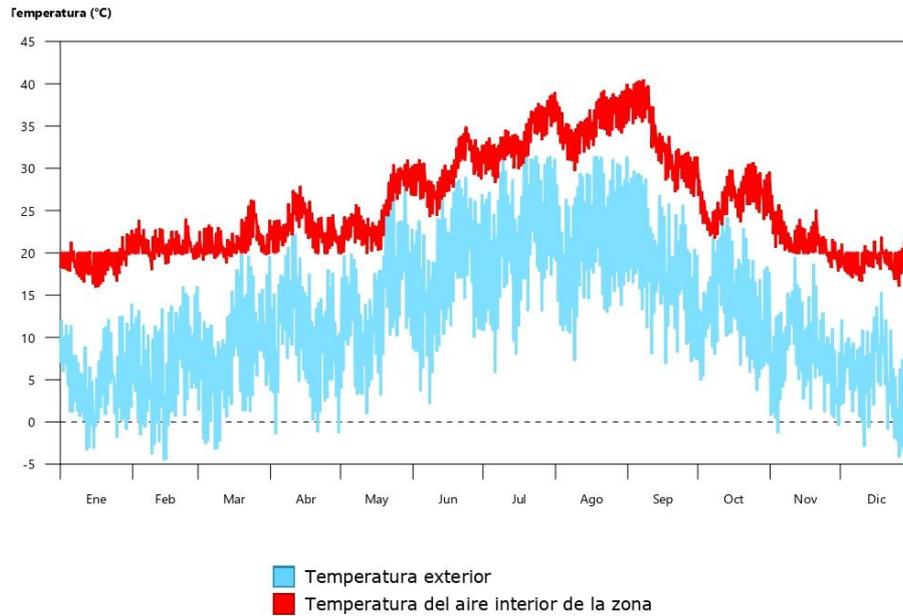
Condensaciones



1.7 Condición Inicial: Confort Interior

Confort interior

Z01_ZONA ACONDICIONADA



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima de confort (-)													
$T_{int,max}$ (°C)	22.7	23.9	26.3	27.9	31.0	34.8	39.0	40.0	40.5	30.7	27.6	21.9	40.5
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Temperatura mínima de confort (-)													
$T_{int,min}$ (°C)	15.9	18.0	18.8	20.0	20.0	24.2	28.3	29.7	26.7	21.7	17.8	16.0	15.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Horas fuera de consigna*													
Calefacción (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Calefacción (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Refrigeración (Horas)	--	--	--	--	70.00	179.75	208.00	216.00	200.00	66.75	--	--	940.50
Refrigeración (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	70.00	179.75	208.00	216.00	200.00	66.75	--	--	940.50

*Número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios de la zona se sitúa fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1 °C para calefacción y 1 °C para refrigeración.

donde:

- T_{int} : Temperatura del aire interior de la zona, °C.
- $T_{int,max}$: Temperatura máxima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{int,min}$: Temperatura mínima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{max,conf}$: Temperatura máxima de confort, °C.
- $T_{min,conf}$: Temperatura mínima de confort, °C.

2. Informes CYPETHERM para Variante Recomendada

2.1 Variante Recomendada: Descripción de materiales y elementos constructivos.

Los únicos elementos modificados han sido los huecos de ventana, por lo que los demás sistemas constructivos y materiales han mantenido las mismas características.

1.1.2. Huecos en fachada

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Características Transmitancia térmica, U: 1.80 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.600

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,wj}$: 0.34

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Características Transmitancia térmica, U: 1.80 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.600

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,wj}$: 0.34

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Características Transmitancia térmica, U: 1.80 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.600

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,wj}$: 0.34

2.2 Variante Recomendada: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1:
Condiciones para el control de la demanda energética.

**Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1:
Condiciones para el control de la demanda energética**

ÍNDICE

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA.....	3
1.1. Condiciones de la envolvente térmica.....	3
1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica.....	3
1.1.2. Control solar de la envolvente térmica.....	4
1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica.....	4
1.2. Limitación de descompensaciones.....	4
1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica.....	4
2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO.....	4
2.1. Zonificación climática.....	4
2.2. Agrupaciones de recintos.....	5
3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO.....	5
3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.....	5
3.1.1. Cerramientos opacos.....	5
3.1.2. Huecos.....	5
3.1.3. Puentes térmicos.....	6

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

1.1. Condiciones de la envolvente térmica

1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

Transmitancia de la envolvente térmica: Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. 

Demanda energética anual por superficie útil

Según el apartado 3.1.1.6 de CTE DB HE 1, alternativamente, los edificios o, cuando se trate de intervenciones parciales en edificios existentes, las partes de los mismos sobre las que se intervenga, cuyas demandas de calefacción y refrigeración sean menores, en ambos casos, de 15 kWh/m², podrán excluirse del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

$$D_{\text{cal,edificio}} = 7.98 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{\text{cal,lim}} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$


donde:

$D_{\text{cal,edificio}}$: Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$D_{\text{cal,lim}}$: Valor límite de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$$D_{\text{ref,edificio}} = 17 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{\text{ref,lim}} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$


donde:

$D_{\text{ref,edificio}}$: Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

$D_{\text{ref,lim}}$: Valor límite de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 0.99 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \leq K_{\text{lim}} = 0.70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

donde:

K : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

K_{lim} : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

	S (m ²)	L (m)	K_i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 63.4562 m²				
Fachadas	39.67	--	0.32	32.67
Huecos	23.79	--	0.68	68.26
Puentes térmicos	--	32.960	-0.01	-0.93

donde:

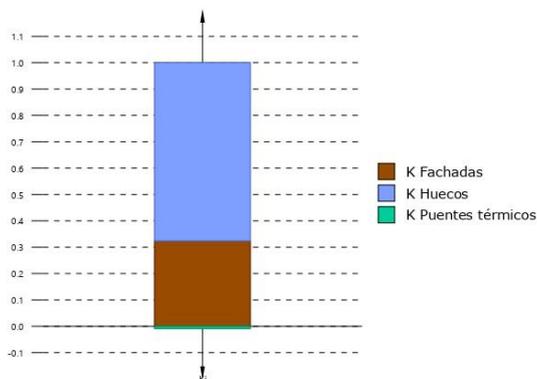
S : Superficie, m².

L : Longitud, m.

K_i : Coeficiente parcial de transmisión de calor, W/(m²·K).

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor., %.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética



1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,jul}} = 3.90 \text{ kWh/m}^2 \leq q_{\text{sol,jul,lim}} = 4.00 \text{ kWh/m}^2$$

donde:

$q_{\text{sol,jul}}$: Valor calculado del parámetro de control solar, kWh/m².
 $q_{\text{sol,jul,lim}}$: Valor límite del parámetro de control solar, kWh/m².

1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

$$n_{50} = 1.84942 \text{ h}^{-1}$$

donde:

n_{50} : Valor calculado de la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

1.2. Limitación de descompensaciones

Limitación de descompensaciones: La transmitancia térmica de las particiones interiores no supera el valor límite descrito en la tabla 3.2 del DB HE1.

1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica

Limitación de condensaciones: en la envolvente térmica del edificio no se producen condensaciones intersticiales que puedan producir una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.

2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO

2.1. Zonificación climática

El edificio objeto del proyecto se sitúa en el municipio de **Valladolid (provincia de Valladolid)**, con una altura sobre el nivel del mar de **691.000 m**. Le corresponde, conforme al Anejo B de CTE DB HE, la zona climática **D2**.

La pertenencia a dicha zona climática, junto con el tipo y el uso del edificio (**Reforma - Otros usos**), define los valores límite aplicables en la cuantificación de la exigencia, descritos en la sección HE1. Control

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

de la demanda energética del edificio, del Documento Básico HE Ahorro de energía, del CTE.

2.2. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de la envolvente térmica del edificio, así como la de cada una de las zonas que han sido incluídas en la misma:

	S (m ²)	V (m ³)	V _{in} (m ³)	Q _{sol,131} (kWh/mes)	n ₅₀ (h ⁻¹)	q _{sol,131} (kWh/m ² /mes)	V/A (m ³ /m ²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	651.27	416.13	523.76	1.849	-	-
Envolvente térmica	134.43	651.27	416.13	523.76	1.8	3.90	10.3

donde:

S: Superficie útil interior, m².

V: Volumen interior, m³.

V_{in}: Volumen interior para el cálculo de las infiltraciones, m³.

Q_{sol,131}: Ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

n₅₀: Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

q_{sol,131}: Control solar, kWh/m²/mes.

V/A: Compacidad (relación entre el volumen encerrado y la superficie de intercambio con el exterior), m³/m².

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO

3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **32.67%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m ²)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	α	O. (°)	S·U (W/K)	
ZONA ACONDICIONADA								
Fachada		25.22	0.52	0.41	0.60	Sudoeste(223)	13.07	✗
Fachada		7.54	0.52	0.41	0.60	Sureste(133)	3.90	✗
Fachada		6.91	0.52	0.41	0.60	Noroeste(313)	3.58	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		49.32	2.22	0.65	-	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	2.14	0.65	0.40	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	1.56	0.65	0.40	-	-	✗
							20.55	

donde:

S: Superficie, m².

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **68.26%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m ²)	O. (°)	F _E (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{GL}	g _{GL,131}	Q _{sol,131} (kWh/mes)	%q _{sol,131}	
ZONA ACONDICIONADA											
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.11	Sureste(133)	0.16	1.80	1.80	2.00	0.52	0.34	20.26	3.87	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	9.68	Sudoeste(223)	0.16	1.80	1.80	17.47	0.52	0.34	235.43	44.95	✗

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

	S (m ²)	O. (°)	F _p (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{sol}	g _{total}	Q _{ex,Jul} (kWh/mes)	%Q _{ex,Jul}	
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.25	Noroeste(313)	0.16	1.80	1.80	2.26	0.52	0.34	15.17	2.90	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	1.11	Sureste(133)	0.16	1.80	1.80	2.00	0.52	0.34	9.79	1.87	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	9.04	Sudoeste(223)	0.16	1.80	1.80	16.31	0.52	0.34	219.37	41.88	✗
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)	1.60	Noroeste(313)	0.16	1.80	1.80	2.89	0.52	0.34	23.75	4.54	✗
						42.93			523.76	100.00	

donde:

S: Superficie, m².

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

F_p: Fracción de parte opaca, %.

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

g_{sol}: Factor solar.

g_{total}: Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados.

Q_{ex,Jul}: Ganancia solar para el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

%Q_{ex,Jul}: Repercusión en el parámetro de control solar de la envolvente térmica, %.

3.1.3. Puentes térmicos

Los puentes térmicos suponen el **-0.93%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	L (m)	Ψ (W/(m·K))	L·Ψ (W/K)
ZONA ACONDICIONADA				
Esquina entrante de fachadas		16.480	-0.123	-2.0
Esquina saliente de fachadas		16.480	0.088	1.5
				-0.6

donde:

L: Longitud, m.

Ψ: Transmitancia térmica lineal, W/(m·K).

2.3 Variante Recomendada: Indicadores de eficiencia energética.

Indicadores de eficiencia energética

Demanda		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Refrigeración	17.00	9.57
Calefacción	7.98	19.11

Consumo de energía primaria no renovable		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Global	26.93	67.65
Refrigeración	--	10.99
Calefacción	0.28	32.19
ACS	--	--
Iluminación	24.46	24.46

Emisiones		
	Edificio objeto (kgCO ₂ /m ² ·año)	Edificio de referencia (kgCO ₂ /m ² ·año)
Global	4.67	14.50
Refrigeración	--	1.86
Calefacción	0.15	8.49
ACS	--	--
Iluminación	4.14	4.14

2.4 Variante Recomendada: Consumo Energético.

Consumo energético**ÍNDICE**

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	3
1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.....	3
1.2. Resultados mensuales.....	3
1.2.1. Consumo de energía final del edificio.....	3
1.2.2. Horas fuera de consigna.....	3
2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS.....	4
3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.....	4
3.1. Energía eléctrica producida in situ.....	4
3.2. Energía térmica producida in situ.....	4
3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.....	4
4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.....	4
4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.....	4
4.2. Demanda energética de ACS.....	5
5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.....	5
5.1. Definición de los espacios del edificio.....	5
5.1.1. Agrupaciones de recintos.....	5
5.1.2. Condiciones operacionales.....	5
5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación.....	6
5.1.4. Carga interna media.....	6
5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.....	6
5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.....	6

Consumo energético

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{ren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)	(kWh/año)	(kWh/m ² ·año)
Calefacción	1519.12	11.30	1795.61	13.36	1791.04	13.32
Refrigeración	1616.15	12.02	3827.01	28.47	3157.94	23.49
Ventilación	150.24	1.12	355.84	2.65	293.60	2.18
Iluminación	1683.10	12.52	3985.51	29.65	3288.75	24.46
	4968.61	36.96	9963.97	74.12	8531.33	63.46

donde:

- S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².
- EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.
- EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.
- EP_{ren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

1.2. Resultados mensuales.

1.2.1. Consumo de energía final del edificio.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh/año)												
Demanda energética	Calefacción	459.2	109.3	63.0	0.3	--	--	--	--	--	--	43.4	388.3	1063.4	7.9
	Refrigeración	--	--	3.3	32.1	156.9	401.5	690.9	770.4	510.9	179.8	1.5	--	2747.5	20.4
	TOTAL	459.2	109.3	66.3	32.4	156.9	401.5	690.9	770.4	510.9	179.8	44.9	388.3	3810.8	28.3
Gasóleo C (Sistema de sustitución)	Calefacción	656.0	156.1	89.9	0.4	--	--	--	--	--	--	62.0	554.7	1519.1	11.3
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Electricidad	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOTAL	13.0	11.5	13.0	12.0	13.0	12.5	12.5	13.0	12.0	13.0	12.5	12.5	150.2	1.1
Electricidad (Sistema de sustitución)	Calefacción	145.2	129.1	145.2	134.4	145.2	139.8	139.8	145.2	134.4	145.2	139.8	139.8	1683.1	12.5
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	ACS	--	--	2.0	18.9	92.3	236.2	406.4	453.2	300.6	105.8	0.9	--	1616.1	12.0
	C_{ed, tot}	814.2	296.7	250.0	165.7	250.4	388.5	558.7	611.3	447.0	263.9	215.1	707.0	4968.6	37.0

donde:

- S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².
- $C_{ed, tot}$: Consumo de energía en punto de consumo (energía final), kWh/m²·año.

1.2.2. Horas fuera de consigna

Se indica el número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios habitables acondicionados del edificio se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1°C para calefacción y 1°C para refrigeración. Se considera que el edificio se encuentra fuera de consigna cuando cualquiera de dichos espacios lo está.

Zonas acondicionadas		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
		(h)												
ZONA ACONDICIONADA	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Edificio	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TOTAL	--												

Consumo energético

2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS

Se indica a continuación el consumo de energía final (EF) y el rendimiento estacional de los generadores que atienden los servicios de calefacción, refrigeración y producción de ACS, obtenidos de la simulación del edificio.

El rendimiento estacional expresa la relación entre la producción de energía térmica del generador y su consumo total de energía.

Descripción	Vector energético	EF (kWh/año)	Rendimiento estacional	
Generadores de calefacción				
Sistema de sustitución	Sistema de rendimiento estacional constante	Gasóleo C	1519.11	0.70
Generadores de refrigeración				
Sistema de sustitución	Sistema de rendimiento estacional constante	Electricidad	1616.15	1.70

donde:

EF: Consumo de energía final, kWh/año.

3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.

3.1. Energía eléctrica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía eléctrica.

3.2. Energía térmica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía térmica a partir de fuentes totalmente renovables.

3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.

Se indica la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio que procede de fuentes renovables no fósiles, como son la biomasa, la electricidad consumida que se produce en el edificio a partir de fuentes renovables y la energía térmica captada del medioambiente.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)
Electricidad autoconsumida de origen renovable	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Medioambiente	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Biomasa	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Biomasa densificada (pellets)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m^2 .

4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.

La demanda energética del edificio que debe satisfacerse en el cálculo del consumo de energía primaria, corresponde a la suma de la energía demandada de calefacción, refrigeración y ACS del edificio según las condiciones operacionales definidas.

4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.

Se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u (m^2)	D_{a1} (kWh/año)	D_{a1} (kWh/ m^2 -año)	D_{a2} (kWh/año)	D_{a2} (kWh/ m^2 -año)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	1063.38	7.91	2747.45	20.44
	134.43	1063.38	7.91	2747.45	20.44

Consumo energético

donde:

- S_v : Superficie útil de la zona habitable, m^2 .
 D_{ca} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, $kWh/año$.
 D_{cr} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, $kWh/m^2 \cdot año$.

4.2. Demanda energética de ACS.

El edificio proyectado no tiene demanda de agua caliente sanitaria.

5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

5.1. Definición de los espacios del edificio.

5.1.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

	S (m^2)	V (m^3)	ren _h (1/h)	ΣQ_{ocupa} ($kWh/año$)	$\Sigma Q_{equip,1}$ ($kWh/año$)	$\Sigma Q_{equip,2}$ ($kWh/año$)	$\Sigma Q_{equip,3}$ ($kWh/año$)	ΣQ_{ilum} ($kWh/año$)	Perfil de uso	Condiciones operacionales
ZONA ACONDICIONADA (Zona habitable acondicionada)										
AULA DE ESTUDIO	134.43	416.13	0.80	672.69	424.68	504.93	--	1683.09	Baja, Otros usos 8h	Otros usos 12 h
	134.43	416.13	0.80/0.24'	672.69	424.68	504.93	--	1683.09		

donde:

- S : Superficie útil interior del recinto, m^2 .
 V : Volumen interior neto del recinto, m^3 .
 ren_h : Número de renovaciones por hora del aire del recinto.
 $*$: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.
 Q_{ocupa} : Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, $kWh/año$.
 $Q_{ocupa,i}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, $kWh/año$.
 $Q_{equip,1}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, $kWh/año$.
 $Q_{equip,2}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, $kWh/año$.
 Q_{ilum} : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, $kWh/año$.

5.1.2. Condiciones operacionales

	Distribución horaria																							
	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Perfil: Otros usos 12 h (uso no residencial)																								
Temp. Consigna Alta (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	25	--	--	25	25	25	25	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	--	--	25	25	25	25	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Temp. Consigna Baja (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	--	--	20	20	20	20	--	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	--	--	20	20	20	20	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Consumo energético

5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación

		Distribución horaria																								
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
Perfil: Baja, Otros usos 8 h (uso no residencial)																										
Ocupación sensible (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.1.4. Carga interna media

Se muestran los resultados del cálculo de la carga interna media de las zonas habitables del edificio.

Zonas habitables	S _v (m²)	C _{in} (W/m²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	2.4
	134.43	2.4

donde:

S_v: Superficie habitable del edificio, m².

C_{in}: Carga interna media, W/m². Carga media horaria de una semana tipo, repercutida por unidad de superficie del edificio o zona del edificio, teniendo en cuenta la carga sensible debida a la ocupación, la carga debida a la iluminación y la carga debida a los equipos (Anejo A, CTE DB HE).

5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.

El procedimiento de cálculo empleado tiene como objetivo determinar el consumo de energía primaria del edificio procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Para ello, se ha empleado el documento reconocido CYPETHERM HE Plus. Mediante dicho programa, se realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo térmico zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™ versión 23.1, en la que, hora a hora, se realiza el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico para mantener las condiciones operacionales definidas, determinando, para cada equipo técnico, su punto de trabajo, la energía útil aportada y la energía final consumida, desglosando el consumo energético por equipo, servicio técnico y vector energético utilizado.

El cálculo de la energía primaria que corresponde a la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio, teniendo en cuenta la contribución de la energía producida in situ, se realiza mediante el programa CteEPBD integrado en CYPETHERM HE Plus, desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio con el Ministerio de Fomento, que implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017.

5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.

Vector energético	f _{cep,ren}	f _{cep,ren}
Gasóleo C	1.179	0.003
Electricidad obtenida de la red	1.954	0.414

donde:

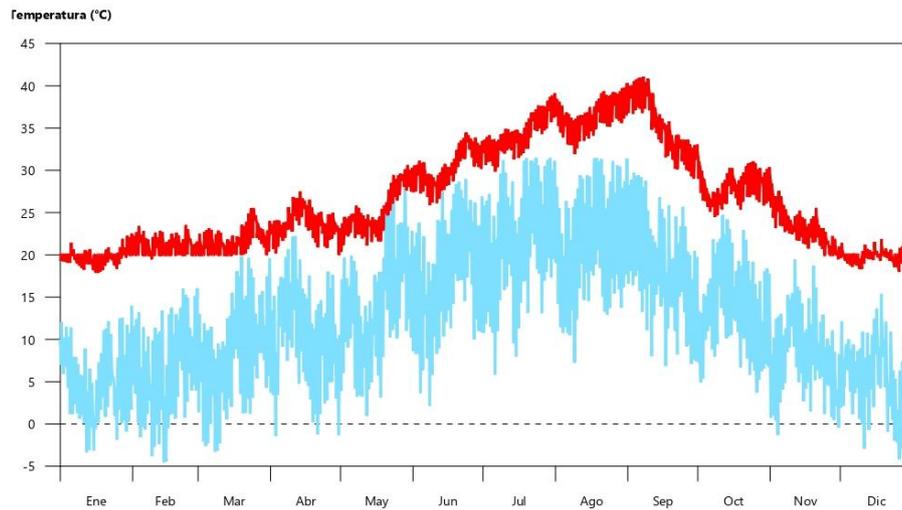
f_{cep,ren}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.

f_{cep,ren}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables.

2.5 Variante Recomendada: Confort Interior

Confort interior

Z01_ZONA ACONDICIONADA



■ Temperatura exterior
■ Temperatura del aire interior de la zona

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima de confort (-)													
$T_{int,max}$ (°C)	22.5	23.5	25.5	27.5	30.6	34.5	39.1	40.3	41.1	31.9	29.0	21.9	41.1
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Temperatura mínima de confort (-)													
$T_{int,min}$ (°C)	17.9	19.5	20.0	20.0	20.4	25.9	29.8	31.9	29.0	24.5	19.5	18.0	17.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Horas fuera de consigna*													
Calefacción (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Calefacción (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Refrigeración (Horas)	--	--	--	--	70.25	206.75	208.00	216.00	200.00	174.75	3.25	--	1079.00
Refrigeración (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	70.25	206.75	208.00	216.00	200.00	174.75	3.25	--	1079.00

*Número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios de la zona se sitúa fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1 °C para calefacción y 1 °C para refrigeración.

donde:

- T_{ic} : Temperatura del aire interior de la zona, °C.
- $T_{ic,max}$: Temperatura máxima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{ic,min}$: Temperatura mínima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{max,conf}$: Temperatura máxima de confort, °C.
- $T_{min,conf}$: Temperatura mínima de confort, °C.

3. Informes CYPETHERM para la Variante Óptima

3.1 Variante Óptima: Descripción de materiales y elementos constructivos.

Los únicos elementos modificados han sido los huecos de ventana, por lo que los demás sistemas constructivos y materiales han mantenido las mismas características.

1.1.2. Huecos en fachada

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)

Características Transmitancia térmica, U: 1.13 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.430

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,w}$: 0.34

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)

Características Transmitancia térmica, U: 1.13 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.430

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,w}$: 0.34

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)

Características Transmitancia térmica, U: 1.13 W/(m²·K)

Factor solar, g: 0.430

Fracción opaca, Ff: 0.162

Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados, $g_{glsh,w}$: 0.34

3.2 Variante Óptima: Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1:
Condiciones para el control de la demanda energética.

**Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1:
Condiciones para el control de la demanda energética**

ÍNDICE

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA.....	3
1.1. Condiciones de la envolvente térmica.....	3
1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica.....	3
1.1.2. Control solar de la envolvente térmica.....	4
1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica.....	4
1.2. Limitación de descompensaciones.....	4
1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica.....	4
2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO.....	4
2.1. Zonificación climática.....	4
2.2. Agrupaciones de recintos.....	5
3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO.....	5
3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica.....	5
3.1.1. Cerramientos opacos.....	5
3.1.2. Huecos.....	5
3.1.3. Puentes térmicos.....	6

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

1. CUANTIFICACIÓN DE LA EXIGENCIA

1.1. Condiciones de la envolvente térmica

1.1.1. Transmitancia de la envolvente térmica

Transmitancia de la envolvente térmica: Existen elementos de la envolvente térmica cuya transmitancia térmica supera el valor límite. X

Demanda energética anual por superficie útil

Según el apartado 3.1.1.6 de CTE DB HE 1, alternativamente, los edificios o, cuando se trate de intervenciones parciales en edificios existentes, las partes de los mismos sobre las que se intervenga, cuyas demandas de calefacción y refrigeración sean menores, en ambos casos, de 15 kWh/m², podrán excluirse del cumplimiento del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

$$D_{cal,edificio} = 8.77 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{cal,lim} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde:

$D_{cal,edificio}$: Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$D_{cal,lim}$: Valor límite de la demanda energética de calefacción, kWh/m²·año.

$$D_{ref,edificio} = 12.54 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} < D_{ref,lim} = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde:

$D_{ref,edificio}$: Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

$D_{ref,lim}$: Valor límite de la demanda energética de refrigeración, kWh/m²·año.

Coefficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K)

$$K = 0.74 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \leq K_{lim} = 0.70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

donde:

K : Valor calculado del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

K_{lim} : Valor límite del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica, W/(m²·K).

	S (m ²)	L (m)	K _i (W/(m ² ·K))	%K
Área total de intercambio de la envolvente térmica = 63.4562 m²				
Fachadas	39.67	--	0.32	43.81
Huecos	23.79	--	0.42	57.44
Puentes térmicos	--	32.960	-0.01	-1.24

donde:

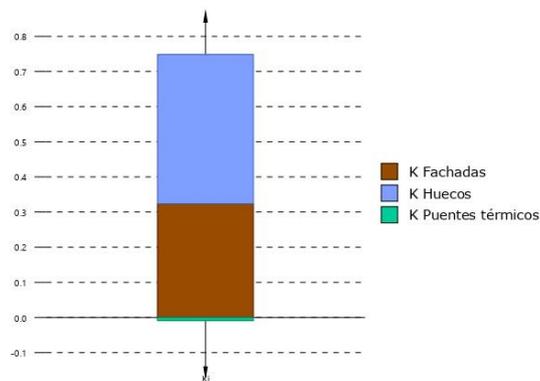
S : Superficie, m².

L : Longitud, m.

K_i : Coeficiente parcial de transmisión de calor, W/(m²·K).

%K: Porcentaje del coeficiente global de transmisión de calor, %.

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética



1.1.2. Control solar de la envolvente térmica

$$q_{\text{sol,jul}} = 3.90 \text{ kWh/m}^2 \leq q_{\text{sol,jul,lim}} = 4.00 \text{ kWh/m}^2$$

donde:

$q_{\text{sol,jul}}$: Valor calculado del parámetro de control solar, kWh/m².
 $q_{\text{sol,jul,lim}}$: Valor límite del parámetro de control solar, kWh/m².

1.1.3. Permeabilidad al aire de la envolvente térmica

$$n_{50} = 1.84942 \text{ h}^{-1}$$

donde:

n_{50} : Valor calculado de la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

1.2. Limitación de descompensaciones

Limitación de descompensaciones: La transmitancia térmica de las particiones interiores no supera el valor límite descrito en la tabla 3.2 del DB HE1.

1.3. Limitación de condensaciones de la envolvente térmica

Limitación de condensaciones: en la envolvente térmica del edificio no se producen condensaciones intersticiales que puedan producir una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil.

2. INFORMACIÓN SOBRE EL EDIFICIO

2.1. Zonificación climática

El edificio objeto del proyecto se sitúa en el municipio de **Valladolid (provincia de Valladolid)**, con una altura sobre el nivel del mar de **691.000 m**. Le corresponde, conforme al Anejo B de CTE DB HE, la zona climática **D2**.

La pertenencia a dicha zona climática, junto con el tipo y el uso del edificio (**Reforma - Otros usos**), define los valores límite aplicables en la cuantificación de la exigencia, descritos en la sección HE1. Control

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

de la demanda energética del edificio, del Documento Básico HE Ahorro de energía, del CTE.

2.2. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de la envolvente térmica del edificio, así como la de cada una de las zonas que han sido incluídas en la misma:

	S (m ²)	V (m ³)	V _{in} (m ³)	Q _{sol,131} (kWh/mes)	n ₅₀ (h ⁻¹)	q _{sol,131} (kWh/m ² /mes)	V/A (m ³ /m ²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	651.27	416.13	523.76	1.849	-	-
Envolvente térmica	134.43	651.27	416.13	523.76	1.8	3.90	10.3

donde:

S: Superficie útil interior, m².

V: Volumen interior, m³.

V_{in}: Volumen interior para el cálculo de las infiltraciones, m³.

Q_{sol,131}: Ganancias solares para el mes de julio de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica, con sus protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

n₅₀: Relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa, h⁻¹.

q_{sol,131}: Control solar, kWh/m²/mes.

V/A: Compacidad (relación entre el volumen encerrado y la superficie de intercambio con el exterior), m³/m².

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA DEL MODELO DE CÁLCULO

3.1. Caracterización de los elementos que componen la envolvente térmica

3.1.1. Cerramientos opacos

Los cerramientos opacos suponen el **43.81%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	S (m ²)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	α	O. (°)	S·U (W/K)	
ZONA ACONDICIONADA								
Fachada		25.22	0.52	0.41	0.60	Sudoeste(223)	13.07	✗
Fachada		7.54	0.52	0.41	0.60	Sureste(133)	3.90	✗
Fachada		6.91	0.52	0.41	0.60	Noroeste(313)	3.58	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		41.41	2.04	0.65	-	-	-	✗
Partición interior vertical		49.32	2.22	0.65	-	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	2.14	0.65	0.40	-	-	✗
Partición interior horizontal		134.43	1.56	0.65	0.40	-	-	✗
							20.55	

donde:

S: Superficie, m².

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la superficie opaca.

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

3.1.2. Huecos

Los huecos suponen el **57.44%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	S (m ²)	O. (°)	F _E (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{GL}	g _{GL,131}	Q _{sol,131} (kWh/mes)	%q _{sol,131}	
ZONA ACONDICIONADA											
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.11	Sureste(133)	0.16	1.13	1.80	1.26	0.37	0.34	20.26	3.87	✓
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	9.68	Sudoeste(223)	0.16	1.13	1.80	10.96	0.37	0.34	235.43	44.95	✓

Justificación del cumplimiento de la exigencia básica HE1: Condiciones para el control de la demanda energética

	S (m ²)	O. (°)	F _p (%)	U (W/(m ² ·K))	U _{lim} (W/(m ² ·K))	S·U (W/K)	g _{sol}	g _{exterior}	Q _{exterior} (kWh/mes)	%Q _{exterior}	
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 1)	1.25	Noroeste(313)	0.16	1.13	1.80	1.42	0.37	0.34	15.17	2.90	✓
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	1.11	Sureste(133)	0.16	1.13	1.80	1.26	0.37	0.34	9.79	1.87	✓
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo2)	9.04	Sudoeste(223)	0.16	1.13	1.80	10.24	0.37	0.34	219.37	41.88	✓
Ventanas EII TIPO 1 (Ventana EII Tipo 3)	1.60	Noroeste(313)	0.16	1.13	1.80	1.81	0.37	0.34	23.75	4.54	✓
						26.94			523.76	100.00	

donde:

S: Superficie, m².

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte), °.

F_p: Fracción de parte opaca, %.

U: Transmitancia térmica, W/(m²·K).

U_{lim}: Transmitancia térmica límite aplicada, W/(m²·K).

g_{sol}: Factor solar.

g_{exterior}: Transmitancia total de energía solar del hueco, con los dispositivos de sombra móviles activados.

Q_{exterior}: Ganancia solar para el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas, kWh/mes.

%Q_{exterior}: Repercusión en el parámetro de control solar de la envolvente térmica, %.

3.1.3. Puentes térmicos

Los puentes térmicos suponen el **-1.24%** del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K).

	Tipo	L (m)	Ψ (W/(m·K))	L·Ψ (W/K)
ZONA ACONDICIONADA				
Esquina entrante de fachadas		16.480	-0.123	-2.0
Esquina saliente de fachadas		16.480	0.088	1.5
				-0.6

donde:

L: Longitud, m.

Ψ: Transmitancia térmica lineal, W/(m·K).

3.3 Variante Óptima: Indicadores de eficiencia energética.

Indicadores de eficiencia energética

Demanda		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Refrigeración	12.54	9.57
Calefacción	8.77	19.11

Consumo de energía primaria no renovable		
	Edificio objeto (kWh/m ²)	Edificio de referencia (kWh/m ²)
Global	26.96	67.65
Refrigeración	--	10.99
Calefacción	0.31	32.19
ACS	--	--
Iluminación	24.46	24.46

Emisiones		
	Edificio objeto (kgCO ₂ /m ² ·año)	Edificio de referencia (kgCO ₂ /m ² ·año)
Global	4.68	14.50
Refrigeración	--	1.86
Calefacción	0.17	8.49
ACS	--	--
Iluminación	4.14	4.14

3.4 Variante Óptima: Consumo Energético.

Consumo energético**ÍNDICE**

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.....	3
1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.....	3
1.2. Resultados mensuales.....	3
1.2.1. Consumo de energía final del edificio.....	3
1.2.2. Horas fuera de consigna.....	3
2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS.....	4
3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.....	4
3.1. Energía eléctrica producida in situ.....	4
3.2. Energía térmica producida in situ.....	4
3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.....	4
4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.....	4
4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.....	4
4.2. Demanda energética de ACS.....	5
5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.....	5
5.1. Definición de los espacios del edificio.....	5
5.1.1. Agrupaciones de recintos.....	5
5.1.2. Condiciones operacionales.....	5
5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación.....	6
5.1.4. Carga interna media.....	6
5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.....	6
5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.....	6

Consumo energético

1. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

1.1. Consumo energético de los servicios técnicos del edificio.

Se muestra el consumo anual de energía final, energía primaria y energía primaria no renovable correspondiente a los distintos servicios técnicos del edificio. Los consumos de los servicios de calefacción y refrigeración incluyen el consumo eléctrico de los equipos auxiliares de los sistemas de climatización.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

Servicios técnicos	EF		EP _{tot}		EP _{ren}	
	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)
Calefacción	1237.77	9.21	1283.56	9.55	42.08	0.31
Ventilación	150.24	1.12	355.84	2.65	293.60	2.18
Iluminación	1683.10	12.52	3985.51	29.65	3288.75	24.46
	3071.11	22.85	5624.91	41.84	3624.42	26.96

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

EF: Energía final consumida por el servicio técnico en punto de consumo.

EP_{tot}: Consumo de energía primaria total.

EP_{ren}: Consumo de energía primaria de origen no renovable.

1.2. Resultados mensuales.

1.2.1. Consumo de energía final del edificio.

		Año													
		Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	(kWh/año)	(kWh/m ² -año)
EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)															
Demanda energética	Calefacción	449.1	164.0	103.3	6.8	1.2	--	--	--	--	59.5	394.5	1178.4	8.8	
	Refrigeración	--	--	--	--	51.4	242.2	474.8	534.6	337.2	45.0	0.2	--	1685.3	12.5
	TOTAL	449.1	164.0	103.3	6.8	52.6	242.2	474.8	534.6	337.2	45.0	59.7	394.5	2863.7	21.3
Biomasa	Calefacción	472.7	172.6	108.8	7.2	1.3	--	--	--	--	60.3	415.0	1237.8	9.2	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Electricidad	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Refrigeración	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	ACS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Control de la humedad	Ventilación	13.0	11.5	13.0	12.0	13.0	12.5	13.0	12.0	13.0	12.5	12.5	150.2	1.1	
	Iluminación	145.2	129.1	145.2	134.4	145.2	139.8	139.8	145.2	134.4	145.2	139.8	1683.1	12.5	
	C _{e, total}	630.8	313.2	266.9	153.6	159.4	152.3	152.3	158.1	146.4	158.1	212.6	567.3	3071.1	22.8

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

C_{e, total}: Consumo de energía en punto de consumo (energía final), kWh/m²-año.

1.2.2. Horas fuera de consigna

Se indica el número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios habitables acondicionados del edificio se sitúa, durante los periodos de ocupación, fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1°C para calefacción y 1°C para refrigeración. Se considera que el edificio se encuentra fuera de consigna cuando cualquiera de dichos espacios lo está.

Zonas acondicionadas		Ene (h)	Feb (h)	Mar (h)	Abr (h)	May (h)	Jun (h)	Jul (h)	Ago (h)	Sep (h)	Oct (h)	Nov (h)	Dic (h)	Año (h)
ZONA ACONDICIONADA	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	42.00	178.75	208.00	216.00	200.00	88.00	--	--	932.75
Edificio	Calefacción	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Refrigeración	--	--	--	--	42.00	178.75	208.00	216.00	200.00	88.00	--	--	932.75
	TOTAL	--	--	--	--	42.00	178.75	208.00	216.00	200.00	88.00	--	--	932.75

Consumo energético

2. RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS

Se indica a continuación el consumo de energía final (EF) y el rendimiento estacional de los generadores que atienden los servicios de calefacción, refrigeración y producción de ACS, obtenidos de la simulación del edificio.

El rendimiento estacional expresa la relación entre la producción de energía térmica del generador y su consumo total de energía.

Descripción	Vector energético	EF (kWh/año)	Rendimiento estacional	
Generadores de calefacción				
Biomasa RED UNIVERSITARIA 1	Equipo de rendimiento constante	Biomasa	1237.78	0.95

donde:

EF: Consumo de energía final, kWh/año.

3. ENERGÍA PRODUCIDA Y APORTACIÓN DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES.

3.1. Energía eléctrica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía eléctrica.

3.2. Energía térmica producida in situ.

El edificio no dispone de sistemas de producción de energía térmica a partir de fuentes totalmente renovables.

3.3. Aportación de energía procedente de fuentes renovables.

Se indica la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio que procede de fuentes renovables no fósiles, como son la biomasa, la electricidad consumida que se produce en el edificio a partir de fuentes renovables y la energía térmica captada del medioambiente.

EDIFICIO ($S_u = 134.43 \text{ m}^2$)

	Ene (kWh)	Feb (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	May (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Sep (kWh)	Oct (kWh)	Nov (kWh)	Dic (kWh)	Año (kWh/año)	Año (kWh/m ² -año)
Electricidad autoconsumida de origen renovable	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Medioambiente	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Biomasa	472.7	172.6	108.8	7.2	1.3	--	--	--	--	--	60.3	415.0	1237.8	9.2
Biomasa densificada (pellets)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

donde:

S_u : Superficie útil habitable incluida en la envolvente térmica, m².

4. DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.

La demanda energética del edificio que debe satisfacerse en el cálculo del consumo de energía primaria, corresponde a la suma de la energía demandada de calefacción, refrigeración y ACS del edificio según las condiciones operacionales definidas.

4.1. Demanda energética de calefacción y refrigeración.

Se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración de cada zona habitable, junto a la demanda total del edificio.

Zonas habitables	S_u (m ²)	D_{ca} (kWh/año)	D_{ca} (kWh/m ² -año)	D_{re} (kWh/año)	D_{re} (kWh/m ² -año)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	1178.41	8.77	1685.30	12.54
	134.43	1178.41	8.77	1685.30	12.54

donde:

S_u : Superficie útil de la zona habitable, m².

D_{ca} : Valor calculado de la demanda energética de calefacción, kWh/año.

Consumo energético

D_{ref} : Valor calculado de la demanda energética de refrigeración, kWh/m².año.

4.2. Demanda energética de ACS.

El edificio proyectado no tiene demanda de agua caliente sanitaria.

5. MODELO DE CÁLCULO DEL EDIFICIO.

5.1. Definición de los espacios del edificio.

5.1.1. Agrupaciones de recintos.

Se muestra a continuación la caracterización de los espacios que componen cada una de las zonas de cálculo del edificio.

	S (m ²)	V (m ³)	ren _h (1/h)	ΣQ_{ocupa} (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,i}$ (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,s}$ (kWh/año)	$\Sigma Q_{equip,l}$ (kWh/año)	ΣQ_{ilum} (kWh/año)	Perfil de uso	Condiciones operacionales
ZONA ACONDICIONADA (Zona habitable acondicionada)										
AULA DE ESTUDIO	134.43	416.13	0.80	672.69	424.68	504.93	--	1683.09	Baja, Otros usos 8h	Otros usos 8 h
	134.43	416.13	0.80/0.25*	672.69	424.68	504.93	--	1683.09		

donde:

S: Superficie útil interior del recinto, m².

V: Volumen interior neto del recinto, m³.

ren_h: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.

*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas.

Q_{ocupa} : Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,i}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,s}$: Sumatorio de la carga interna sensible debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

$Q_{ocupa,l}$: Sumatorio de la carga interna latente debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, kWh/año.

Q_{ilum} : Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, kWh/año.

5.1.2. Condiciones operacionales

Distribución horaria

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
Perfil: Otros usos 8 h (uso no residencial)																								
Temp. Consigna Alta (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	25	25	25	25	25	25	25	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Temp. Consigna Baja (°C)																								
Laboral	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sábado	--	--	--	--	--	--	20	20	20	20	20	20	20	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Festivo	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Consumo energético

5.1.3. Solicitaciones interiores y niveles de ventilación

		Distribución horaria																								
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
Perfil: Baja, Otros usos 8 h (uso no residencial)																										
Ocupación sensible (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos (W/m²)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación (%)																										
Laboral		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sábado		0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.1.4. Carga interna media

Se muestran los resultados del cálculo de la carga interna media de las zonas habitables del edificio.

Zonas habitables	S_v (m ²)	C_{in} (W/m ²)
ZONA ACONDICIONADA	134.43	2.4
	134.43	2.4

donde:

S_v : Superficie habitable del edificio, m².

C_{in} : Carga interna media, W/m². Carga media horaria de una semana tipo, repercutida por unidad de superficie del edificio o zona del edificio, teniendo en cuenta la carga sensible debida a la ocupación, la carga debida a la iluminación y la carga debida a los equipos (Anejo A, CTE DB HE).

5.2. Procedimiento de cálculo del consumo energético.

El procedimiento de cálculo empleado tiene como objetivo determinar el consumo de energía primaria del edificio procedente de fuentes de energía renovables y no renovables. Para ello, se ha empleado el documento reconocido CYPETHERM HE Plus. Mediante dicho programa, se realiza una simulación anual por intervalos horarios de un modelo térmico zonal del edificio con el motor de cálculo de referencia EnergyPlus™ versión 23.1, en la que, hora a hora, se realiza el cálculo de la distribución de las demandas energéticas a satisfacer en cada zona del modelo térmico para mantener las condiciones operacionales definidas, determinando, para cada equipo técnico, su punto de trabajo, la energía útil aportada y la energía final consumida, desglosando el consumo energético por equipo, servicio técnico y vector energético utilizado.

El cálculo de la energía primaria que corresponde a la energía final consumida por los servicios técnicos del edificio, teniendo en cuenta la contribución de la energía producida in situ, se realiza mediante el programa CteEPBD integrado en CYPETHERM HE Plus, desarrollado por IETcc-CSIC en el marco del convenio con el Ministerio de Fomento, que implementa la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios descrita en la norma EN ISO 52000-1:2017.

5.3. Factores de conversión de energía final a energía primaria utilizados.

Vector energético	$f_{cep,ren}$	$f_{cep,non}$
Biomasa	0.034	1.003
Electricidad obtenida de la red	1.954	0.414

donde:

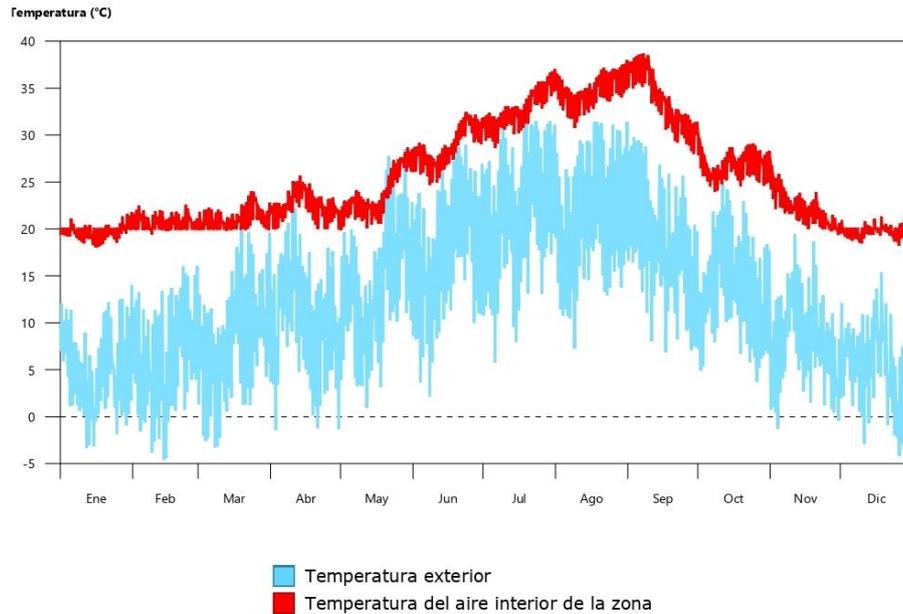
$f_{cep,non}$: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.

$f_{cep,ren}$: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes renovables.

3.5 Variante Óptima: Confort Interior

Confort interior

Z01_ZONA ACONDICIONADA



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima de confort (-)													
$T_{int,max}$ (°C)	21.8	22.6	24.0	25.7	28.7	32.5	37.0	38.0	38.7	30.5	27.3	21.3	38.7
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Temperatura mínima de confort (-)													
$T_{int,min}$ (°C)	18.1	19.4	19.8	20.0	20.0	24.7	28.6	30.8	28.0	24.0	19.4	18.2	18.1
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupación)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Horas fuera de consigna*													
Calefacción (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Calefacción (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Refrigeración (Horas)	--	--	--	--	42.00	178.75	208.00	216.00	200.00	88.00	--	--	932.75
Refrigeración (Horas/Ocupación)	--	--	--	--	42.00	178.75	208.00	216.00	200.00	88.00	--	--	932.75

*Número de horas en las que la temperatura del aire de los espacios de la zona se sitúa fuera del rango de las temperaturas de consigna de calefacción o de refrigeración, con un margen superior a 1 °C para calefacción y 1 °C para refrigeración.

donde:

- T_{ic} : Temperatura del aire interior de la zona, °C.
- $T_{ic,max}$: Temperatura máxima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{ic,min}$: Temperatura mínima del aire interior de la zona, °C.
- $T_{max,conf}$: Temperatura máxima de confort, °C.
- $T_{min,conf}$: Temperatura mínima de confort, °C.