



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

PROPUESTA DE MEDIDAS PASIVAS PARA LA MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO DE LA ETSAV

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

TRABAJO FIN DE GRADO

2015/2016

Autor: **Rocío Ruiz Morales**

Tutor: Juan Carlos Carrión Mondéjar

Titulación: Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Fecha: Septiembre 2016

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis del estado actual de una parte de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, el edificio 2B y la propuesta de medidas para mejorar su funcionamiento energético.

En un inicio, se explican y estudian los conceptos teóricos y estrategias para un diseño arquitectónico pasivo y bioclimático, una vez explicados se procede a analizar si el edificio 2B cumple dichos requisitos bioclimáticos y se propone una solución que garantice el confort higrotérmico de los usuarios en caso de no cumplirlos.

En este trabajo se estudian el clima, el asoleamiento, los vientos, la orientación, la volumetría y la envolvente del edificio, para posteriormente calcular las transmitancias máximas de los elementos de la envolvente. En caso de no cumplir con la normativa establecida se calculan las transmitancias máximas, medias y condensaciones superficiales e intersticiales de la nueva propuesta para asegurar el cumplimiento del CTE. Tras esto, se estudia cómo mejorar la eficiencia energética de los huecos para evitar pérdidas de calor en invierno y ganancias en verano, se diseñan y calculan las protecciones necesarias en cada hueco según su orientación para reducir el consumo de energía y favorecer la ventilación natural.

Tras el proceso descrito, se tienen los datos suficientes para mejorar el edificio y garantizar su eficiencia y comportamiento bioclimático con el que se conseguirá un ahorro de energía y en el que será posible alcanzar el confort requerido por los ocupantes.

PALABRAS CLAVE: Funcionamiento bioclimático, diseño arquitectónico pasivo, eficiencia energética, ahorro de energía, confort higrotérmico.

RESUM

El present treball té com objectiu l'anàlisi de l'estat actual d'una part de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de València, en l'edifici 2B i la proposta de mesures per a millorar el seu funcionament bioclimàtic.

En un inici, s'expliquen i estudien els conceptes teòrics i estratègies per a un disseny arquitectònic passiu i bioclimàtic, una vegada explicats es procedix a analitzar si l'edifici 2B complix dits requisits bioclimàtics i es proposa una solució que garantisca el confort higrotèrmic dels usuaris en cas de no complir-los.

En el treball s'estudia el clima, l'asolellament, els vents, l'orientació, la volumetria i l'envolvent de l'Escola per a posteriorment calcular les transmitàncies màximes dels elements de l'envolvent. En cas de no complir amb la normativa establida es calculen les transmitàncies màximes, mitges i condensacions superficials e intersticials de la nova proposta per assegurar el compliment del CTE. Després d'açò, s'estudia com millorar l'eficiència dels buits per a evitar pèrdues de calor a l'hivern i guanys a l'estiu, es dissenyen i calculen les proteccions necessàries en cada buit segons la seua orientació per a reduir el consum d'energia i afavorir la ventilació natural.

Després el procés descrit, es tenen les dades suficients per a millorar l'edifici i garantir la seua eficiència i comportament bioclimàtic amb què s'aconseguirà un estalvi d'energia i amb el que serà possible aconseguir el confort requerit pels ocupants.

PARAULES CLAU: Funcionament bioclimàtic, disseny arquitectònic passiu, eficiència energètica, aprofitament d'energia, confort higrotèrmic.

SUMMARY

The main goal of this thesis is to analyse the current conditions of a part of the Superior Technical School of Architecture of Valencia, 2B building and to propose measures to improve its bioclimatic functioning.

On the first hand, the theoretical concepts and strategies are explained and studied to obtain a passive and bioclimatic architectural design, after that 2B building is analysed to know if it achieves the bioclimatic requirement, if it does not a solution which guarantee the hygrothermic comfort, of the users is proposed.

In this thesis the weather, the sunlight, the wind, the orientation, the volume and the covering are studied to calculate the maximum transmittances of the covering elements. If they do not meet the regulation it is necessary to calculate the maximum and average transmittances and the condensations for a new proposal. After that, is studied how to improve the shaft efficiency in order to prevent energy loss in winter and energy gain in summer. The shaft's protection are designed and calculated according to the orientation in order to reduce the energy consumption and improve natural ventilation.

After all of that, enough data is gathered together to improve the building and guarantee its efficiency and bioclimatic behavior with which an energy-saving will be obtain and the comfort required will be reached.

KEY WORDS: Bioclimatic functioning, passive architectural design, energy efficiency, energy-saving, hygrothermic comfort.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5-7
2. CLIMA.....	8-12
2.1 TEMPERATURA.....	8-9
2.2 ASOLEAMIENTO.....	9-10
2.3 VIENTOS.....	11-12
3. ESTRATEGIAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PASIVO.....	13-17
3.1 ORIENTACIÓN.....	13-14
3.2 VOLUMETRÍA.....	15
3.3 ENVOLVENTE.....	16-17
4. CÁLCULO DE LAS TRANSMITANCIAS DE LA ENVOVENTE DE EDIFICIO...18-38	
4.1 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE LA ENVOLVENTE..	19-28
4.2 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE PUENTES TÉRMICOS.....	28-30
4.3 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE HUECOS.....	30-38
5. MEJORAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMATICO DE LA ENVOLVENTE.....	39-62
5.1 MODIFICACIÓN DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS TRANSMITANCIAS MÁXIMAS.....	39-52
5.2 CÁLCULO DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS TRANSMITANCIAS MEDIAS.....	52-62
6. CÁLCULO DE CONDENSACIONES.....	63-67
6.1 CONDENSACIONES SUPERFICIALES.....	64
6.2 CONDENSACIONES INTERSTICIALES.....	65-67
7. DISEÑO DE PROTECCIÓN SOLAR.....	68-72
7.1 FACHADA ORIENTACIÓN SUROESTE ($\alpha = 199^\circ$).....	70-72
7.2 FACHADA ORIENTACIÓN OESTE ($\alpha = 289^\circ$).....	72
7.3 FACHADA ORIENTACIÓN NORTE ($\alpha = 19^\circ$).....	72
7.4 FACHADA ORIENTACIÓN ESTE ($\alpha = 109^\circ$).....	72
8. CONCLUSIONES.....	73-74
BIBLIOGRAFÍA.....	75-76
ANEXO.....	77-84

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto se plantea para mejorar la calidad ambiental y la eficiencia en cuanto al uso de energía en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia. Para ello se ha analizará un bloque de la parte del edificio construida en 1975 y ampliada y restaurada en el año 2000 y se analizarán las actuales condiciones climáticas y las mejoras adecuadas para su mejor funcionamiento y ahorro de energía.

El consumo energético de un edificio varía con el diseño, dependiendo de diversos factores como son el clima de la localidad, el uso, la calidad de los elementos y procesos constructivos empleados, la gestión energética o los sistemas de control. Por otro lado, los edificios están expuestos a numerosas influencias físicas que afectan positiva o negativamente al consumo energético. El principal objetivo es **optimizar** la relación entre la cantidad de energía consumida y las funciones que se desempeñan en el edificio. El objetivo de la exigencia de ahorro de energía consiste en un adecuado uso de la energía necesaria para lograr el **confort** en los edificios, reduciendo al máximo posible su consumo y al mismo tiempo tratando de conseguir que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovables, como consecuencia de las características del proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Para alcanzar dicho objetivo, los edificios se proyectan cumpliendo las exigencias básicas establecidas por **CTE** en el **DB HE 1**. El CTE HE 1 es de obligatorio cumplimiento en edificios de nueva construcción, así como en modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil superior a 1000 m² donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos.

El término de arquitectura bioclimática consiste en el diseño de edificios teniendo presente las condiciones climáticas y aprovechado los recursos naturales (sol, flora, lluvias, vientos) para reducir los impactos ambientales, consiguiendo así una reducción en el consumo de energía. Esta construcción bioclimática está ligada a la **construcción ecológica**, refiriéndose a estructuras o procesos constructivos responsables con el medio ambiente y que emplean recursos de forma eficaz a lo largo de todo el tiempo de vida de una construcción.

Pese a que el término bioclimático semeja un concepto nuevo, la historia del desarrollo bioclimático no lo es, ya que la arquitectura tradicional ya empleaba estos principios, como el empleo de ventanales orientados a sur en regiones de clima frío del hemisferio norte; el uso de materiales con propiedades térmicas especiales, como la madera, la piedra o el adobe; o



Figura 1.1 Exterior Escuela de Arquitectura



Figura 1.2 Fachada Oeste de la zona a estudiar



Figura 1.3 Fachada Este de la zona a estudiar

el encalado en las casas mediterráneas para mantener el interior fresco en verano, proporcionan ejemplos de viviendas bioclimáticas.

La arquitectura bioclimática es una arquitectura donde equilibrio y armonía son una constante con el medio ambiente. En ella se estudia el **clima** y las condiciones del **entorno** para conseguir el confort térmico interior mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción del edificio adaptado a las condiciones climáticas de su entorno. Emplea las características locales, como son el relieve, el clima, la vegetación natural, la dirección de los vientos dominantes o la insolación; al mismo tiempo que se encarga del diseño de los elementos arquitectónicos, evitando el empleo de elementos mecánicos para la mejora del confort interior. Del mismo modo que un edificio bioclimático intenta adaptarse al tiempo del lugar de ubicación y a sus características, los usuarios deben mostrar un **comportamiento adaptativo**, es decir, existe una dualidad entre “tiempo y cultura” que provoca un cambio en la conducta de los individuos en el tiempo y en sus hábitos culturales para mejorar el nivel de vida.

Todos estos **principios bioclimáticos** sirven para determinar la disposición de los distintos espacios, la calidad del ambiente interior y la reducción de los efectos negativos, son imprescindibles para reforzar su identidad.

- Cuidar exhaustivamente la **orientación**, la estructura espacial y los canales de ventilación natural, por ejemplo, en nuestro caso (este-oeste).
- Estudio de la distribución de los **huecos** en fachada, reduciéndolos lo máximo posible en las orientaciones norte, este y oeste.
- **Acondicionamiento** de las viviendas sin sistemas mecánicos, tienden a calentarse en invierno y a refrescarse en verano.
- Empleo de **colores claros** en las fachadas, lo que permite reflejar la luz y así refrigerar el interior.
- Utilización de gran cantidad de **aislamiento** e inercia térmica en los muros.
- Reducción de la **demanda energética** a niveles mínimos gracias al aislamiento con lana mineral y a la estanqueidad de la construcción.
- Empleo de **fachada ventilada**, protecciones solares exteriores y voladizos.
- Utilización de **materiales naturales** procedentes de la zona.
- Aprovechamiento del **agua de lluvia** para el riego y cisternas.
- Creación de un microclima mediante el empleo de **vegetación**, principalmente de hoja caduca.

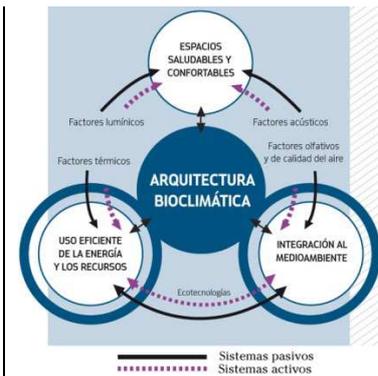


Figura 1.4 Elementos de la arquitectura bioclimática

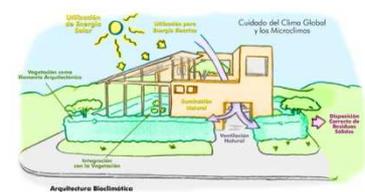


Figura 1.5 Bioclimatismo



Figura 1.6 Aprovechamiento solar estacional

Trabajo Fin de Grado
 PROPUESTA DE MEDIDAS PASIVAS PARA LA MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO
 BIOCLIMÁTICO DE LA ETSA

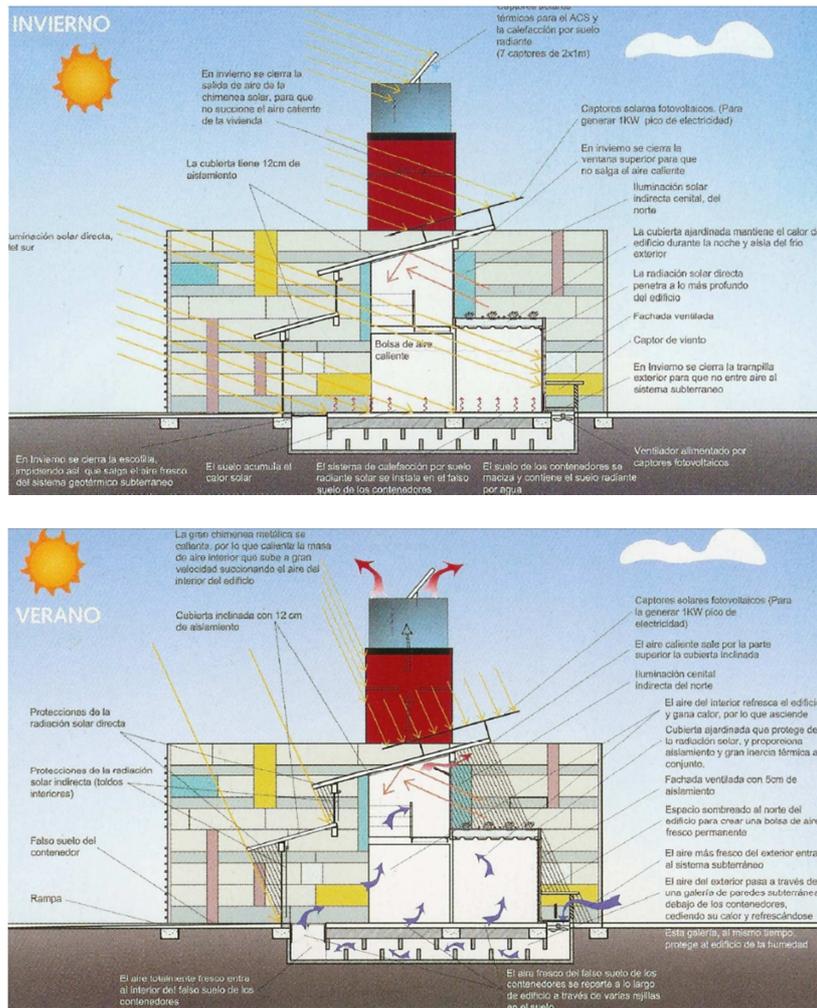


Figura 1.7 Ejemplo edificio bioclimático

Se comienza con el estudio del clima en la zona de implantación del edificio para seguir con el estudio del entorno. Posteriormente se realiza el cálculo de las transmitancias de la envolvente del edificio, en caso de no cumplir con la norma se presentará un nuevo diseño adecuado con el CTE y basado en los principios bioclimáticos que garantice las condiciones de confort así como el cumplimiento de las condensaciones superficiales, intersticiales y el diseño de las protecciones solares pertinentes según cada hueco y orientación.

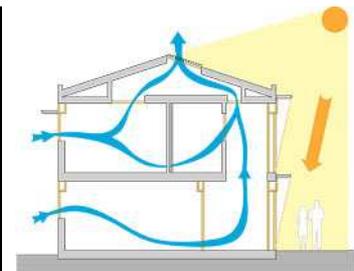


Figura 1.8 Radiación solar

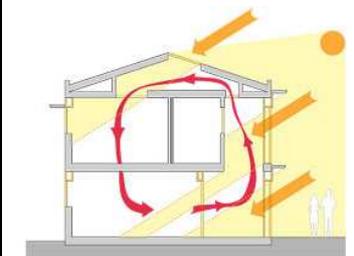


Figura 1.8 Radiación solar

2. CLIMA

La relación entre clima y arquitectura es un factor muy importante a tener en cuenta, ya que, este clima puede afectar positiva o negativamente en dicha arquitectura, por lo que los edificios deben estar diseñados tanto para aprovechar las ventajas climáticas como para protegerse de sus inclemencias.

Los principales factores a analizar relacionados con el clima son la temperatura, humedad, radiación solar, vientos, nubosidad y pluviometría, de todos ellos depende el bienestar de los ocupantes.

Dada la situación geográfica de la Comunidad Valenciana, ésta presenta un **clima Mediterráneo**. Este clima es ideal para climatizar las viviendas de manera natural puesto que presenta muchas horas de sol que permiten calentar la casa en otoño e invierno, por otro lado las viviendas en este entorno requieren una protección debida al exceso de radiación en verano mediante la colocación de protecciones solares en las ventanas. Dentro de todo el territorio encontramos diversos tipos de clima:

- Clima mediterráneo típico
- Clima mediterráneo continentalizado
- Clima mediterráneo seco
- Clima de montaña

El clima de la provincia de Valencia es el **mediterráneo típico**, caracterizado por veranos húmedos y calurosos con unas temperaturas medias por encima de los 22°C e inviernos húmedos y lluviosos con unas temperaturas suaves.

2.1 TEMPERATURA

Para determinar las condiciones medioambientales de un edificio es necesario conocer su temperatura máxima y mínima tanto en verano como en invierno.

○ Verano

- Temperatura media máxima de Agosto: 30.2°C
- Humedad relativa: 68%

○ Invierno

- Temperatura media mínima Enero: 7.1°C
- Humedad relativa: 63%



Figura 2.1 Climas de España



Figura 2.2 Composición de la radiación solar

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	11.8	16.4	7.1	37	64	4.4	0.0	0.3	0.5	0.3	9.0	171
Febrero	12.5	17.1	7.8	36	64	3.9	0.0	0.4	1.3	0.1	6.0	171
Marzo	14.4	19.3	9.6	33	63	3.6	0.0	0.4	0.9	0.0	7.1	215
Abril	16.2	20.8	11.5	38	62	4.8	0.0	1.1	0.7	0.0	5.2	234
Mayo	19.0	23.4	14.6	39	65	4.3	0.0	1.8	0.4	0.0	5.9	258
Junio	22.9	27.1	18.6	22	66	2.6	0.0	1.8	0.2	0.0	9.0	276
Julio	25.6	29.7	21.5	8	67	1.1	0.0	1.6	0.1	0.0	13.0	314
Agosto	26.1	30.2	21.9	20	68	2.4	0.0	1.9	0.3	0.0	10.2	288
Septiembre	23.5	27.9	19.1	70	67	5.0	0.0	2.8	0.0	0.0	6.6	234
Octubre	19.7	24.3	15.2	77	67	5.0	0.0	2.3	0.0	0.0	5.9	202
Noviembre	15.3	19.8	10.8	47	66	4.3	0.0	0.5	0.3	0.0	6.7	167
Diciembre	12.6	17.0	8.1	48	65	4.8	0.0	0.3	0.2	0.0	7.1	155
Año	18.3	22.8	13.8	475	65	46.3	0.1	15.3	5.0	0.5	93.2	2696

Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Figura 2.3 Tabla de temperaturas. Aemet

2.2 ASOLEAMIENTO

Para alcanzar el confort ambiental bioclimáticamente se deben empelar estrategias de **calentamiento pasivo**, para ello se debe conocer la forma mediante la cual se genera calor en los edificios, normalmente en las edificaciones de uso público existen altas cargas de calor internas generadas por equipos, iluminación y ocupantes, por esta razón muchos edificios públicos funcionan en régimen de enfriamiento durante todo el año. La parcela y la forma de la edificación pueden ser decisivas para aminorar o mejorar las ganancias de calor por **radiación solar** y promover el movimiento del aire alrededor. La incidencia del sol viene condicionada por la **ubicación** del proyecto con respecto a sol, para su determinación es necesario el empleo de una carta solar, la cual depende de la latitud.

El calentamiento pasivo se obtiene al **captar** la radiación solar y transformar ésta en calor, a continuación es necesario **conservar** ese calor dentro de los recintos, y por lo tanto aislarlos del exterior. La masa térmica de las edificaciones contribuye a **almacenar** calor durante el día para emitirlo durante la tarde y noche, por último este calor captado se deberá **distribuir** de manera que llegue a los distintos espacios del edificio.

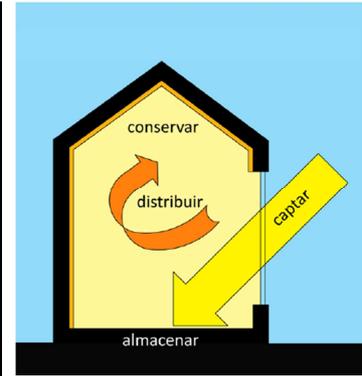


Figura 2.4 Calentamiento pasivo

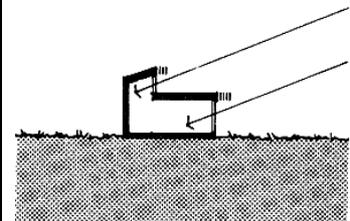


Figura 2.5 Ganancia solar directa

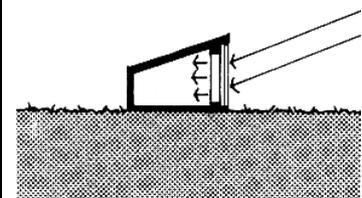


Figura 2.6 Muro de acumulación no ventilado

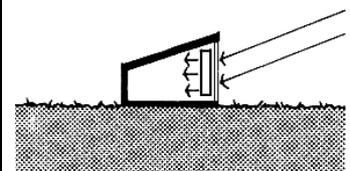


Figura 2.7 Muro de acumulación ventilado

Las ganancias solares pueden ser directas, indirectas o aisladas. En la directa, el sol atraviesa las superficies acristaladas orientadas a sur en invierno y éste es absorbido por la masa térmica de los materiales, en nuestro caso, al tratarse de un edificio docente se deben emplear protecciones solares para controlar dicha radiación y de este modo evitar el **sobrecalentamiento** en los meses de verano debido a las cargas internas. Las ganancias indirectas son las absorbidas por un sistema, aislado de los espacios habitables, que regula el ingreso al interior de los recintos según necesidades, un ejemplo es el **muro trombe** que está compuesto por un revestimiento de vidrio y un muro de material con inercia térmica entre los cuales se ha dejado una cámara de aire. Por último, con las ganancias aisladas se capta, acumula y distribuye el calor a través de un espacio térmicamente separado del resto de estancias del edificio, este espacio almacena el calor proveniente del sol, emplea el **efecto invernadero**.

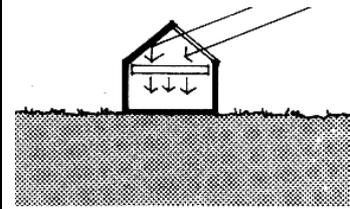


Figura 2.8 Techo de acumulación de calor

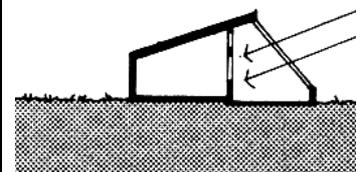


Figura 2.9 Invernadero adosado

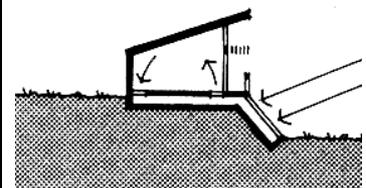


Figura 2.10 Captación solar y acumulación de calor



Figura 2.12 Asoleamiento. Sunearthtools

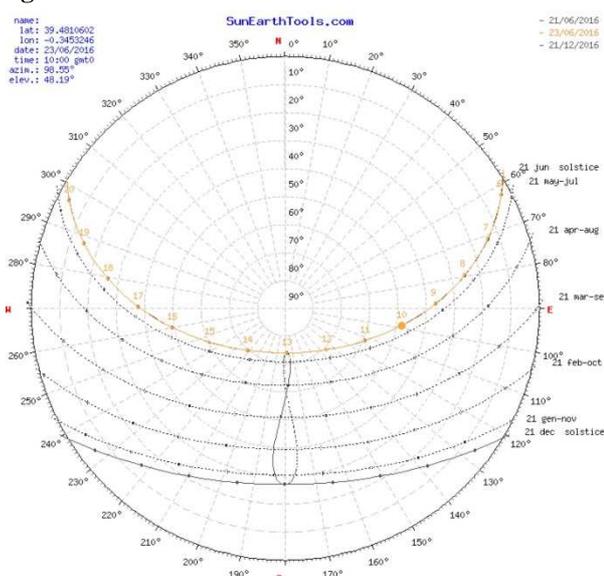


Figura 2.13 Carta solar

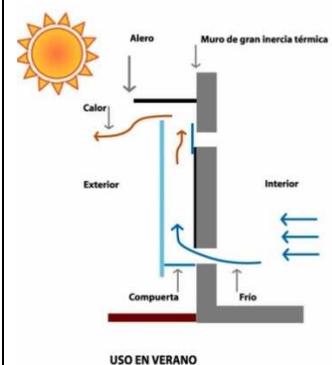


Figura 2.11 Funcionamiento del muro trombe

2.3 VIENTOS

Una buena ventilación es muy útil en climas cálidos húmedos que no cuentan con refrigeración mecánica para lograr un adecuado confort higrotérmico. Para diseñar adecuadamente la ventilación de los espacios habitables es necesario conocer la dirección, la velocidad y la temperatura del viento. La diferencia entre temperatura y presión entre dos espacios con opuesta orientación genera una **corriente de aire** que facilita la ventilación. Dependiendo de la procedencia de los vientos dominantes una fachada tendrá presión positiva y la otra negativa.

Esta **ventilación cruzada** es la forma más simple de ventilar, ya que la apertura de huecos en fachadas opuestas provoca movimientos de aire. El flujo arrastra el aire a mayor temperatura y lo reemplaza por otro a menor temperatura procedente del exterior, dicho enfriamiento se produce por la diferencia de temperatura, así como por la sensación de refrescamiento que produce el aire en movimiento. La diferencia de temperatura entre exterior a interior debe ser de unos **2°C** para que este efecto se lleve a cabo. Cuando se pretende que la ventilación cruzada acondicione un edificio se debe poner especial cuidado a la hora de distribuir los espacios interiores, ya que las divisiones de suelo a techo pueden modificar o estancar el aire en algunas partes del edificio.

Otro tipo de ventilación natural es por efecto convectivo o **"efecto stack"**. Se produce por la **estratificación** del aire al tener éste diferente temperatura en cada capa. A medida que el aire se calienta pierde densidad subiendo a la parte alta de la estancia, dicho aire es eliminado y reemplazado por aire nuevo que entra procedente del exterior a menor temperatura que el interior del edificio. Esta técnica necesita aberturas tanto en la parte inferior como superior del edificio, de forma que la altura del "stack", determinado por la distancia entre estas dos aberturas, define la efectividad del sistema. Los "stacks" pueden ser expuestos o integrados, puede tratarse de un **atrio**, una **chimenea** o una **chimenea solar**.

Por último, otra estrategia de ventilación natural es la ventilación **nocturna de masa térmica**, se trata de ventilar de manera natural el edificio durante las horas de la noche para así evitar el sobrecalentamiento durante el día. Esto se consigue mediante materiales macizos en la envolvente del edificio, lo que permite aumentar la masa térmica moderando así la temperatura del aire.

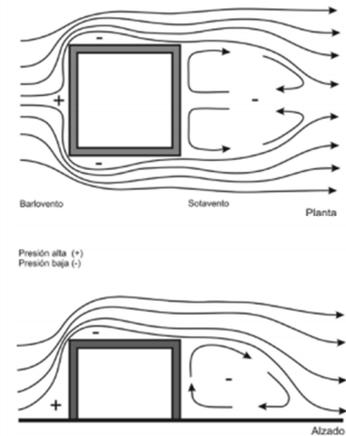


Figura 2.14 Comportamiento del viento

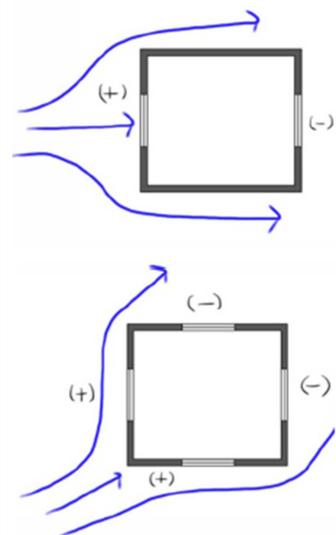


Figura 2.15 Presiones de aire por aberturas en muros opuestos

Trabajo Fin de Grado
 PROPUESTA DE MEDIDAS PASIVAS PARA LA MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO
 BIOCLIMÁTICO DE LA ETSA



Figura 2.17 Graficos de vientos. www.woespana.es

Los gráficos muestran que los vientos dominantes en los meses de verán provienen del Este, mientras que en invierno la dirección dominante es Oeste.

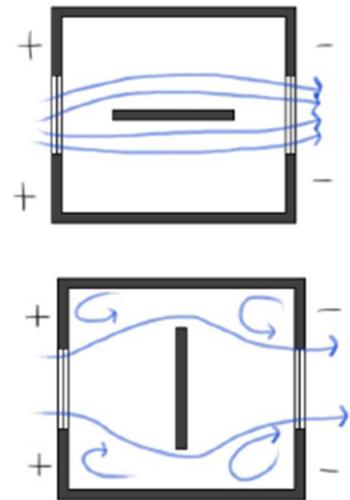


Figura 2.16 Recorrido del aire debido a muros interiores

3. ESTRATEGIAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PASIVO

Tras analizar las características climáticas del emplazamiento del proyecto se comienza por tomar decisiones de diseño para beneficiarse de todas las ventajas que presenta el clima de la zona y minimizar las desventajas, con el fin de alcanzar las condiciones de bienestar para los usuarios y disminuir al máximo el consumo energético.

Para que las edificaciones logren su acondicionamiento ambiental mediante procesos naturales es necesario el análisis y estudio de las siguientes estrategias de diseño.

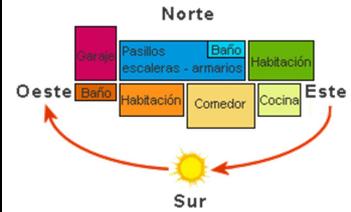
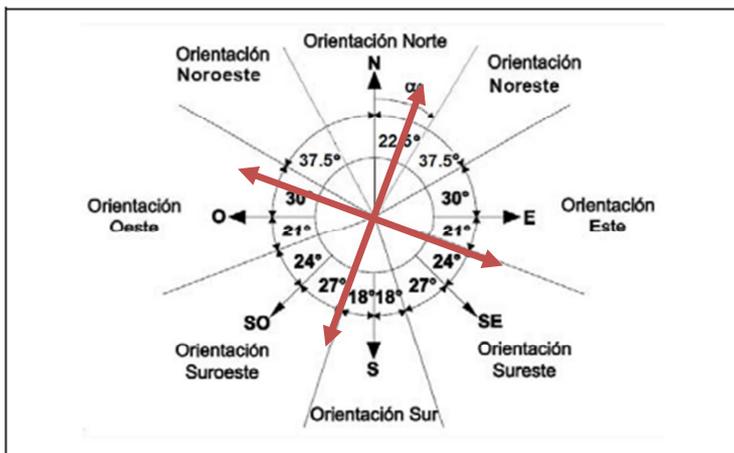


Figura 3.2 Trayectoria solar

3.1 ORIENTACIÓN



Norte	$\alpha_0 < 22,5; \alpha_0 \geq 337,5;$
Noreste	$22,5 \leq \alpha_0 < 60$
Este	$60 \leq \alpha_0 < 111$
Sureste	$111 \leq \alpha_0 < 162$
Sur	$162 \leq \alpha_0 < 198$
Suroeste	$198 \leq \alpha_0 < 249$
Oeste	$249 \leq \alpha_0 < 300$
Noroeste	$300 \leq \alpha_0 < 337,5$

Figura 3.1 Orientación de fachadas

El edificio a analizar se encuentra al norte de la ciudad de Valencia, próximo a la playa de la Malvarrosa, junto al camino de Vara, se trata de una parte de la **Escuela de Arquitectura** del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia, la



Figura 3.3 Penetración de luz lateral y cenital en verano

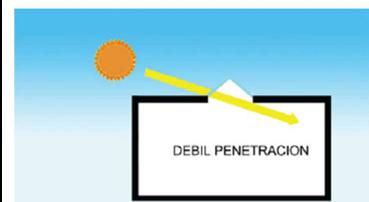


Figura 3.4 Penetración de luz lateral y cenital en invierno

parte 2B. Dicha zona tiene una superficie de 1424 m². Se encuentra orientado a suroeste.

Las diferentes fachadas presentan sus propias condiciones de asoleamiento y por tanto deben estar tratadas según estrategias diferentes:

- **Norte.** Una fachada orientada a norte no recibe radiación solar de forma directa durante la mayor parte del año. Simplemente en los meses de verano puede recibir una cantidad de sol dependiendo de la latitud. Debido a esto no sería necesario el empleo de protecciones en dicha orientación.
- **Este.** Esta fachada se beneficiará del sol en las horas de la mañana tanto en invierno como en verano. El sol en esta orientación es bajo por lo que se pueden emplear protecciones solares si hay grandes superficies acristaladas, dependiendo del tipo de clima.
- **Sur.** La fachada orientada a sur recibe la radiación solar durante la mayor parte del día. En invierno el sol se encuentra en una posición más baja con respecto al cenit, por lo que penetrará más a través de las superficies acristaladas. En verano es necesario proteger dicha fachada con protecciones solares.
- **Oeste.** El sol incide en esta fachada durante la tarde, al ser esta parte de día la que cuenta con unas temperaturas más elevadas, dicha fachada presenta riesgo de sobrecalentamiento en verano, por lo que es necesario proteger las superficies acristaladas que se encuentren en ellas.

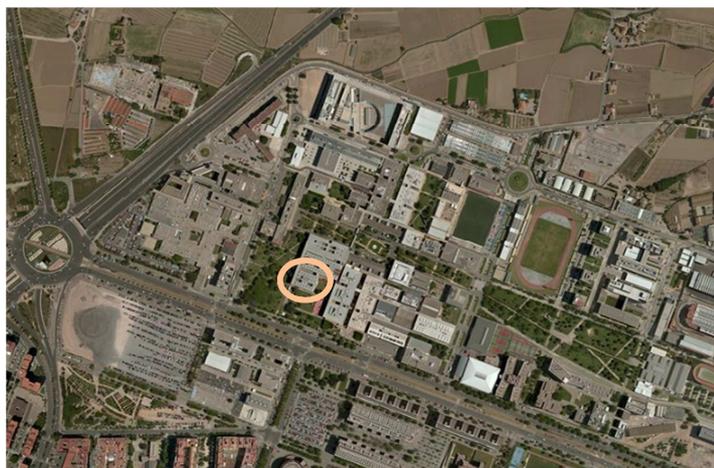


Figura 3.6 Emplazamiento Escuela de Arquitectura

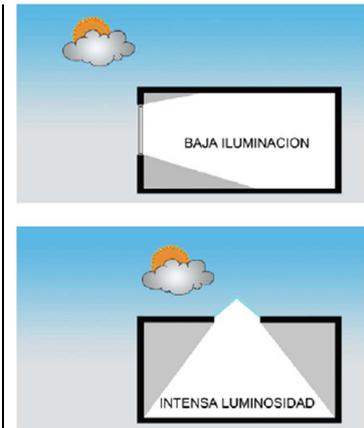


Figura 3.4 Penetración de luz lateral y cenital con cielo cubierto



Figura 3.5 Características de fachadas según orientación

3.2 VOLUMETRÍA

La forma de un edificio puede ser decisiva para mejorar las ganancias de calor por radiación solar y favorecer el movimiento del aire alrededor de éste. La volumetría de un edificio debe guardar relación con el clima del lugar en el que se encuentra y con el uso que se va a desarrollar en su interior.

Para analizar las relaciones volumétricas se emplea el **factor forma**, que relaciona la superficie envolvente con el volumen envuelto. Un factor forma bajo indica que el edificio presenta menor cantidad de pérdidas en las condiciones de invierno. Con el fin de reducir lo máximo posible las pérdidas de calor no deseadas, es recomendable minimizar la superficie de la envolvente.

Al mismo tiempo es necesario ubicar el edificio en la parcela de forma que se emplee el **paisajismo** de forma adecuada con el fin de bloquear o aumentar las ganancias de calor o maximizar el potencial de enfriamiento de los vientos dominantes. El tipo de vegetación empleada debe ser seleccionada para producir la sombra adecuada y permitir el paso de aire al mismo tiempo, la vegetación absorbe la radiación solar y sombrea el suelo, lo que contribuye a bajar la temperatura de la fachada y refrescar el aire circundante.

3.3 ENVOLVENTE

Todos los edificios cuentan con una envolvente que actúa como **piel** del edificio y separa los espacios acondicionados del ambiente exterior y de espacios no habitables, opone una resistencia térmica al flujo de calor que limita la demanda energética requerida para alcanzar el confort térmico necesario en el espacio interior.

El primer principio a la hora de diseñar la envolvente es la aislación térmica así como sellar la envolvente al paso del aire, evitando de este modo las **pérdidas de calor** por conducción y por infiltraciones. La envolvente deberá cumplir unos requisitos de transmitancia simple y media respecto a valores de referencia denominados **transmitancias máximas** y **transmitancias límite** en función de la zona de severidad climática de ubicación del edificio. En edificaciones públicas, la aislación térmica se obtiene

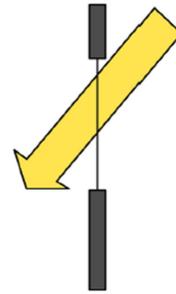


Figura 3.7 Ventana a plomo de muro

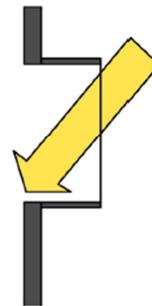


Figura 3.8 Ventana saliente

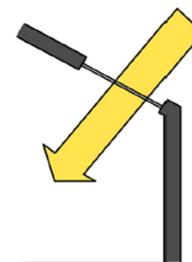


Figura 3.9 Ventana superior

mediante la incorporación de un material aislante y el empleo de ventanas que cumplan con las exigencias requeridas según la zona climática donde esté ubicado.

La envolvente está constituida por muros y cerramientos, que se clasifican en los siguientes:

- **Cubiertas.** Cerramientos superiores con una inclinación inferior a 60° respecto a la horizontal.
- **Suelos.** Cerramientos inferiores horizontales o ligeramente inclinados en contacto con el aire, con el terreno o con espacios no habitables.
- **Fachadas.** Cerramientos exteriores cuya inclinación sea superior a 60° respecto a la horizontal.
- **Medianeras.** Cerramientos que lindan con otros edificios ya construidos o que se construyan a la vez y que conformen una división común.
- **Cerramientos en contacto con el terreno.**
- **Particiones interiores.** Comprenden aquellos elementos construidos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes recintos.



Figura 3.10 Situación óptima de invierno



Figura 3.11 Situación óptima de verano

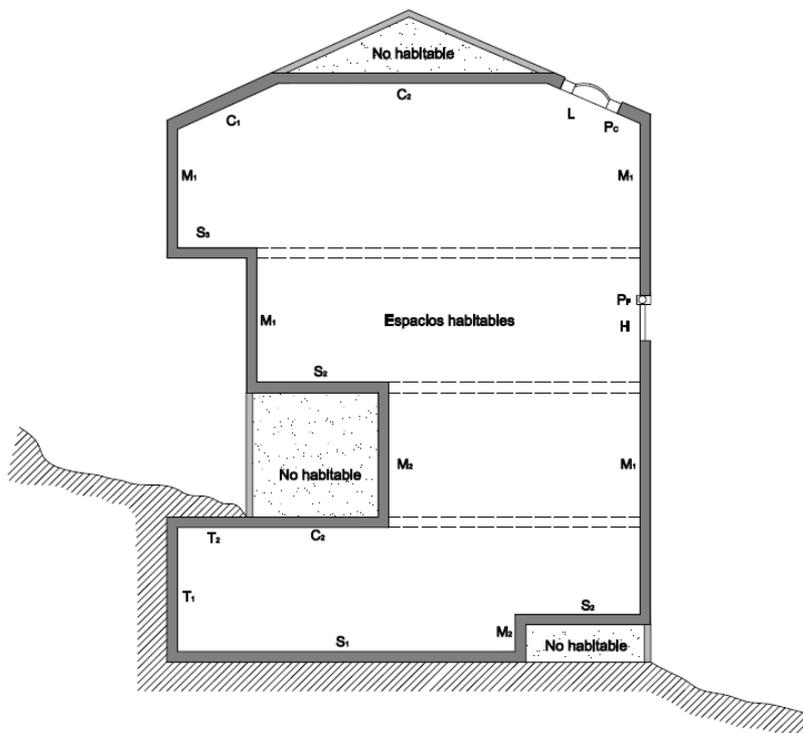


Figura 3.2 Esquema de *envolvente térmica* de un edificio

Figura 3.11 Envolvente térmica CTE

4. CÁLCULO DE LAS TRANSMITANCIAS DE LA ENVOLENTE DE EDIFICIO

En primer lugar se debe determinar la zona climática en la que se encuentra el edificio a estudiar. Dicho dato se obtiene del CTE, dependiendo de la localización del edificio y su altitud.

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7				h < 250						h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100			h < 250	h < 400					h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054													h < 550	h < 850		h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750		h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861													h < 600		h ≥ 600	
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18				h < 50						h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0				h < 50												
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113				h < 150					h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300	h < 1000		h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200		h < 700			h ≥ 700
Lugo	D1	412														h < 500		h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0					h < 300					h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25					h < 100					h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50		h < 550		h ≥ 550
Palencia	D1	722														h < 800		h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250					h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600		h ≥ 600
Pontevedra	C1	77											h < 350		h ≥ 350			
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5													h < 400	h < 400		h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150		h < 650		h ≥ 650
Segovia	D2	1013													h < 1000			h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984													h < 750	h < 800		h ≥ 800
Tarragona	B3	1					h < 50					h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500		h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8					h < 50					h < 500			h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512													h < 500	h < 500		h ≥ 500
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

La zona climática de Valencia es **B3** por estar en la zona B y estar situado a una altura menos a 50m sobre el nivel del mar. Por lo que los datos obtenidos del estudio se deberán comparar con los exigidos por el CTE para esa zona climática concreta.

Para el cálculo de las transmitancias, los datos de cada material se obtienen de las tablas recogidas en el *Catálogo de elementos constructivos de CTE*, versión preliminar: Marzo 10. Borrador.

D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,30$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Una vez conocida la zona climática, se debe garantizar que cada uno de los cerramientos y particiones interiores han de tener unas transmitancias máxima y límite no superior a los valores indicados en las siguientes tablas.

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

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

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Tabla 2.4 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Tabla 2.5 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

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

Para la determinación de las Resistencias Superficiales de los cerramientos y las particiones interiores se debe tener en cuenta la dirección del flujo de calor obtenido en las siguientes tablas.

Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W Tabla E.6 Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en m^2K/W

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}	Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor	R _{si}	R _{se}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,04	0,13	Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,13	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente	0,04	0,10	Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente	0,10	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17	Particiones interiores horizontales y flujo descendente	0,17	0,17

4.1 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE LA ENVOLVENTE

- Muro de cerramiento exterior de planta baja

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m^2K/W)	U= 1/R (W/m^2K)
Exterior	-	-	0.04	
Hormigón armado	0.2	2.30	0.086	
Cámara de aire sin ventilar	0.02	-	0.17	
Placa de yeso laminado	0.015	0.25	0.06	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			0.486	2.06

3.4 Hormigones

3.4.1 Hormigones

Material	Hormigones			
	ρ kg / m ³	Λ W / m·K	C _p J / kg·K	μ
Hormigón armado	$\rho > 2500$	2,50	1000	80
	$2300 < \rho \leq 2500$	2,30	1000	80
Hormigón en masa	$2300 \leq \rho \leq 2600$	2,00	1000	80
	$2000 \leq \rho \leq 2300$	1,65	1000	70
Hormigón con áridos ligeros	$1800 \leq \rho \leq 2000$	1,35	1000	60
	$1600 \leq \rho \leq 1800$	1,15	1000	60

Tabla E.2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en $m^2 K/W$

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

3.6.2 Productos de yeso

Productos de yeso				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Placa de yeso o escavola	750 ≤ ρ ≤ 900	0,25	1000	4
Placa de yeso laminado (PYL)	750 ≤ ρ ≤ 900	0,25 ⁽¹⁾	1000	4
Placas de yeso armado con fibras minerales	800 < ρ ≤ 1000	0,25	1000	4

⁽¹⁾ La conductividad térmica, λ , incluye el efecto del revestimiento de papel.

U = 2.06 W/m²K > 1 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- o Muro de cerramiento exterior de planta tercera

Material	e (m)	λ (W/mK)	R = e / λ (m ² K/W)	U = 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Aplacado de piedra	0.04	1.40	0.028	
Mortero de agarre	0.03	0.80	0.0375	
Ladrillo hueco ½ pie	0.12	0.32	0.375	
Placas de corcho	0.02	0.065	0.30	
Placa de yeso laminado	0.015	0.25	0.06	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			0.97	1.03

3.5 Morteros

Morteros				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco o enlucido ^{(1) (2)}	$\rho > 2000$	1,80	1000	10
	$1800 < \rho \leq 2000$	1,30	1000	10
	$1600 < \rho \leq 1800$	1,00	1000	10
	$1450 < \rho \leq 1600$	0,80	1000	10
	$1250 < \rho \leq 1450$	0,70	1000	10
	$1000 < \rho \leq 1250$	0,55	1000	10
	$750 < \rho \leq 1000$	0,40	1000	10
	$500 < \rho \leq 750$	0,30	1000	10
Mortero de áridos ligeros (vermiculita, perlita) ⁽²⁾	$\rho \leq 1000$	0,41	1000	10
Mortero de yeso	$\rho \leq 1600$	0,80	1000	6

⁽¹⁾ Para el mortero colocado "in situ" se considera una densidad de 1900 kg/m³

⁽²⁾ Los valores de diseño anotados corresponden a un percentil del 90% y provienen de los valores declarados obtenidos según la norma UNE EN 1745:2002 y corregidos según los criterios de la norma UNE EN 12524:2000, con factor de corrección de humedad, Fm, igual a 1,17.

3.1.1 Rocas y suelos naturales

Rocas y suelos naturales				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	$\lambda^{(1)}$ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Rocas ígneas				
Basalto	2700 ≤ ρ ≤ 3000	3,50	1000	10000
Granito	2500 ≤ ρ ≤ 2700	2,80	1000	10000
Piedra pómez natural	ρ ≤ 400	0,12	1000	6
Roca natural porosa (por ejem. Lava)	ρ ≤ 1600	0,55	1000	15
Traquita, andesita	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,10	1000	15
Rocas o suelos sedimentarios				
Arcilla o limo	1200 ≤ ρ ≤ 1800	1,50	1670-2500	50
Arena y grava	1700 ≤ ρ ≤ 2200	2,00	910-1180	50
Arenisca	2200 ≤ ρ ≤ 2600	3,00		
Asperón	1900 ≤ ρ ≤ 2500	1,80	1000	40
	1300 ≤ ρ < 1900	0,90	1000	20
Caliza, muy dura	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	200
Caliza, dura	2000 ≤ ρ ≤ 2190	1,70	1000	150
Caliza, dureza media	1800 ≤ ρ ≤ 1990	1,40	1000	40
Caliza, blanda	1600 ≤ ρ ≤ 1790	1,10	1000	25
Caliza, muy blanda	ρ ≤ 1590	0,85	1000	20
Silex	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	10000
Rocas metamórficas				
Gneis, Pórfido	2300 ≤ ρ ≤ 2900	3,50	1000	10000
Esquisto, Pizarra	2000 ≤ ρ ≤ 2800	2,20	1000	800
Mármol	2600 ≤ ρ ≤ 2800	3,50	1000	10000
Tierra vegetal	ρ ≤ 2050	0,52	1840	-

⁽¹⁾ La conductividad térmica incluye el efecto producido por las posibles juntas.

3.14 Cerámicos

Productos cerámicos				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W/m·K	C_p J / kg·K	μ
Azulejo cerámico	2300	1,30	840	∞
Bloque cerámico de arcilla aligerada	910	0,28	1000	10
Bovedilla o casetón cerámico	500	0,67	1000	10
Ladrillo hueco LH	770	0,32	1000	10
Ladrillo hueco gran formato GF	650	0,29	1000	10
Ladrillo perforado LP	780	0,35	1000	10
Ladrillo macizo LM	2300	0,85	1000	10
Plaqueta o baldosa cerámica	2000	1,00	800	30
Plaqueta o baldosa de gres	2500	2,30	1000	30
Tablero cerámico	650	0,29	1000	10
Teja de arcilla cocida	2000	1,00	800	30
Teja cerámica-porcelana	2300	1,30	840	30
Gres				
Gres cuarzoso	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	30
Gres(sílice)	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	30
Gres calcáreo	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,90	1000	20

Paneles de madera				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Corcho				
Comprimido	$\rho \leq 500$	0,10	1560	5
Expandido puro	$100 \leq \rho \leq 150$	0,049	1560	5
Expandido con resinas sintéticas	$150 \leq \rho \leq 250$	0,055	1560	5
	$100 \leq \rho < 150$	0,049	1560	5
Placas de corcho	$\rho > 400$	0,065	1 500	20

⁽¹⁾ Como medida provisional y hasta disponer de suficientes datos significativos para los paneles de madera sólida (SWP) y maderas chapadas laminares (LVL) pueden utilizarse los valores dados para contrachapados

⁽²⁾ MDF: Panel de fibras de densidad media, proceso en seco.

$U = 1.03 \text{ W/m}^2\text{K} > 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Solera

Se trata de una solera apoyada sobre el nivel del terreno o a menos de 0.50m por debajo de éste. Para el cálculo de la transmitancia térmica de las soleras es necesario conocer el ancho de la banda de aislamiento perimétrico **D**, la resistencia del aislante **R_a** y la longitud característica **B'** de dicha solera.

Se considera que la solera no tiene aislamiento perimétrico **D= 0m**

R_a= 0 m²K/W al tratarse de una solera sin aislamiento térmico.

$B' = A / (0.50 * P)$ siendo $A = 1386.4\text{m}^2$ y $P = 150.02\text{m}$

$B' = 1386.4 / (0.50 * 150.02) = 18.5$

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

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

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

El código técnico exige el cumplimiento de la transmitancia del denominado “primer metro perimetral” en la tabla 2.3 por lo que se debe tomar como **B' = 1**

Tabla E.3 Transmitancia térmica U_s en W/m^2K

B'	R_s	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R_s ($m^2 K/W$)					R_s ($m^2 K/W$)					R_s ($m^2 K/W$)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

$U = 2.35 W/m^2K > 1 W/m^2K$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- o Cubierta plana no transitable

Material	e (m)	Λ (W/mK)	$R = e / \Lambda$ (m^2K/W)	$U = 1/R$ (W/m^2K)
Exterior	-	-	0.04	
Gravas	0.04	2	0.02	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Poliestireno expandido	0.04	0.039	1.02	
Hormigón pendientes	0.05	1.15	0.04	
Hormigón	0.13	2.30	0.056	
Perfil Haircol 59	0.001	17	-	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Interior	-	-	0.10	
TOTAL			1.306	0.77

3.1.1 Rocas y suelos naturales

Rocas y suelos naturales				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	$\lambda^{(1)}$ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Rocas ígneas				
Basalto	2700 ≤ ρ ≤ 3000	3,50	1000	10000
Granito	2500 ≤ ρ ≤ 2700	2,80	1000	10000
Piedra pómez natural	ρ ≤ 400	0,12	1000	6
Roca natural porosa (por ejem. Lava)	ρ ≤ 1600	0,55	1000	15
Traquita, andesita	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,10	1000	15
Rocas o suelos sedimentarios				
Arcilla o limo	1200 ≤ ρ ≤ 1800	1,50	1670-2500	50
Arena y grava	1700 ≤ ρ ≤ 2200	2,00	910-1180	50
Arenisca	2200 ≤ ρ ≤ 2600	3,00		
Asperón	1900 ≤ ρ ≤ 2500	1,80	1000	40
	1300 ≤ ρ < 1900	0,90	1000	20
Caliza, muy dura	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	200
Caliza, dura	2000 ≤ ρ ≤ 2190	1,70	1000	150
Caliza, dureza media	1800 ≤ ρ ≤ 1990	1,40	1000	40
Caliza, blanda	1600 ≤ ρ ≤ 1790	1,10	1000	25
Caliza, muy blanda	ρ ≤ 1590	0,85	1000	20
Silex	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	10000
Rocas metamórficas				
Gneis, Pórfido	2300 ≤ ρ ≤ 2900	3,50	1000	10000
Esquisto, Pizarra	2000 ≤ ρ ≤ 2800	2,20	1000	800
Mármol	2600 ≤ ρ ≤ 2800	3,50	1000	10000
Tierra vegetal				
	ρ ≤ 2050	0,52	1840	-

⁽¹⁾ La conductividad térmica incluye el efecto producido por las posibles juntas.

3.12 Bituminosos

Materiales bituminosos				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Asfalto	2100	0,70	1000	50000
Asfalto arenoso		0,15	1000	
Betún puro	1050	0,17	1000	50000
Betún fieltro o lámina	1100	0,23	1000	50000

3.4 Hormigones

3.4.1 Hormigones

Hormigones				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Hormigón armado	ρ > 2500	2,50	1000	80
	2300 < ρ ≤ 2500	2,30	1000	80
Hormigón en masa	2300 ≤ ρ ≤ 2600	2,00	1000	80
	2000 ≤ ρ ≤ 2300	1,65	1000	70
Hormigón con áridos ligeros	1800 ≤ ρ ≤ 2000	1,35	1000	60
	1600 ≤ ρ ≤ 1800	1,15	1000	60

$$U = 0.77 \text{ W/m}^2\text{K} > 0.65 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

- Cubierta planta primera aulas de proyectos y pasarela suroeste

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Pavimento de piedra	0.04	1.30	0.03	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Hormigón	0.13	2.30	0.056	
Perfil Haircol 59	0.001	17	-	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Interior	-	-	0.10	
TOTAL			0.256	3.90

U= 3.90 W/m²K > 0.65 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- Suelo planta tercera pasarela aulas de proyectos

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Interior	-	-	0.17	
Tablero Schauman	0.021	0.24	0.087	
Perfil HEB 120	0.12	50	0.0024	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Exterior	-	-	0.04	
TOTAL			0.30	3.33

3.3.2. Paneles de madera

Paneles de madera				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Tablero contrachapado, paneles de madera sólida (SWP) y maderas chapadas laminares (LVL) ⁽¹⁾	750< ρ ≤900	0,24	1600	110
	600< ρ ≤750	0,21	1600	110
	500< ρ ≤600	0,17	1600	90
	450< ρ ≤500	0,15	1600	70
	350< ρ ≤450	0,13	1600	70
	250< ρ ≤350	0,11	1600	50
	ρ ≤250	0,09	1600	50
Tablero de partículas	640< ρ ≤820	0,18	1700	20
	450< ρ ≤640	0,15	1700	20
	270< ρ ≤450	0,13	1700	20
	180< ρ ≤270	0,10	1700	20
Tablero de partículas con cemento	≤1200	0,23	1500	30
Tableros de fibras, incluyendo MDF ⁽²⁾	750< ρ ≤1000	0,20	1700	20
	550< ρ ≤750	0,18	1700	20
	350< ρ ≤550	0,14	1700	12
	200< ρ ≤350	0,10	1700	6
	ρ ≤200	0,07	1700	2
Paneles de fibras con conglomerante hidráulico	450< ρ ≤550	0,15	1700	12
	350< ρ ≤450	0,12	1700	5
	250< ρ ≤350	0,10	1700	5
Tablero de virutas orientadas (OSB)	ρ ≤ 650	0,13	1700	30

3.2 Metales

Metales				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Acero	7800	50	450	∞
Acero Inoxidable	7900	17	460	∞
Aluminio	2700	230	880	∞
Aluminio, aleaciones de	2800	160	880	∞
Bronce	8700	65	380	∞
Cobre	8900	380	380	∞
Cromo	7160	93,7	449	∞
Estaño	7310	66.6	227	∞
Hierro	7870	72	450	∞
Hierro, fundición	7500	50	450	∞
Latón	8400	120	380	∞
Níquel	8900	90,7	444	∞
Plomo	11300	35	130	∞
Titanio	4500	21.9	522	∞
Zinc	7200	110	380	∞

$U = 3.33 \text{ W/m}^2\text{K} > 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- o Suelo planta primera pasarela suroeste

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Interior	-	-	0.17	
Pavimento gres	0.012	2.30	0.004	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Motero regularización	0.03	0.8	0.0375	
Forjado reticular	0.3	-	0.15	
Exterior	-	-	0.04	
TOTAL			0.43	2.32

3.14 Cerámicos

Productos cerámicos				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	Λ W/m·K	C_p J / kg·K	μ
Azulejo cerámico	2300	1,30	840	∞
Bloque cerámico de arcilla aligerada	910	0,28	1000	10
Bovedilla o casetón cerámico	500	0,67	1000	10
Ladrillo hueco LH	770	0,32	1000	10
Ladrillo hueco gran formato GF	650	0,29	1000	10
Ladrillo perforado LP	780	0,35	1000	10
Ladrillo macizo LM	2300	0,85	1000	10
Plaqueta o baldosa cerámica	2000	1,00	800	30
Plaqueta o baldosa de gres	2500	2,30	1000	30
Tablero cerámico	650	0,29	1000	10
Teja de arcilla cocida	2000	1,00	800	30
Teja cerámica-porcelana	2300	1,30	840	30
Gres				
Gres cuarzoso	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	30
Gres(sílice)	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	30
Gres calcáreo	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,90	1000	20

3.18.2 Forjados reticulares

Forjados reticulares									
Descripción			HE				HR ⁽⁷⁾		
	Forjado con	canto mm	m ⁽¹⁾ kg/m ²	ρ ⁽¹⁾ kg/m ³	R ⁽²⁾ m ² ·K/W	c _p J/kg·K	μ	R _A dBA	R _{Ab} dBA
Piezas de entrevigado cerámicas	250	319	1277	0,15	1000	10	53	48	76
	300	365	1215	0,18	1000	10	55	50	74
	350	409	1169	0,20	1000	10	57	52	72
Piezas de entrevigado de hormigón	250	335	1338	0,13	1000	10	54	49	76
	300	385	1285	0,15	1000	10	56	51	73
	350	433	1238	0,18	1000	10	58	53	72
	400	483	1208	0,20	1000	10	59	54	70
	450	533	1185	0,22	1000	10	61	56	69
Piezas de entrevigado de hormigón de áridos ligeros ⁽³⁾⁽⁴⁾	250	323 (310)	1292 (1238)	0,14	1000	6	53 (52)	48 (48)	76 (77)
	300	369 (355)	1231 (1185)	0,16	1000	6	55 (55)	50 (50)	74 (75)
	350	417 (398)	1192 (1138)	0,19	1000	6	57 (56)	52 (51)	72 (73)
	400	465 (446)	1162 (1115)	0,21	1000	6	59 (58)	54 (53)	71 (72)
	450	516 (492)	1146 (1082)	0,23	1000	6	61 (60)	56 (55)	69 (70)
	Piezas de entrevigado de EPS mecanizadas enrasadas ⁽⁶⁾	250	320	1280	0,21	1000	60	53	51
300		339	1131	0,23	1000	60	54	52	79
350		382	1092	0,27	1000	60	56	54	77
400		428	1069	0,30	1000	60	58	56	75
450		471	1046	0,34	1000	60	59	57	74

$U = 2.32 \text{ W/m}^2\text{K} > 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

4.2 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE PUENTES TÉRMICOS

- Pilar

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Hormigón armado	0.50	2.30	0.217	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			0.387	2.58

$U = 2.58 \text{ W/m}^2\text{K}$

o Puerta acceso

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Puerta de acero	0.08	17	0.005	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			0.175	5.71

3.2 Metales

Material	Metales			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Acero	7800	50	450	∞
Acero Inoxidable	7900	17	460	∞
Aluminio	2700	230	880	∞
Aluminio, aleaciones de	2800	160	880	∞
Bronce	8700	65	380	∞
Cobre	8900	380	380	∞
Cromo	7160	93,7	449	∞
Estaño	7310	66,6	227	∞
Hierro	7870	72	450	∞
Hierro, fundición	7500	50	450	∞
Latón	8400	120	380	∞
Níquel	8900	90,7	444	∞
Plomo	11300	35	130	∞
Titanio	4500	21,9	522	∞
Zinc	7200	110	380	∞

U= 5.71 W/m²K

o Puerta de madera

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Puerta de madera	0.04	0.24	0.166	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			0.336	2.98

3.3.2. Paneles de madera

Paneles de madera				
Producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Tablero contrachapado, paneles de madera sólida (SWP) y maderas chapadas laminares (LVL) ⁽¹⁾	750 < ρ ≤ 900	0,24	1800	110
	600 < ρ ≤ 750	0,21	1800	110
	500 < ρ ≤ 600	0,17	1800	90
	450 < ρ ≤ 500	0,15	1800	70
	350 < ρ ≤ 450	0,13	1800	70
	250 < ρ ≤ 350	0,11	1800	50
	ρ ≤ 250	0,09	1800	50
Tablero de partículas	640 < ρ ≤ 820	0,18	1700	20
	450 < ρ ≤ 640	0,15	1700	20
	270 < ρ ≤ 450	0,13	1700	20
	180 < ρ ≤ 270	0,10	1700	20
Tablero de partículas con cemento	≤ 1200	0,23	1500	30
Tableros de fibras, incluyendo MDF ⁽²⁾	750 < ρ ≤ 1000	0,20	1700	20
	550 < ρ ≤ 750	0,18	1700	20
	350 < ρ ≤ 550	0,14	1700	12
	200 < ρ ≤ 350	0,10	1700	6
	ρ ≤ 200	0,07	1700	2
Paneles de fibras con conglomerante hidráulico	450 < ρ ≤ 550	0,15	1700	12
	350 < ρ ≤ 450	0,12	1700	5
	250 < ρ ≤ 350	0,10	1700	5
Tablero de virutas orientadas (OSB)	ρ ≤ 650	0,13	1700	30

$$U = 2.98 \text{ W/m}^2\text{K}$$

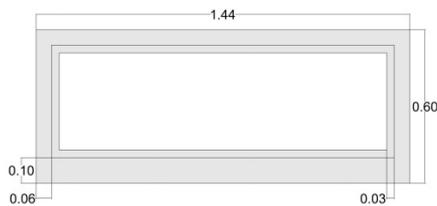
4.3 CÁLCULO DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS DE HUECOS

Todas las ventanas cuentan con un retranqueo de 0.20m que actúa como dintel. Se trata de una ventana sencilla con marco metálico sin rotura de puente térmico ni capialzado, con un vidrio monolítico "44,1a" en posición vertical, dicho vidrio está formado por dos hojas de 4 mm unidas por un butiral. Las ventanas que iluminan las aulas de proyectos presentan un retranqueo de 0.75m con las mismas características de vidrio y marco. En el lucernario se utiliza un vidrio monolítico "66,1a" también en posición vertical.

TIPO	ESPESOR (mm)	TRANSMITANCIA (W/m ² K)	
		según posición	
		horizontal	vertical
Monolíticos	"33,1"	6,8	5,6
	"33,1a"	6,8	5,6
	"4"	6,9	5,7
	"44,1a"	6,7	5,6
	"55,1a"	6,6	5,5
	"6"	6,8	5,7
	"66,1a"	6,5	5,4

MARCOS					
MATERIAL	TIPO	ANCHURA (m) (W/m ² K)	TRANSMITANCIA		ABSORTIVIDAD
			vertical	horizontal	
PVC	dos cámaras	0,1	2,2	2,4	0,7
	tres cámaras		1,8	1,9	
Madera	madera de densidad media alta		2,2	2,4	
	madera de densidad media baja		2	2,1	
Metálicos	normal sin rotura de puente térmico		5,7	7,2	
	con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm		4	4,5	
	con rotura de puente térmico mayor de 12 mm		3,2	3,5	

o Ventana 1



Superficie total	1.44x0.60m = 0.864 m ²	100%
Superficie vidrio	1.26x0.38m = 0.478 m ²	55.3%
Superficie marco	0.864 - 0.478m = 0.385 m ²	44.7%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 44.7\% = 0.447$$

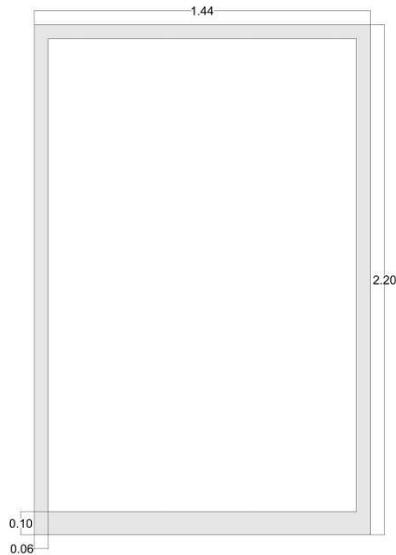
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.447) \times 5.6 + 0.447 \times 5.7 = 5.64 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

o Ventana 2



Superficie total	1.44x2.20m = 3.168 m ²	100%
Superficie vidrio	1.32x2.04m = 2.70 m ²	85.2%
Superficie marco	3.168 – 2.70m = 0.468 m ²	14.8%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 14.8\% = 0.148$$

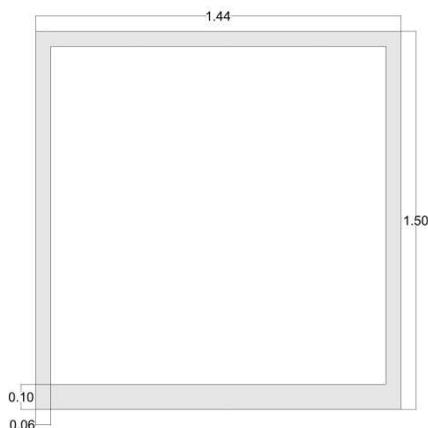
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.148) \times 5.6 + 0.148 \times 5.7 = 5.61 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

o Ventana 3



Superficie total	1.44x1.50m = 2.16 m ²	100%
Superficie vidrio	1.32x1.34m = 1.77 m ²	81.9%
Superficie marco	2.16 – 1.77m = 0.39 m ²	18.1%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 18.1\% = 0.181$$

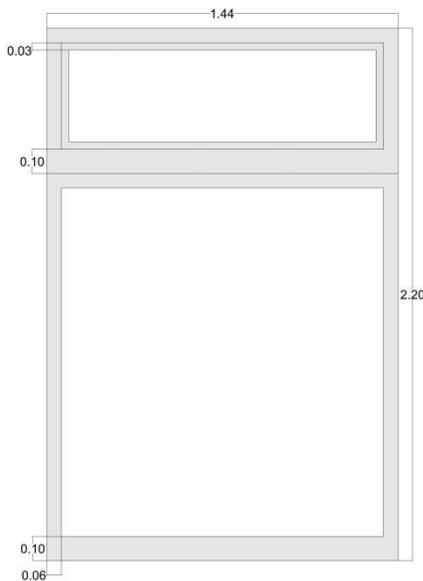
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.181) \times 5.6 + 0.181 \times 5.7 = 5.62 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

o Ventana 4



Superficie total	$1.44 \times 2.20 \text{ m} = 3.168 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$1.26 \times 0.38 + 1.32 \times 1.44 = 2.38 \text{ m}^2$	75.1%
Superficie marco	$3.168 - 2.38 \text{ m} = 0.79 \text{ m}^2$	24.9%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 24.9\% = 0.249$$

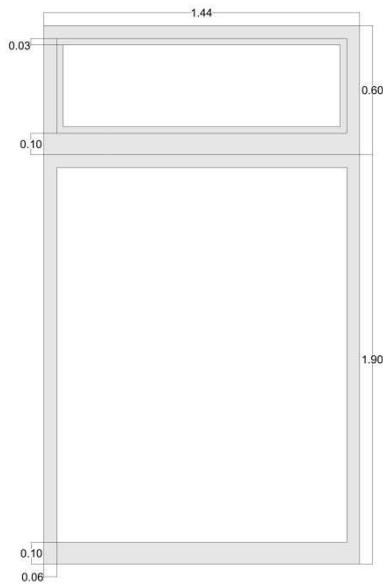
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.249) \times 5.6 + 0.249 \times 5.7 = 5.62 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Observamos que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

o Ventana 5



Superficie total	1.44x2.5m = 3.6 m ²	100%
Superficie vidrio	1.26x0.38+ 1.32x1.74 = 2.77 m ²	77%
Superficie marco	3.6 – 2.77m = 0.83 m ²	23%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 23\% = 0.23$$

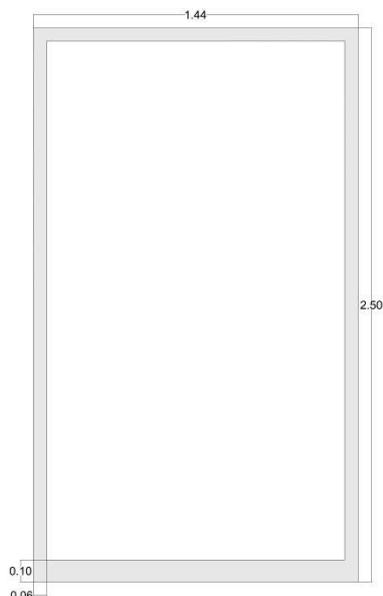
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.23) \times 5.6 + 0.23 \times 5.7 = 5.62 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1.

o Ventana 6



Superficie total	1.44x2.5m = 3.6 m ²	100%
Superficie vidrio	1.32x2.34 = 3.1 m ²	86.1%
Superficie marco	3.6 – 3.1m = 0.5 m ²	13.8%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 13.8\% = 0.138$$

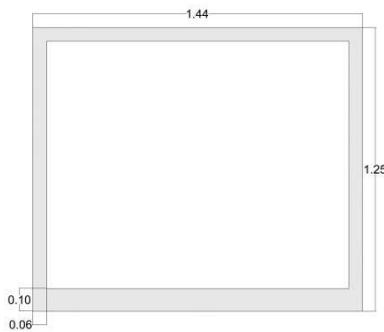
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.138) \times 5.6 + 0.138 \times 5.7 = 5.61 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 7



Superficie total	$1.44 \times 1.25 \text{ m} = 1.8 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$1.32 \times 1.09 = 1.44 \text{ m}^2$	80%
Superficie marco	$1.8 - 1.44 \text{ m} = 0.36 \text{ m}^2$	20%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 20\% = 0.2$$

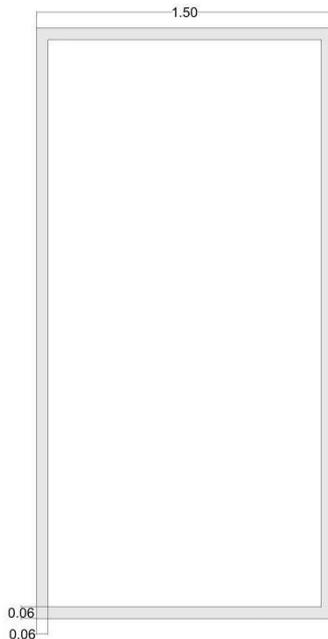
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.2) \times 5.6 + 0.2 \times 5.7 = 5.62 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 8



Superficie total	$1.5 \times 3.0 \text{ m} = 4.5 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$1.38 \times 2.88 = 3.97 \text{ m}^2$	88.2%
Superficie marco	$4.5 - 3.97 \text{ m} = 0.53 \text{ m}^2$	11.7%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 11.7\% = 0.117$$

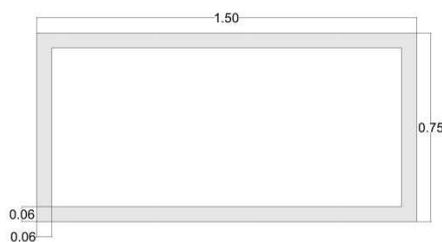
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.117) \times 5.6 + 0.117 \times 5.7 = 5.61 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 9



Superficie total	$1.5 \times 0.75 \text{ m} = 1.125 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$1.38 \times 0.63 = 0.87 \text{ m}^2$	77.3%
Superficie marco	$1.125 - 0.87 \text{ m} = 0.255 \text{ m}^2$	22.7%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 22.7\% = 0.227$$

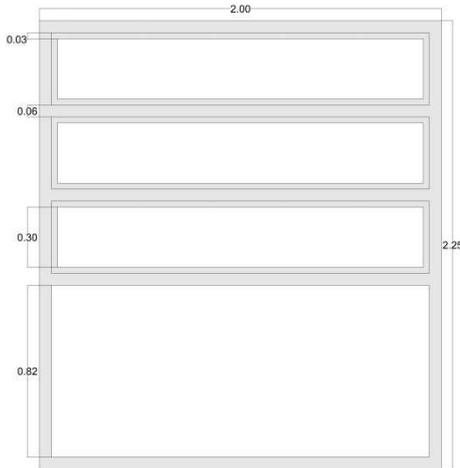
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "44,1a"} = 5.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.227) \times 5.6 + 0.227 \times 5.7 = 5.62 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Lucernario



Superficie total	$2.0 \times 2.25 \text{ m} = 4.5 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$3(1.82 \times 0.30) + 1.88 \times 0.86 = 3.25 \text{ m}^2$	72.2%
Superficie marco	$4.5 - 3.25 \text{ m} = 1.25 \text{ m}^2$	27.8%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 27.8\% = 0.278$$

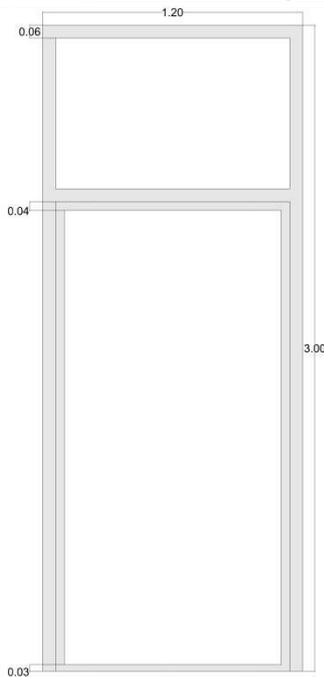
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "66,1a"} = 5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.278) \times 5.4 + 0.278 \times 5.7 = 5.48 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Puerta de emergencia



Superficie total	$1.2 \times 3 \text{ m} = 3.6 \text{ m}^2$	100%
Superficie vidrio	$1.08 \times 0.70 + 1 \times 2.11 = 2.86 \text{ m}^2$	79.4%
Superficie marco	$3.6 - 2.86 \text{ m} = 0.74 \text{ m}^2$	20.6%

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 20.6\% = 0.206$$

$$U_{hv} = U \text{ del vidrio monolítico "66,1a"} = 5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico sin rotura de puente térmico} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.206) \times 5.4 + 0.206 \times 5.7 = 5.46 \text{ W/m}^2\text{K} > 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **NO CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

5. MEJORAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO DE LA ENVOLVENTE

De los datos obtenidos se observa que las características, tanto del cerramiento como de los huecos, no cumplen con las exigencias del CTE, por ello se proponen una serie de mejoras que permitan su cumplimiento y su mayor eficiencia energética. Se estudia cada parte de la envolvente y se opta por la medida más eficaz y bioclimática teniendo en cuenta los datos de la Tabla E.1 del DB-HE1 de 2013.

Zona climática	Cubiertas		Fachadas				Suelos	
	plana e inclinada		Puentes térmicos tratados		Puentes térmicos sin tratar		2006	2013
	2006	2013	2006	2013	2006	2013		
α	4 a 6	4 a 6	2 a 4	2 a 4	2 a 4	2 a 4	4 a 6	4 a 6
A	4 a 6	5 a 7	2 a 4	4 a 6	2 a 4	6 a 8	4 a 6	5 a 7
B	5 a 7	7 a 11	2 a 4	6 a 9	3 a 5	9 a 12	4 a 6	5 a 8
C	6 a 8	11 a 16	2 a 4	8 a 12	4 a 6	13 a 17	4 a 6	7 a 11
D	6 a 8	11 a 17	3 a 5	9 a 13	6 a 8	16 a 21	4 a 6	8 a 11
E	7 a 9	13 a 20	4 a 6	10 a 15	8 a 10	16 a 21	5 a 7	8 a 13

NOTA: Rango de espesores para productos con $\lambda = \{0.028 - 0.042\}$ W/mK

5.1 MODIFICACIÓN DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS TRANSMITANCIAS MÁXIMAS

- Muro de cerramiento exterior de planta baja

La solución propuesta para que el cerramiento de planta baja cumpla con el CTE consiste en colocar una plancha de aislamiento de Lana mineral de 6cm de espesor, cumpliendo así el espesor recomendable según la tabla E.1 del DB-HE1 DE 2013. Este se colocará al interior ya que al ser un edificio de uso docente esta solución es más bioclimática.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Hormigón armado	0.2	2.30	0.086	
Lana mineral (MW)	0.06	0.031	1.90	
Cámara de aire sin ventilar	0.02	-	0.17	
Placa de yeso laminado	0.015	0.25	0.06	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			2.38	0.42

3.8.1 Aislantes térmicos

Aislantes térmicos				
Material o producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Poliestireno Expandido (EPS)	-	0,039 ⁽¹⁾ – 0,029	-	20 - 100
Poliestireno Expandido Elastificado (EEPS)	-	0,046 – 0,029	-	
Poliestireno Extruido (XPS)				
Expandido con dióxido de carbono CO ₂	-	0,039 - 0,033	-	100 - 220
Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	-	0,039 - 0,029	-	100 - 220
Lana mineral (MW)	-	0,050 - 0,031	-	1
Espuma rígida de Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)				
Proyección con Hidrofluorcarbono HFC	30 - 60	0,028	-	60 - 150
Proyección con dióxido de carbono CO ₂ celda cerrada	40 - 60	0,035 - 0,032	-	100 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento permeable a los gases.	-	0,030 - 0,027	-	60 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento impermeable a los gases.	-	0,025 - 0,024	-	∞
Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO ₂	15 - 20	0,040	-	≤ 20
Otros materiales aislantes)				
Corcho expandido (ICB) ⁽²⁾				
Arcilla Expandida ⁽³⁾	325 - 750	0,148 – 0,095	-	1
Panel de perlita expandida (EPB) (>80%)	140 - 240	0,062	-	5
Panel de vidrio celular (CG)	100 - 150	0,050	-	∞
Guata o fieltro de poliéster	20 y 50	0,038 – 0,033	-	
Espuma de polietileno reticular	-	0,072 – 0,038	-	
Espuma de polietileno no reticulado	-	0,042 – 0,035	-	

⁽¹⁾ Valor recomendado. Existen tipos de poliestireno expandido con una conductividad de hasta 0,046 W/mK

⁽²⁾ Vease el apartado 3.3 Maderas

⁽³⁾ Las características de la arcilla expandida corresponden únicamente al árido suelto

U= 0.42 W/m²K < 1 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Muro de cerramiento exterior de planta tercera

Al igual que con el cerramiento de la planta baja se opta por la colocación de una plancha de aislamiento de Lana mineral de 6cm de espesor, cumpliendo así el espesor recomendable según la tabla E.1 del DB-HE1 DE 2013. Éste se coloca al interior puesto que se trata de un edificio de uso público y no de uso residencial y todas las ganancias que quedarían absorbidas durante el día en el cerramiento, en el caso de colocar el aislamiento al exterior, no serían aprovechadas por los usuarios durante la noche. Por otro lado, para garantizar el cumplimiento de las condensaciones intersticiales se coloca un aislamiento de 3cm de espesor al exterior.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	$R = e / \Lambda$ (m ² K/W)	$U = 1/R$ (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Aplacado de piedra	0.04	1.40	0.028	
Mortero de agarre	0.03	0.80	0.0375	
Lana mineral (MW)	0.03	0.031	0.97	
Ladrillo hueco ½ pie	0.12	0.32	0.375	
Lana mineral (MW)	0.06	0.031	1.90	
Placas de corcho	0.02	0.065	0.30	
Placa de yeso laminado	0.015	0.25	0.06	
Interior	-	-	0.13	
TOTAL			3.84	0.26

$U = 0.26 \text{ W/m}^2\text{K} < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Solera

En el caso de la solera, pese a no cumplir con las exigencias del CTE, no se modifica debido a lo costoso de la intervención. Ya que es necesario el levantamiento de todo el pavimento y con las mejoras en los cerramientos y huecos, las pérdidas a través de la solera serían menos notorias. Pese a ello, en caso de modificarse, se plantea la siguiente solución.

Para la mejora de la solera de la zona a estudiar se coloca una banda de aislamiento perimétrico horizontal **D**, así como un aislamiento térmico de Lana mineral (MW) en toda su superficie cuya resistencia **R_a** dependerá de su espesor (e) y de su transmitancia térmica (Λ). Según el CTE, al tratarse de una solera en contacto directo con el terreno, su transmitancia debe cumplir el CTE HE1 sólo para el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno.

$B' = 1$

$D = 1 \text{ m}$

$R_a = 0.05/0.031 = 1.60 \text{ m}^2\text{K/W}$

Tabla E.3 Transmitancia térmica U_s en W/m^2K

B'	R_s	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R_s ($m^2 K/W$)					R_s ($m^2 K/W$)					R_s ($m^2 K/W$)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

El valor de la transmitancia para la condición del primer metro se obtiene de la columna E.3 por interpolación lineal.

$$U = 0.77 \text{ W/m}^2\text{K} < 1 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

Se comprueba si cumple la segunda condición, la condición de suelo, para ello se calcula el valor de B' , la longitud característica.

$$B' = A / (0.50 \cdot P) \text{ siendo } A = 1386.4 \text{ m}^2 \text{ y } P = 150.02 \text{ m}$$

$$B' = 1386.4 / (0.50 \cdot 150.02) = 18.5$$

En la tabla se observa que dicha transmitancia no supera la máxima establecida por el CTE.

$$U = 0.245 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.65 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

○ Cubierta plana no transitable

Para la mejora del acondicionamiento de la cubierta del edificio se opta por añadir al actual aislamiento de Poliestireno expandido de 4cm un aislamiento de Lana mineral de 7cm que cumple con el espesor recomendable según la tabla E.1 del DB-HE1 para 2013, se opta por añadir Lana mineral y no aumentar el actual Poliestireno expandido ya que el primero presenta unas mejores condiciones aislantes y a su vez es más respetuosa con el medio ambiente, puesto que está producida mediante basalto siendo por ello un producto 100% reciclable.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Gravas	0.04	2	0.02	
Geotextil	0.003	0.22	0.014	
Lana mineral (MW)	0.07	0.031	2.26	
Geotextil	0.003	0.22	0.014	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Poliestireno expandido	0.04	0.039	1.02	
Hormigón pendientes	0.05	1.15	0.04	
Hormigón	0.13	2.30	0.056	
Perfil Haircol 59	0.001	17	-	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Interior	-	-	0.10	
TOTAL			3.59	0.28

3.9.1 Plásticos

Material o producto	Plásticos			
	ρ kg / m ³	Λ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Acrílicos	1050	0,20	1500	10000
Cloruro de polivinilideno (PVDC)				
Cloruro de polivinilo (PVC)	1390	0,17	900	50000
Fenol formaldehído (PF) (Baquelina)				
Linóleo	1200	0,17	1400	800
Poliacetato	1410	0,30	1400	100000
Poliamida (nylon) (PA)	1150	0,25	1600	50000
Poliamida 6.6 (PA6.6) 25%fibra vidrio	1450	0,30	1600	50000
Policarbonatos (PC)	1200	0,20	1200	5000
Poliestireno (PS)	1050	0,16	1300	100000
Polietileno alta densidad (HDPE)	980	0,50	1800	100000
Polietileno baja densidad (LDPE)	920	0,33	2200	100000
Polimetilmetacrilato (PMMA)	1180	0,18	1500	50000
Polipropileno (PP)	910	0,22	1800	10000
Polipropileno 25%fibra vidrio	1200	0,25	1800	10000
Politetrafluoretileno (PTFE)	2200	0,25	1000	10000
Poliuretano (PU)	1200	0,25	1800	6000
Resina epoxi	1200	0,20	1400	10000
Resina fenolica	1300	0,30	1700	100000
Resina poliéster no saturado (UP)	1400	0,19	1200	10000

U= 0.28 W/m²K < 0.65 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- Cubierta planta primera aulas de proyectos y pasarela suroeste

Para hacer cumplir la transmitancia establecida en el CTE de esta parte de la envolvente se vuelve a optar por la colocación de Lana mineral de 7cm para cumplir con las limitaciones de 2013, ésta se emplea en suelos y cubiertas por el interior mediante revestimientos, en este caso, de placas de aluminio que conforman el falso techo.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Exterior	-	-	0.04	
Pavimento de piedra	0.04	1.30	0.03	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Hormigón	0.13	2.30	0.056	
Perfil Haircol 59	0.001	17	-	
Lana mineral (MW)	0.07	0.031	2.25	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Interior	-	-	0.10	
TOTAL			2.5	0.39

U= 0.39 W/m²K < 0.65 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

- Suelo planta tercera pasarela aulas de proyectos

La opción elegida para mejorar bioclimáticamente la cubierta de la pasarela de las aulas de proyectos consiste en la colocación de Lana mineral de 5cm de espesor hacia el interior del paramento debido a su condición de edificio terciario, por lo que no resulta rentable colocar dicho aislante a exterior puesto que la energía almacenada durante el día en la cara interior del paramento no sería aprovechada durante la noche debido a la ausencia de ocupantes en el edificio.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	R= e / Λ (m ² K/W)	U= 1/R (W/m ² K)
Interior	-	-	0.17	
Tablero Schauman	0.021	0.24	0.087	
Lana mineral (MW)	0.05	0.031	1.61	
Perfil HEB 120	0.12	50	0.0024	
Falso techo de aluminio	0.003	230	-	
Exterior	-	-	0.04	
TOTAL			1.91	0.52

U= 0.52 W/m²K < 0.65 W/m²K para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Suelo planta primera pasarela suroeste

Se opta por colocar un aislamiento térmico de Lana mineral de 5cm para cumplir con el mínimo espesor de aislamiento requerido según las limitaciones de 2013 para suelos. Con esta medida el conjunto del paramento cumple el CTE.

Material	e (m)	Λ (W/mK)	$R = e / \Lambda$ (m ² K/W)	$U = 1/R$ (W/m ² K)
Interior	-	-	0.17	
Pavimento gres	0.012	2.30	0.004	
Lámina impermeable	0.007	0.23	0.03	
Motero regularización	0.03	0.8	0.0375	
Lana mineral (MW)	0.05	0.031	1.61	
Forjado reticular	0.3	-	0.15	
Exterior	-	-	0.04	
TOTAL			2.04	0.49

$U = 0.49 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$ para zona climática B

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 1



Para el cumplimiento del CTE se decide cambiar el tipo de acristalamiento por uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm. Se trata de una ventana abatible.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 44.7\% = 0.447$$

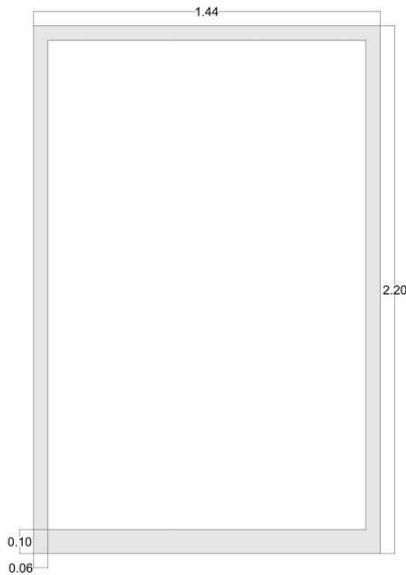
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.447) \times 2 + 0.447 \times 4 = 2.89 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 2



El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 14.8\% = 0.148$$

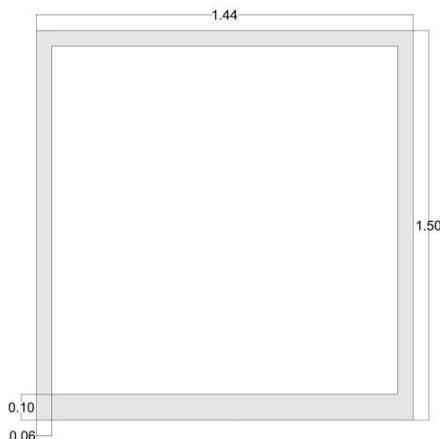
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.148) \times 2 + 0.148 \times 4 = 2.3 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 3



Es una ventana fija. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" se encuentra en posición vertical. También se opta por cambiar el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 18.1\% = 0.181$$

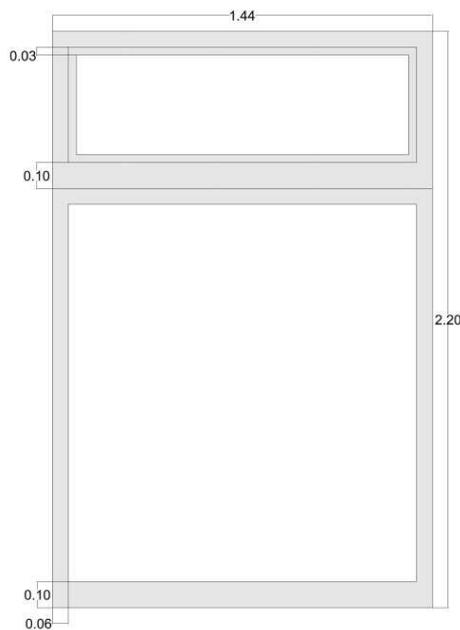
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.181) \times 2 + 0.181 \times 4 = 2.36 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 4



Ventana abatible de una hoja en la parte superior y fija en la parte inferior. El tipo de acristalamiento elegido es doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 24.9\% = 0.249$$

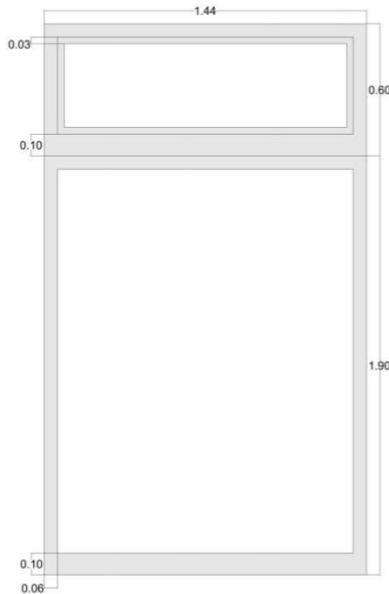
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.249) \times 2 + 0.249 \times 4 = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 5



Ventana abatible de una hoja en la parte superior y fija en la parte inferior. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 23\% = 0.23$$

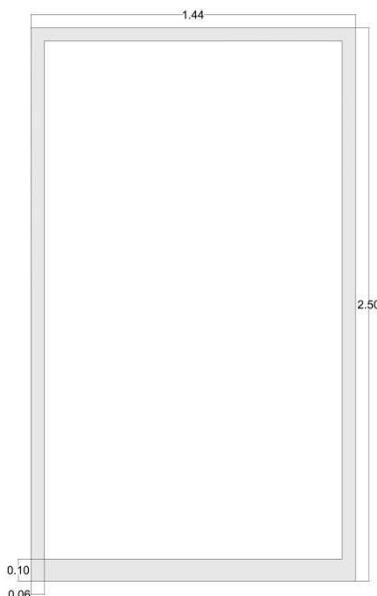
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.23) \times 2 + 0.23 \times 4 = 2.46 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

Observamos que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 6



Se trata de una ventana fija de una sola hoja. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 13.8\% = 0.138$$

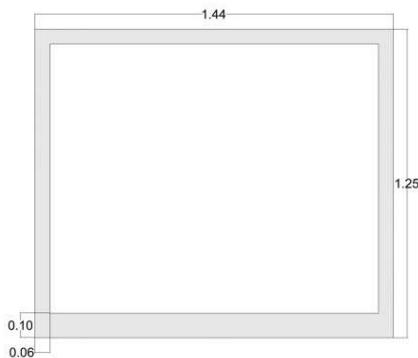
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.138) \times 2 + 0.138 \times 4 = 2.28 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 7



Se trata de una ventana fija de una sola hoja. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 20\% = 0.2$$

$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.2) \times 2 + 0.2 \times 4 = 2.4 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE

o Ventana 8



Se trata de una ventana fija de una sola hoja. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 11.7\% = 0.117$$

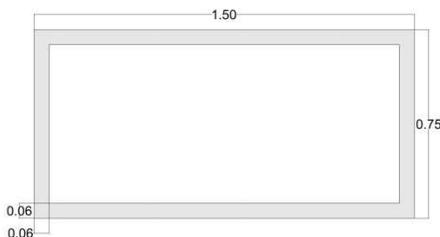
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.117) \times 2 + 0.117 \times 4 = 2.23 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Ventana 9



Se trata de una ventana fija de una sola hoja. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 22.7\% = 0.227$$

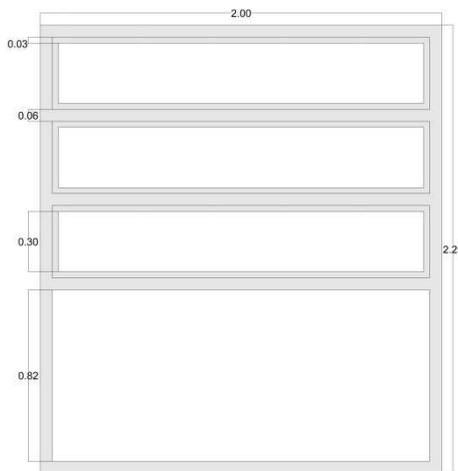
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.227) \times 2 + 0.227 \times 4 = 2.45 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

Se observa que la transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Lucernario



El lucernario está formado por tres hojas abatibles en la parte superior y una fija en la inferior. El tipo de acristalamiento elegido es uno doble de baja emisividad "0.03-0.1" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 27.8\% = 0.278$$

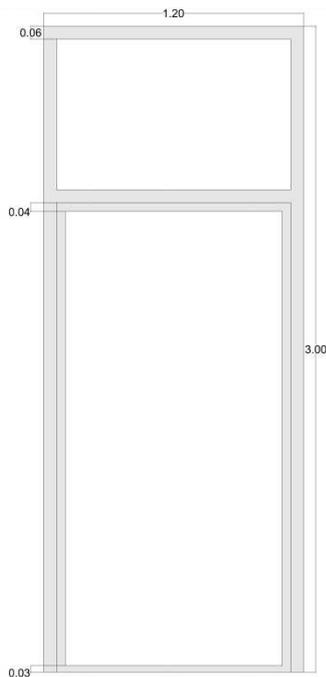
$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico mayor de 12 mm} = 3.2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.278) \times 1.8 + 0.278 \times 3.2 = 2.18 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K para zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

o Puerta de emergencia



La puerta de emergencia situada en la fachada Noreste está formada por una parte fija en la parte superior y una abatible que permite el acceso en la inferior. El acristalamiento es doble de baja emisividad "0.1-0.2" sabiendo que se encuentra en posición vertical. También se cambia el marco de la ventana por uno metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm.

$$U_{h1} = (1-FM) \times U_{hv} + FM \times U_{hm}$$

$$FM = 20.6\% = 0.206$$

$$U_{hv} = U \text{ del vidrio doble de baja emisividad "4- 12 -4"} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{hm} = U \text{ del marco metálico con rotura de puente térmico} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{h1} = (1-0.206) \times 2 + 0.206 \times 4 = 2.41 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.2 \text{ W/m}^2\text{K zona climática B}$$

La transmitancia térmica U **CUMPLE** con el punto 2.3 del CTE HE1

5.2 CÁLCULO DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS TRANSMITANCIAS MEDIAS

Una vez garantizado el cumplimiento de las transmitancia máximas para cada elemento que forma parte de la envolvente del edificio, los puentes térmicos y los huecos, se debe asegurar el cumplimiento de las transmitancias medias de cada fachada teniendo en cuenta su orientación.

Se debe calcular la transmitancia media del muro de fachada (U_{Mm}), la transmitancia media de huecos (U_{Hm}) y el Factor solar de huecos (F_{Hm}) para el posterior cálculo de la transmitancia media de fachada; así como la transmitancia media del suelo (U_{Sm}) y la transmitancia media de la cubierta (U_{Cm}).

D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,30$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

5.2.1 Fachada Orientación Suroeste ($\alpha = 199^\circ$)

Las dimensiones que se deben considerar son la totalidad de la fachada que abre a la calle, los huecos de las ventanas tipo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 y los puentes térmicos debidos a los pilares en fachada. No se calculan los puentes térmicos en el contorno de los huecos ya que dintel, alféizar y jambas se consideran contruidos igual al muro perimetral, no se disponen refuerzos adicionales.

- Superficie bruta total de la fachada $S_F = (42 \times 13,65 \text{ m}) + (6 \times 5,8 + 6 \times 3,5 \text{ m}) = 629,1 \text{ m}^2$

- Superficie de huecos acristalados $S_H = 170,42 \text{ m}^2$

Hueco 1: 5 uds $\times 0,864 \text{ m}^2 = 4,32 \text{ m}^2$

Hueco 2: 12 uds $\times 3,168 \text{ m}^2 = 38,016 \text{ m}^2$

Hueco 3: 3 uds $\times 2,16 \text{ m}^2 = 6,48 \text{ m}^2$

Hueco 4: 6 uds $\times 3,168 \text{ m}^2 = 19,008 \text{ m}^2$

Hueco 5: 2 uds $\times 3,6 \text{ m}^2 = 7,2 \text{ m}^2$

Hueco 6: 2 uds $\times 3,6 \text{ m}^2 = 7,2 \text{ m}^2$

Hueco 7: 4 uds $\times 1,8 \text{ m}^2 = 7,2 \text{ m}^2$

Hueco 8: 18 uds $\times 4,5 \text{ m}^2 = 81 \text{ m}^2$

- Superficie de puentes térmicos = $32,95 \text{ m}^2$

Pilares: 7 uds $\times 6,9 \times 0,5 \text{ m}^2 + 2 \text{ uds} \times 8,8 \times 0,5 = 32,95 \text{ m}^2$

- Superficie neta de muro o fachada ciega: $629,1 - 170,42 - 32,95 = 425,73 \text{ m}^2$

- Porcentaje de superficie de huecos en fachada (S_H/S_F): $170,42/629,1 = 0,27$
 m^2 es decir del **27%**

- Transmitancia media del muro de fachada (U_{Mm})

$$U_{Mm} = \Sigma A_m \times U_m + \Sigma A_{pf} \times U_{pf} / \Sigma A_m + \Sigma A_{pf} = (257.73 \times 0.42 + 168 \times 0.26) + (32.95 \times 2.58) / (425.73 + 32.95) = \mathbf{0.51 \text{ W/m}^2\text{K}} < 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del muro de cerramiento U_{Mm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

- Transmitancia media de huecos (U_{Hm})

$$U_{Hm} = \Sigma A_h \times U_h / \Sigma A_h = (4.32 \times 2.89 + 38.016 \times 2.3 + 6.48 \times 2.36 + 19.008 \times 2.5 + 7.2 \times 2.46 + 7.2 \times 2.28 + 7.2 \times 2.4 + 81 \times 2.23) / (170.42) = \mathbf{2.31 \text{ W/m}^2\text{K}} < 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del hueco U_{Hm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3 teniendo en cuenta el % de huecos 27% y la orientación Suroeste.

- Factor solar de huecos (F_{Hm})

No es necesario el cálculo del factor solar modificado de huecos para un porcentaje de huecos de 27% en una fachada orientada a Suroeste, ni para baja ni para alta carga interna, según la tabla D.2.7 para la zona climática B3 del CTE.

5.2.2 Fachada Orientación Oeste ($\alpha = 289^\circ$)

Las dimensiones que se deben considerar son la totalidad de la fachada que abre a la calle, los huecos de las ventanas tipo 2, 3, 4, 8, 9 y los puentes térmicos debidos a los pilares en fachada. No se calculan los puentes térmicos en el contorno de los huecos ya que dintel, alféizar y jambas se consideran contruidos igual al muro perimetral, no se disponen refuerzos adicionales.

- Superficie bruta total de la fachada $S_F = (33 \times 14.03\text{m}) = \mathbf{462.9 \text{ m}^2}$

- Superficie de huecos acristalados $S_H = \mathbf{165.07 \text{ m}^2}$

$$\text{Hueco 2: } 4 \text{ uds} \times 3.168\text{m}^2 = 12.672 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 3: } 4 \text{ uds} \times 2.16\text{m}^2 = 8.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 4: } 12 \text{ uds} \times 3.168\text{m}^2 = 38.016 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 8: } 18 \text{ uds} \times 4.5\text{m}^2 = 81 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 9: } 22 \text{ uds} \times 1.125\text{m}^2 = 24.75 \text{ m}^2$$

- Superficie de puentes térmicos = $\mathbf{35.2 \text{ m}^2}$

Pilares: 8 uds x 8.8x0.5= 35.2 m²

- Superficie neta de muro o fachada ciega: **462.9 – 165.07 - 35.2 = 262.63 m²**

- Porcentaje de superficie de huecos en fachada (S_H/S_F): **165.07/462.9 = 0.35 m²** es decir del **35%**

- Transmitancia media del muro de fachada (U_{Mm})

$$U_{Mm} = \Sigma Am \times Um + \Sigma Apf \times Upf / \Sigma Am + \Sigma Apf = (145.47 \times 0.42 + 66.16 \times 0.26) + (35.2 \times 2.58) / (253.63 + 35.2) = \mathbf{0.58 \text{ W/m}^2\text{K}} < 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del muro de cerramiento U_{Mm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

- Transmitancia media de huecos (U_{Hm})

$$U_{Hm} = \Sigma Ah \times Uh / \Sigma Ah = (12.675 \times 2.3 + 8.64 \times 2.36 + 38.016 \times 2.5 + 81 \times 2.23 + 24.75 \times 2.45) / (174.07) = \mathbf{2.2 \text{ W/m}^2\text{K}} < 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del hueco U_{Hm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3 teniendo en cuenta el % de huecos 37% y la orientación Oeste.

- Factor solar de huecos (F_{Hm})

Es necesario el cálculo del factor solar modificado de huecos para un porcentaje de huecos de 35% en una fachada orientada a Oeste, para ello se calcula el F_H de cada hueco y posteriormente el factor solar modificado medio (F_{Hm}).

$$F_{H2} = Fs [(1- FM) \times g + FM \times 0.04 \times Um \times \alpha] = 0.87 [(1- 0.148) \times 0.71 + 0.148 \times 0.04 \times 4 \times 0.40] = \mathbf{0.53}$$

Fs = 0.87 debido a las dimensiones de hueco y el retranqueo de 0.20m

FM = 0.148

g = 0.71 al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo I

Um = 4 W/m²K al ser un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm

α = 0.40 por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

$$F_{H3} = Fs [(1- FM) \times g + FM \times 0.04 \times Um \times \alpha] = 0.82 [(1- 0.181) \times 0.71 + 0.181 \times 0.04 \times 4 \times 0.40] = \mathbf{0.48}$$

$F_s = 0.82$ debido a las dimensiones de hueco y el retranqueo de 0.20m
 $FM = 0.181$
 $g = 0.71$ al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo I
 $U_m = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ al ser un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm
 $\alpha = 0.40$ por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

$$F_{H4} = F_s [(1- FM) \times g + FM \times 0.04 \times U_m \times \alpha] = 0.87 [(1- 0.249) \times 0.71 + 0.249 \times 0.04 \times 4 \times 0.40] = \mathbf{0.47}$$

$F_s = 0.87$ debido a las dimensiones de hueco y el retranqueo de 0.20m
 $FM = 0.249$
 $g = 0.71$ al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo I
 $U_m = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ al ser un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm
 $\alpha = 0.40$ por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

$$F_{H8} = F_s [(1- FM) \times g + FM \times 0.04 \times U_m \times \alpha] = 0.28 [(1- 0.117) \times 0.71 + 0.117 \times 0.04 \times 4 \times 0.40] = \mathbf{0.18}$$

$F_s = 0.28$ debido a las dimensiones de hueco y el voladizo de 6m
 $FM = 0.117$
 $g = 0.71$ al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo I
 $U_m = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ al ser un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm
 $\alpha = 0.40$ por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

$$F_{H9} = F_s [(1- FM) \times g + FM \times 0.04 \times U_m \times \alpha] = 0.58 [(1- 0.227) \times 0.71 + 0.227 \times 0.04 \times 4 \times 0.40] = \mathbf{0.33}$$

$F_s = 0.58$ debido a la protección mediante las lamas verticales inclinadas -30°
 $FM = 0.227$
 $g = 0.71$ al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo I
 $U_m = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ al ser un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm
 $\alpha = 0.40$ por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

El cálculo del factor solar modificado medio de los lucernarios se obtiene contabilizando el total de área ocupada por lucernarios, mediante la siguiente expresión.

$$F_{Lm} = \Sigma Ah \times F_h / \Sigma Ah = (12.675 \times 0.53 + 8.64 \times 0.48 + 38.016 \times 0.47 + 81 \times 0.18 + 24.75 \times 0.33) / (174.07) = \mathbf{0.29} < 0.45$$

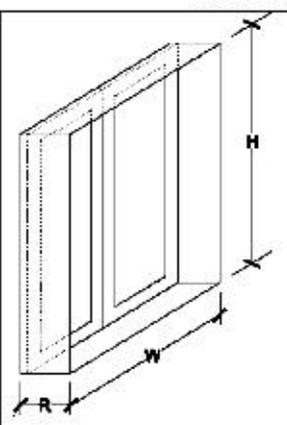
Este valor es inferior a la limitación del punto 2.2 del CTE de 0.45 por lo que **CUMPLE** con las exigencias.

Tipo Vidrio	Factor Solar g
Vidrio simple claro	0,88
Vidrio doble claro	0,76
Vidrio doble claro bajo emisivo I	0,71
Vidrio doble claro bajo emisivo II	0,61

Tabla "Absortividad del marco para radiación solar α "

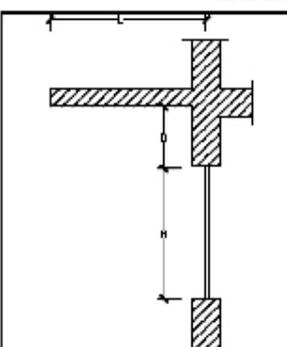
Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	---
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	---
Negro	---	0,96	---

Tabla E.12: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo



ORIENTACIONES DE FACHADAS		$0,05 < R/W \leq 0,1$				$0,1 < R/W \leq 0,2$				$0,2 < R/W \leq 0,5$				$R/W > 0,5$			
		$0,05 < R/H \leq 0,1$				$0,1 < R/H \leq 0,2$				$0,2 < R/H \leq 0,5$				$R/H > 0,5$			
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82				0,74				0,62				0,39			
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76				0,67				0,56				0,35			
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56				0,51				0,39				0,27			
	$R/H > 0,5$	0,35				0,32				0,27				0,17			
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86				0,81				0,72				0,51			
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79				0,74				0,66				0,47			
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59				0,56				0,47				0,36			
	$R/H > 0,5$	0,38				0,36				0,32				0,23			
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91				0,87				0,81				0,65			
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86				0,82				0,76				0,61			
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71				0,68				0,61				0,51			
	$R/H > 0,5$	0,53				0,51				0,48				0,39			

Tabla E.11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

ORIENTACIONES DE FACHADAS		$0,2 < L/H \leq 0,5$				$0,5 < L/H \leq 1$				$1 < L/H \leq 2$				$L/H > 2$			
		S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82				0,50				0,28				0,16	
$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87				0,64				0,39				0,22				
$D/H > 0,5$	0,93				0,82				0,60				0,39				
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90				0,71				0,43				0,16			
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94				0,82				0,60				0,27			
	$D/H > 0,5$	0,98				0,93				0,84				0,65			
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92				0,77				0,55				0,22			
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96				0,88				0,70				0,43			
	$D/H > 0,5$	0,99				0,96				0,89				0,75			

LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (α)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS: Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1.
 El ángulo α debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

5.2.3 Fachada Orientación Norte ($\alpha = 19^\circ$)

Para la fachada orientada a Norte se debe contabilizar la totalidad de la fachada que abre a la calle, los huecos de las ventanas tipo 1, 2, 3, 4, 7, 8 y los puentes térmicos debidos a los pilares en fachada. No se calculan los puentes térmicos en el contorno de los huecos ya que dintel, alféizar y jambas se consideran construidos igual al muro perimetral, no se disponen refuerzos adicionales.

- Superficie bruta total de la fachada $S_F = (42 \times 13.65\text{m}) - (6 \times 7.15) = 530.4 \text{ m}^2$

- Superficie de huecos acristalados $S_H = 143.21 \text{ m}^2$

$$\text{Hueco 1: } 5 \text{ uds} \times 0.864\text{m}^2 = 4.32 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 2: } 10 \text{ uds} \times 3.168\text{m}^2 = 31.68 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 3: } 4 \text{ uds} \times 2.16\text{m}^2 = 8.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 4: } 1 \text{ uds} \times 3.168\text{m}^2 = 3.168 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 7: } 8 \text{ uds} \times 1.8\text{m}^2 = 14.4 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 8: } 18 \text{ uds} \times 4.5\text{m}^2 = 81 \text{ m}^2$$

- Superficie de puentes térmicos = **21.75 m²**

$$\text{Pilares: } 5 \text{ uds} \times 6.9 \times 0.5 + 3 \text{ uds} \times 3 \times 0.5 = 21.75 \text{ m}^2$$

- Superficie neta de muro o fachada ciega: **530.4 - 143.21 - 21.75 = 365.44 m²**

- Porcentaje de superficie de huecos en fachada (S_H/S_F): **143.21/530.4 = 0.27 m²** es decir del **27%**

- Transmitancia media del muro de fachada (U_{Mm})

$$U_{Mm} = \frac{\sum A_m \times U_m + \sum A_{pf} \times U_{pf}}{\sum A_m + \sum A_{pf}} = \frac{(218.44 \times 0.42 + 147 \times 0.26) + (21.75 \times 2.58)}{(365.44 + 21.75)} = \mathbf{0.48 \text{ W/m}^2\text{K}} < 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del muro de cerramiento U_{Mm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

- Transmitancia media de huecos (U_{Hm})

$$U_{Hm} = \frac{\sum A_h \times U_h}{\sum A_h} = \frac{(4.32 \times 2.89 + 31.68 \times 2.3 + 8.64 \times 2.36 + 3.168 \times 2.5 + 14.4 \times 2.4 + 81 \times 2.23)}{(143.21)} = \mathbf{2.29 \text{ W/m}^2\text{K}} < 3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del hueco U_{Hm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3 teniendo en cuenta el % de huecos 27% y la orientación Norte.

- Factor solar de huecos (F_{Hm})

No se requiere el cálculo del factor solar modificado de huecos para un porcentaje de huecos de 27% en una fachada orientada a Norte, ni para baja ni para alta carga interna, ya que no existe limitación según la tabla D.2.7 para la zona climática B3 del CTE.

5.2.4 Fachada Orientación Este ($\alpha = 109^\circ$)

Se debe tener en cuenta toda la fachada que abre a la calle, los huecos de las ventanas tipo 2, 7, 9, la puerta de emergencia y los puentes térmicos debidos a los pilares en fachada. No se calculan los puentes térmicos en el contorno de los huecos ya que dintel, alféizar y jambas se consideran contruidos igual al muro perimetral, no se disponen refuerzos adicionales.

- Superficie bruta total de la fachada $S_F = (33 \times 13.65\text{m}) = \mathbf{450.45 \text{ m}^2}$

- Superficie de huecos acristalados $S_H = \mathbf{65.358 \text{ m}^2}$

$$\text{Hueco 2: } 6 \text{ uds} \times 3.168\text{m}^2 = 19.008 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 7: } 20 \text{ uds} \times 1.8\text{m}^2 = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{Hueco 9: } 6 \text{ uds} \times 1.125\text{m}^2 = 6.75 \text{ m}^2$$

$$\text{Puerta de emergencia: } 1 \text{ uds} \times 3.6\text{m}^2 = 3.6 \text{ m}^2$$

- Superficie de puentes térmicos = $\mathbf{35.2 \text{ m}^2}$

$$\text{Pilares: } 8 \text{ uds} \times 8.8 \times 0.5 = 35.2 \text{ m}^2$$

- Superficie neta de muro o fachada ciega: $\mathbf{450.45 - 65.358 - 35.2 = 349.89 \text{ m}^2}$

- Porcentaje de superficie de huecos en fachada (S_H/S_F): $65.358/450.45 = 0.14$
 m^2 es decir del **14%**

- Transmitancia media del muro de fachada (U_{Mm})

$$U_{Mm} = \frac{\sum A_m \times U_m + \sum A_{pf} \times U_{pf}}{\sum A_m + \sum A_{pf}} = \frac{(196.59 \times 0.42 + 153.3 \times 0.26) + (35.2 \times 2.58)}{(349.89 + 35.2)} = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del muro de cerramiento U_{Mm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

- Transmitancia media de huecos (U_{Hm})

$$U_{Hm} = \frac{\sum A_h \times U_h}{\sum A_h} = \frac{(19.008 \times 2.3 + 36 \times 2.4 + 6.75 \times 2.45 + 3.6 \times 2.41)}{(65.358)} = 2.37 \text{ W/m}^2\text{K} < 4.9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del hueco U_{Hm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3 teniendo en cuenta el % de huecos 14% y la orientación Este.

- Factor solar de huecos (F_{Hm})

El cálculo del factor solar modificado de huecos para un porcentaje de huecos de 14% en una fachada orientada a Este, no es necesario ni para baja ni para alta carga interna, según la tabla D.2.7 para la zona climática B3 del CTE.

5.2.5 Transmitancia media del suelo (U_{Sm})

Para el cálculo de la transmitancia media del suelo se contabiliza el área de suelo en contacto con el exterior, en este caso el suelo de planta primera en la orientación Noroeste que sirve de cubierta a la pasarela situada en dicha orientación y en suelo de planta tercera que cubre la pasarela de la zona de proyectos orientada a Suroeste y a Norte.

$$U_{Sm} = \frac{\sum A_s \times U_s}{\sum A_s} = \frac{(2(6 \times 33 \times 0.49) + 2(0.75 \times 36 \times 0.52))}{(450)} = 0.49 \text{ W/m}^2\text{K} < 0.52 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del suelo U_{Sm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

5.2.6 Transmitancia media de la cubierta (U_{cm})

En el cálculo de la transmitancia media de la cubierta se tiene en cuenta la superficie de la cubierta del edificio, así como la parte de cubierta que cubre la pasarela Oeste y la parte que cubre las zonas de proyectos de la orientación Norte y Suroeste. Además también se tendrán en cuenta los lucernarios del edificio 2B a estudiar.

$$U_{sm} = \Sigma Ac \times U_c + \Sigma Apc \times U_{pc} + \Sigma AL \times UL / \Sigma Ac + \Sigma Apc + \Sigma AL = (6 \times 33 \times 0.39 + 2(0.75 \times 36 \times 0.39) + 1357 \times 0.28 + 22 \times 4.5 \times 2.18) / (252 + 1357 + 99) = \mathbf{0.40} \text{ W/m}^2\text{K} < 0.45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La transmitancia térmica media del suelo U_{sm} **CUMPLE** con el punto 2.2 del CTE, con la tabla D.2.7 para zona climática B3

5.2.7 Factor solar modificado de lucernarios (F_{Lm})

Para el cálculo del factor solar modificado medio de lucernarios primero se debe calcular el factor solar de un solo lucernario mediante la siguiente expresión.

$$F_L = F_s [(1 - FM) \times g + FM \times 0.04 \times U_m \times \alpha] = 1 [(1 - 0.278) \times 0.61 + 0.278 \times 0.04 \times 3.2 \times 0.40] = \mathbf{0.45}$$

$F_s = 1$ ya que no existe ningún tipo de protección solar en dicho hueco

$FM = 0.278$

$g = 0.61$ al ser el vidrio elegido uno doble claro bajo emisivo II

$U_m = 3.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ al ser un marco metálico con rotura de puente térmico mayor de 12 mm

$\alpha = 0.40$ por ser este valor la absorptividad de un marco de color gris claro

El cálculo del factor solar modificado medio de los lucernarios se obtiene contabilizando el total de área ocupada por lucernarios, mediante la siguiente expresión.

$$F_{Lm} = \Sigma Ah \times F_h / \Sigma Ah = (22 \times 4.5) \times 0.45 / (22 \times 4.5) = \mathbf{0.45} > 0.30$$

Este valor es superior a la limitación del punto 2.2 del CTE de 0.30 por lo que **NO CUMPLE** con las exigencias del Código Técnico. Para garantizar su cumplimiento se propone el diseño de un elemento de protección solar que permitirá la disminución del factor solar modificado y por lo tanto el cumplimiento de la norma.

Tipo Vidrio	Factor Solar g
Vidrio simple claro	0,88
Vidrio doble claro	0,76
Vidrio doble claro bajo emisivo I	0,71
Vidrio doble claro bajo emisivo II	0,61

Tabla "Absortividad del marco para radiación solar α "

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	---
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	---
Negro	---	0,96	---

6. CÁLCULO DE CONDENSACIONES

Cuando la temperatura de la superficie interior de un cerramiento es menor que la temperatura de rocío del aire ambiente interior existe el riesgo de que se produzcan condensaciones. Dicho riesgo depende de la temperatura exterior, la transmitancia U del cerramiento y de la temperatura superficial interior de los cerramientos T_{si} , así como de la temperatura interior y HR interior. Las condensaciones superficiales provocan la formación de **mohos** en la superficie interior, por este motivo en las superficies interiores de los cerramientos que puedan absorber agua, la humedad relativa media mensual sobre dichas superficies debe ser **inferior a 80%**. Por otro lado las condensaciones intersticiales no deben mermar las **prestaciones térmicas** ni presentar un riesgo de degradación o pérdida de durabilidad.

Se analizarán las condensaciones superficiales e intersticiales y su cumplimiento con la norma de cada paramento en contacto con el aire exterior una vez aplicadas las mejoras bioclimáticas. Para ello se deben establecer unas condiciones interiores y exteriores determinadas según la localización del edificio.

○ Condiciones exteriores

- Temperatura exterior $T_{ext} = 10.4^{\circ}\text{C}$ según el Apéndice G del CTE DB HE1 para el mes de enero.

- Humedad relativa exterior $HR = 63\%$ según el Apéndice G del CTE DB HE1 para el mes de enero.

- Presión de saturación $P_{sat} = 610.5 \times e^{[(17.269 \times 10.4) / (237.3 + 10.4)]} = 1260.59 \text{ Pa}$

- Presión parcial de vapor $P_{we} = Hr \times P_{sat} = 0.63 \times 1260.59 = 794.17 \text{ Pa}$

○ Condiciones interiores

- Temperatura interiores $T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$ se dispone esa temperatura para el mes de enero como cálculo aproximado.

- Humedad relativa interior $HR = 55\%$ por tratarse de un ambiente de clase de higrometría 3

- Presión de saturación $P_{sat} = 610.5 \times e^{[(17.269 \times 20) / (237.3 + 20)]} = 2336.95 \text{ Pa}$

- Presión parcial de vapor $P_{wi} = Hr \times P_{sat} = 0.55 \times 2336.95 = 1285.32 \text{ Pa}$

6.1 CONDENSACIONES SUPERFICIALES

Para el cálculo de las condensaciones superficiales se determina la composición de cada paramento a estudiar. Se debe cumplir que el Factor de temperatura de la superficie interior del cerramiento sea mayor al Factor de temperatura de la superficie interior mínimo aceptable del cerramiento $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$$f_{Rsi} = 1 - U \times 0.25$$

$$f_{Rsi,min} = T_{si,min} - T_{ext} / 20 - T_{ext} = 14.08 - 10.4 / 20 - 10.4 = 0.38$$

$$T_{si,min} = [237.3 \times \ln(P_{sat} / 610.5)] / [17.269 - \ln(P_{sat} / 610.5)] = [237.3 \times \ln(1606.68/610.5)] / [17.269 - \ln(1606.68/610.5)] = 14.08^\circ\text{C}$$

$$P_{sat} = P_i / 0.8 = 1285.32 / 0.8 = 1606.68 \text{ Pa}$$
 presión de saturación máxima aceptable en la superficie

$$P_i = HR \times 2337 = 0.55 \times 2337 = 1285.32 \text{ Pa}$$
 presión de vapor interior

- Muro de cerramiento exterior de planta baja

$$f_{Rsi} = 1 - 0.42 \times 0.25 = 0.895 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Muro de cerramiento exterior de planta tercera

$$f_{Rsi} = 1 - 0.26 \times 0.25 = 0.935 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Solera

$$f_{Rsi} = 1 - 0.77 \times 0.25 = 0.807 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Cubierta plana no transitable

$$f_{Rsi} = 1 - 0.28 \times 0.25 = 0.93 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Cubierta planta primera aulas de proyectos y pasarela suroeste

$$f_{Rsi} = 1 - 0.39 \times 0.25 = 0.902 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Suelo planta tercera pasarela aulas proyectos

$$f_{Rsi} = 1 - 0.52 \times 0.25 = 0.870 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

- Suelo planta tercera pasarela suroeste

$$f_{Rsi} = 1 - 0.49 \times 0.25 = 0.887 > 0.38 \text{ NO existe condensación superficial}$$

6.2 CONDENSACIONES INTERSTICIALES

La determinación de la distribución de temperaturas a lo largo del espesor de un cerramiento formado por varias capas depende de las temperaturas del aire a ambos lados de la misma, a la vez que de las resistencias térmicas superficiales interior R_{si} y exterior R_{se} , y de las resistencias térmicas de cada capa ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$).

También es necesaria la determinación de la temperatura superficial exterior (T_{se}) y la temperatura en cada capa (T_n) que compone el cerramiento. Una vez calculadas las temperaturas es necesario conocer la presión de vapor de saturación exterior e interior (P_{we}, P_{wi}), a la vez que la correspondiente a cada una de las capas (P_n) y las presiones de saturación ($P_{sat,n}$). Para evitar las condensaciones intersticiales se debe garantizar que la $P_{sat,n} > P_n$

$$T_{se} = T_e + R_{se} / R_T \times (T_i - T_e)$$

$$T_n = T_{n-1} + R_n / R_T \times (T_i - T_e)$$

$$P_n = P_{n-1} + S_{n-1} / S_i \times (P_i - P_e)$$

$$S_n = \mu \times e$$

$$P_{sat} = 610.5 \times e^{[(17.269 \times T_n) / (237.3 + T_n)]}$$

- Muro de cerramiento exterior de planta baja

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Exterior	-	-	0.04	-	10.6	-	-
Hormigón armado	0.2	80	0.086	16	10.9	1281	1303.31
Lana mineral (MW)	0.06	1	1.90	0.06	18.5	1767.9	2136.60
Cámara aire sin ventilar	0.02	1	0.17	0.02	19.2	1769.7	2229.24
Placa de yeso laminado	0.015	4	0.06	0.06	19.5	1770.3	2262.78
Interior	-	-	0.13	-	20	-	-
TOTAL			2.38	16.14			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

- Muro de cerramiento exterior de planta tercera

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Exterior	-	-	0.04	-	10.5	-	-
Aplacado de piedra	0.04	40	0.028	1.60	10.6	1018.7	1277.53
Mortero de agarre	0.03	6	0.037	0.18	10.7	1243.2	1286.07
Lana mineral (MW)	0.03	1	0.97	0.03	13.1	1268.2	1506.77
Ladrillo hueco ½ pie	0.12	1	0.375	1.20	14.1	1272.4	1608.12

Autor: Rocío Ruiz Morales

Tutor: Juan Carlos Carrión Mondéjar

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia curso 2015/2016

Lana mineral (MW)	0.06	1	1.90	0.06	18.8	1439.4	2168.89
Placas de corcho	0.02	20	0.30	0.40	19.5	1447.7	2265.59
Placa de yeso laminado	0.015	4	0.06	0.06	19.6	1503.3	2279.71
Interior	-	-	0.13	-	20	-	2336.95
TOTAL			3.84	3.53			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

- o Cubierta plana no transitable

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Exterior	-	-	0.04	-	10.5	-	-
Gravas	0.04	50	0.02	2	10.6	796.8	1277.53
Geotextil	0.003	10000	0.014	30	10.6	799.1	1277.53
Lana mineral (MW)	0.07	1	2.26	0.07	16.6	833.7	1888.10
Geotextil	0.003	10000	0.014	30	16.6	833.8	1888.10
Lámina impermeable	0.007	50000	0.03	350	16.7	868.4	1900.14
Poliestireno expandido	0.04	20	1.02	0.8	19.4	1271.9	2251.55
Hormigón de pendientes	0.05	60	0.04	3	19.5	1276.2	2265.60
Hormigón	0.13	80	0.056	10.4	19.7	1279.6	2293.90
Perfil Haircol 59	0.001	∞	-	-	19.7	1291.6	2293.90
Falso techo de aluminio	0.003	∞	-	-	19.7	1291.6	2293.90
Interior	-	-	0.10	-	20	-	2336.95
TOTAL			3.59	426			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

- o Cubierta planta primera aulas de proyectos y pasarela suroeste

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Exterior	-	-	0.04	-	10.5	-	-
Pavimento de piedra	0.04	40	0.03	1.6	10.6	796.36	1277.53
Lámina impermeable	0.007	50000	0.03	350	10.7	798.5	1286.07
Hormigón	0.13	80	0.056	6.5	10.9	1278.4	1303.32
Perfil Haircol 59	0.001	∞	-	-	10.9	1287.3	1303.32
Lana mineral (MW)	0.07	1	2.25	0.07	19.5	1287.3	2265.60
Falso techo de aluminio	0.003	∞	-	-	19.5	1287.4	2265.60
Interior	-	-	0.10	-	20	-	2336.95
TOTAL			2.5	358			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

- Suelo planta tercera pasarela aulas de proyectos

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Interior	-	-	0.17	-	20	-	2336.95
Tablero Schauman	0.021	110	0.087	2.31	19.1	804.57	2209.90
Lana mineral (MW)	0.05	1	1.61	0.05	18.7	794.17	2155.38
Perfil HEB 120	0.12	∞	0.002	-	10.6	794.17	1277.53
Falso techo de aluminio	0.003	∞	-	-	10.6	794.17	1277.53
Exterior	-	-	0.04	-	10.6	-	-
TOTAL			1.91	2.36			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

- Suelo planta primera pasarela suroeste

Material	e (m)	μ	R	Sn (m)	Tn (°C)	Pn (Pa)	Psatn (Pa)
Interior	-	-	0.17	-	20	-	2336.95
Pavimento gres	0.012	30	0.004	0.36	19.1	1289	2209.90
Lámina impermeable	0.007	50000	0.03	350	19	802.9	2196.1
Motero regularización	0.03	6	0.037	0.18	18.9	802.5	2168.9
Lana mineral (MW)	0.05	1	1.61	0.05	18.8	794.17	1277.53
Forjado reticular	0.3	10	0.15	3	11.3	798.3	1338.4
Exterior	-	-	0.04	-	10.6	-	-
TOTAL			2.04	353			

$P_{sat,n} > P_n$ **NO** existen condensaciones intersticiales

7. DISEÑO DE PROTECCIÓN SOLAR

A pesar de que según la zona climática en la que está implantado el edificio a estudiar sólo existen limitaciones para la orientación **oeste** en el cálculo del factor solar modificado según el porcentaje de huecos y la orientación de estos en las diferentes fachadas, se opta por el análisis y cálculo de una protección solar para mejorar las condiciones bioclimáticas y reducir el consumo energético debido a la ausencia de protecciones en algunos huecos de las fachadas, sobre todo en la orientada a suroeste.

Se debe comenzar con el estudio de la orientación de la zona a analizar, ésta zona de la Escuela de Arquitectura se encuentra orientada a suroeste, teniendo en cuenta el clima mediterráneo y sus elevadas temperaturas en verano resulta imprescindible el empleo de algún tipo de **protección solar**.

Teniendo en cuenta este clima se diseña un protector solar que prevenga del 21 de marzo al 23 de septiembre y comenzando desde las 9 horas solares, 11 horas civiles a las 15 horas solares, 17 horas civiles.

Todos los huecos presentes en las fachadas se encuentran **retranqueados** 20cm con respecto al paramento exterior excepto los huecos abiertos en la planta de las aulas de proyectos que se retranquean 75cm, esta distancia se tendrá en cuenta en el cálculo de la nueva protección, se pueden instalar lamas horizontales o verticales, voladizos o toldos.

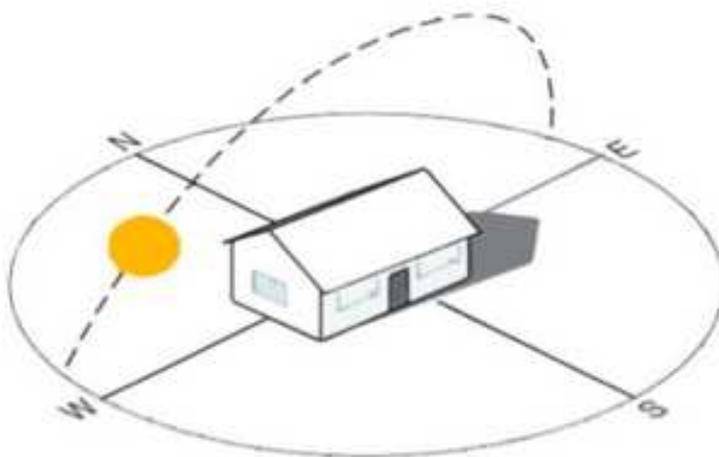


Figura 7.1 Trayectoria solar

En las fachadas orientadas a **norte** el diseño óptimo requiere preservar los huecos, ya que se trata de un edificio docente y es necesaria la iluminación; con el fin de evitar las pérdidas energéticas se mejoran las condiciones del marco, eligiendo uno

con rotura de puente térmico, así como del vidrio, colocando uno doble de baja emisividad de color transparente puesto que estas zonas que requieren una mayor demanda de calefacción en invierno. En la orientación **este** la radiación incidirá en las primeras horas de la mañana, es conveniente el diseño de algún tipo de elemento de sombra como **lamas verticales**, las lamas horizontales no son recomendables para este tipo de orientaciones ya que a ser el ángulo de inclinación del sol pequeño, éste se filtrará entre las lamas. Las fachadas orientadas a **sur** son las que mayor cantidad de luz natural reciben por lo que se deben diseñar las protecciones solares como voladizos o **aleros** con la longitud óptima pero no excesiva, ya que en verano el sol incide con un ángulo muy inclinado, mientras que en invierno cae más bajo y se debe garantizar la ganancia solar, En cuanto a la orientación **oeste**, la radiación incide en las últimas horas del día, al igual que en la fachada este, los huecos se dispondrán de tal forma que permitan la **ventilación cruzada** y en caso de protecciones solares se evitarán las lamas horizontales.

Se elige el voladizo como protección solar en la fachada suroeste, para su cálculo y diseño se analizarán los huecos de la fachada independientemente y posteriormente se elegirá el diseño que mejor se ajuste globalmente a ese paramento.

Para realizar el cálculo del voladizo mediante el método gráfico se emplea la **Carta Solar Estereográfica** de la provincia de Valencia. Teniendo en cuenta las condiciones expuestas anteriormente mediante las que se requiere protección desde el 21 de marzo al 23 de septiembre y comenzando desde las 9 horas solares a las 15 horas solares se obtienen los siguientes datos.

Altura Solar $\alpha = 33.14^\circ$

Acimut $\gamma = 57.45^\circ$

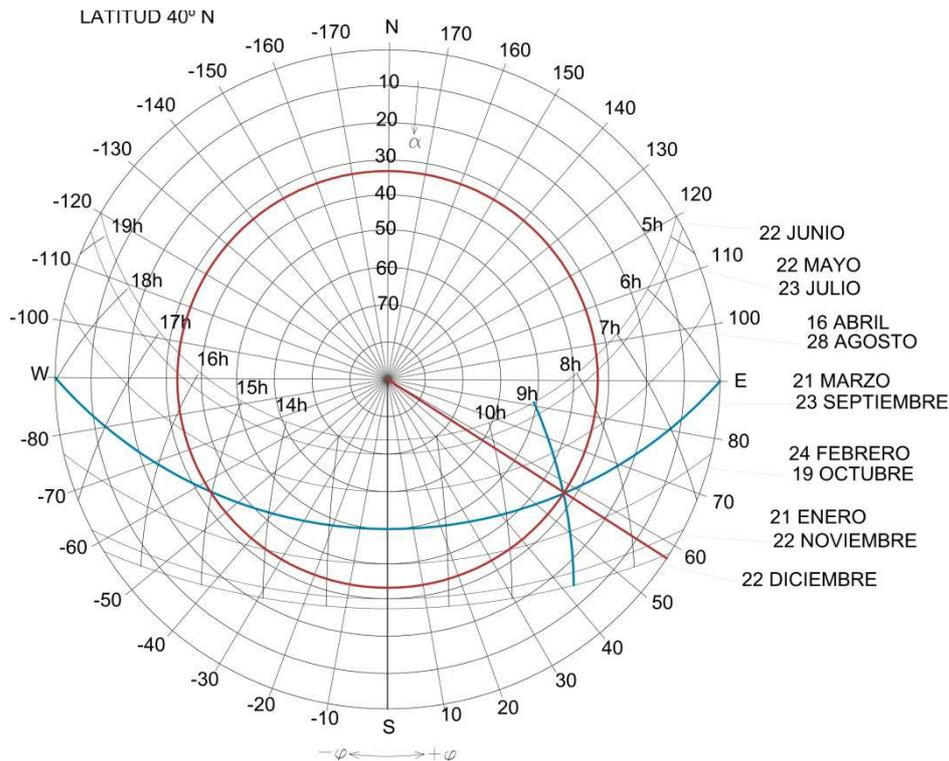
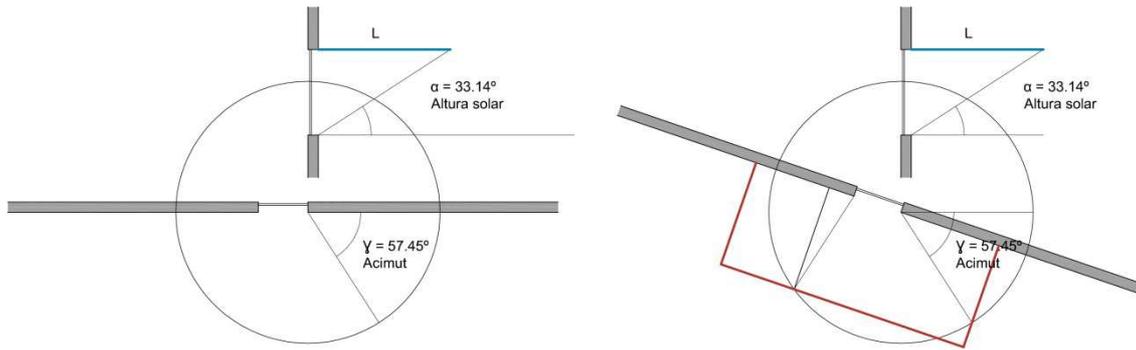


Figura 7.2 Carta solar Esterográfica

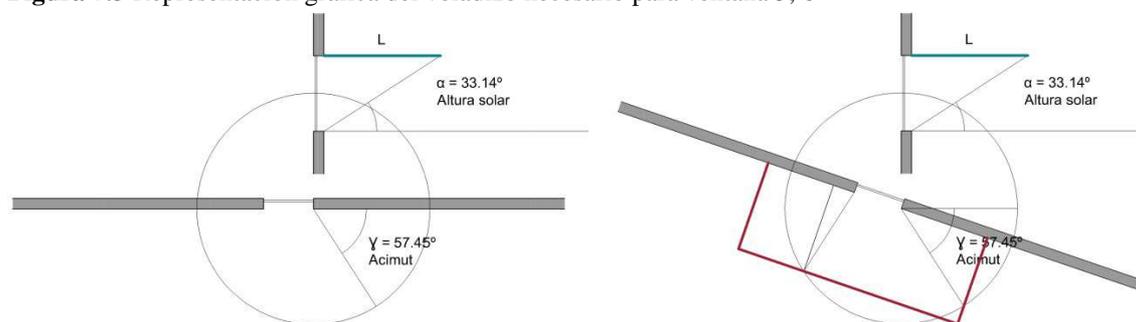
7.1 FACHADA ORIENTACIÓN SUROESTE ($\alpha = 199^\circ$)

Debido a la proximidad de las ventanas en la fachada Suroeste en planta baja, para el cálculo de las dimensiones de la protección solar se calcula la protección requerida para el más alto de los huecos y se diseñará un voladizo corrido que permita la entrada de sol en las estaciones deseadas para evitar dejar las ventanas de menor tamaño en constante sombra, en las ventanas de menos tamaño se colocarán menor cantidad de perfiles conformando el voladizo, lo que permitirá la entrada de luz. La longitud de vuelo necesaria para garantizar el confort higrotérmico es de **3.13m** en planta baja. En planta primera son necesarios dos voladizos, unos en cada extremo del paramento las ventanas e esta planta son de menor tamaño por lo que será necesario con un vuelo de **2.65m**. En la segunda planta ya existe un voladizo que protege la pared acristalada de 0.75m pero se necesita un voladizo mayor para garantizar el confort higrotérmico, el voladizo obtenido mediante el procedimiento gráfico es de 3.9m, pero al existir un retranqueo de 0.75m el vuelo sería de **3.15m**.



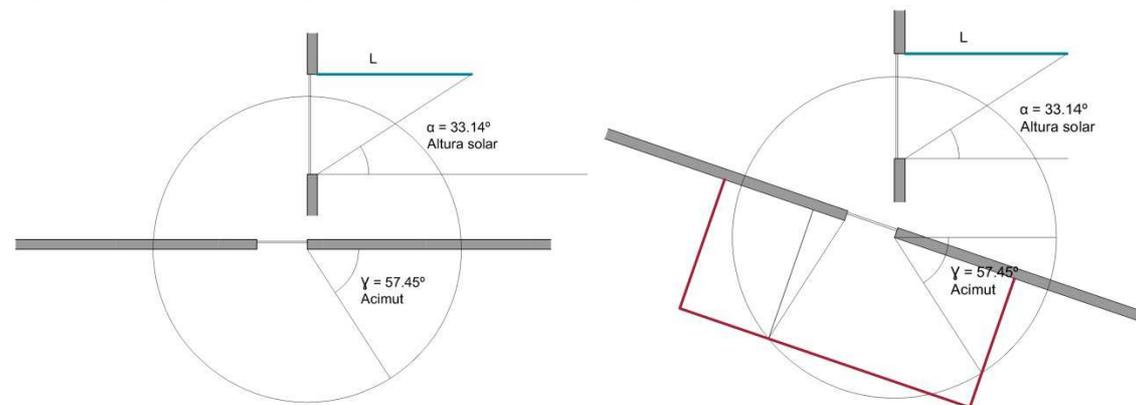
VENTANA 5, 6

Figura 7.3 Representación gráfica del voladizo necesario para ventana 5, 6



VENTANA 2, 4

Figura 7.4 Representación gráfica del voladizo necesario para ventana 2, 4



VENTANA 8

Figura 7.5 Representación gráfica del voladizo necesario para ventana 8

Para el diseño del voladizo se emplean perfiles tubulares rectangulares de **40x120 mm** colocados de forma longitudinal, se colocarán cada **0.38m** para garantizar la no entrada de rayos solares entre dichos perfiles. Estos se apoyarán en unos perfiles transversales en forma de T de sección variable, colocados cada **1.44m** y coincidiendo con la anchura de los huecos para

marcar la modulación. Estos perfiles transversales se ancharán al dintel de los huecos con una pletina metálica.

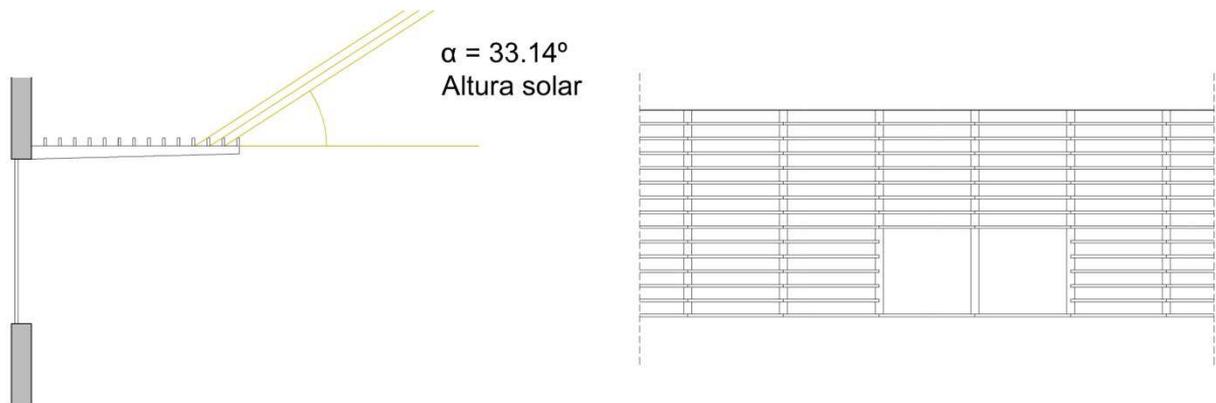


Figura 7.6 Sección y planta del voladizo diseñado

7.2 FACHADA ORIENTACIÓN OESTE ($\alpha = 289^\circ$)

En la fachada orientada a Oeste no se diseña voladizo para las ventanas de planta primera, tras comprobar la Carta Solar la protección más adecuada para esta orientación son lamas verticales. En planta baja y planta segunda existe un voladizo de **6m** y en planta tercera las ventanas se encuentran retranqueadas **0.30m** y protegidas mediante lamas verticales.

7.3 FACHADA ORIENTACIÓN NORTE ($\alpha = 19^\circ$)

En la fachada orientada a Norte no es necesaria la colocación de elementos de protección puesto que ésta siempre estará en sombra. Es recomendable instalar estores en el interior para proteger la pérdida de calor de interior al exterior en invierno.

7.4 FACHADA ORIENTACIÓN ESTE ($\alpha = 109^\circ$)

Para la orientación Este en planta baja es recomendable una protección solar formada por lamas verticales en todos los huecos, puesto que por la orientación un voladizo no sería la opción más económica y eficaz, a su vez, la luz procedente del Este no es tan perjudicial como para impedir toda su radiación.

8. CONCLUSIONES

Una vez estudiado el edificio 2B de la Escuela de Arquitectura de Valencia, analizadas las transmitancias máximas, se observa que las soluciones constructivas ejecutadas en la envolvente del edificio no son suficientes para el cumplimiento del CTE, por lo que se está produciendo un consumo excesivo de energía, tanto en las condiciones de verano como en las de invierno, que podría ser reducido adoptando medidas correctoras en la envolvente, alcanzando así el confort higrotérmico requerido por los usuarios de dicho espacio público con un menor consumo energético y acercando el comportamiento del edificio a un comportamiento bioclimático.

Para la mejora energética de los cerramientos y al tiempo cumplir con lo establecido en el DB-HE del CTE, se decide incrementar su resistencia térmica incorporando paneles aislantes (en nuestro caso concreto de lana mineral) de diferentes espesores dependiendo de la parte de la envolvente a mejorar (orientación de fachada o cubierta). Con esta intervención se incrementa en gran medida la eficiencia energética del edificio, al reducir considerablemente el consumo de energía y se verifica el cumplimiento de las transmitancias límite y las condensaciones superficiales e intersticiales contempladas en el DB. Para el mejor funcionamiento bioclimático de la envolvente, este aislamiento se coloca al interior por la condición de edificio docente, ya que si se colocase al exterior la energía almacenada durante las horas de día en la cara interior del paramento no sería aprovechada durante la noche por la ausencia de ocupantes en el edificio. Se decide emplear Lana mineral y no Poliestireno expandido por ser más respetuosa con el medio ambiente y por lo tanto, más eficiente. Otra opción de aislamiento térmico será el aislante de celulosa proyectada, lo que permitiría colocar el aislamiento sin la necesidad de quitar el revestimiento interior, se ha optado por Lana mineral en todo el análisis para su simplificación.

Para un mejor funcionamiento bioclimático se analizan los huecos y se toman las medidas más recomendables dependiendo de la orientación. Ni los vidrios existentes ni los marcos son suficientes para impedir la pérdida de calor en invierno o la ganancia no deseada en verano, lo que se traduce en un elevado consumo de calefacción y refrigeración. Es necesaria la mejora del vidrio, eligiendo un vidrio doble de baja emisividad 0.1-0.2 y un marco metálico con rotura de puente térmico entre 4 y 12mm, esto mejorará la eficiencia en la fachada Norte, al mismo tiempo, se colocará una protección por el interior, como estores, para disminuir dicho flujo de calor y regular las pérdidas en invierno. En cuanto a los huecos abiertos a Suroeste, necesitan de una protección solar que impida la incidencia del sol en verano y por lo tanto el sobrecalentamiento y el uso excesivo de los sistemas de refrigeración, la protección más apropiada es un voladizo. La problemática energética en esta fachada es tan grave, que requiere un tratamiento específico en el párrafo siguiente. En las fachadas Este y Oeste se colocarán lamas verticales que permitirán generar una ventilación cruzada al tiempo que protegen dichos huecos de la radiación horizontal incidente en estas orientaciones. Para la protección de los lucernarios verticales también se colocarán lamas verticales como elemento de protección.

En el edificio 2B, la fachada que tiene mayor número y superficie de huecos acristalados, es la fachada paralela a la Avda. de los Naranjos, fachada que tiene orientación sur suroeste, 19º al oeste desde el sur. Los huecos acristalados de las dependencias situadas en planta baja carecen de protección solar, por lo que se produce un gran calentamiento de las estancias que iluminan, durante los meses de abril a septiembre, lo que origina, a su vez, un consumo eléctrico desorbitado en el sistema de refrigeración. Para mejorar este aspecto del edificio se diseña y calcula una protección solar en forma de voladizo formada por unos perfiles metálicos colocados de forma paralela al cerramiento, que permitan el paso de rayos de sol en invierno, pero a su vez proteja el edificio de una radiación excesiva en verano. En los huecos de menor tamaño el número de perfiles será inferior manteniendo la anchura del hueco mayor que aporta unidad, creando así un voladizo eficiente y dinámico (un detalle constructivo de esta pérgola queda recogido en los planos de proyecto en la página 72 **Figura 7.6** Sección y planta del voladizo diseñado).

Todas estas medidas garantizan un edificio eficiente energética y bioclimáticamente con el que se conseguirá un ahorro de energía y en el que los usuarios alcanzarán el adecuado confort higrotérmico.

BIBLIOGRAFÍA

PUBLICACIONES

De Vicente, V. y Langa Sanchís, J. (2015). *Ahorro de Energía. Código Técnico de la Edificación DB HE0-HE1*. España: Inter Técnica Ediciones.

Pérez García, A. y Guardiola Villora, A. (2011). *Prontuario y herramientas informáticas para cálculo de estructuras*. España: Inter Técnica Ediciones.

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. (2010, marzo). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. España: Ministerio de vivienda.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente. (2015, febrero). [en línea]. España: Ministerio de Fomento. Disponible en: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-1-Calculo_de_parametros_caracteristicos.pdf [2016, 13 de julio].

DA DB-HE/2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos. (2013, octubre). [en línea]. España: Ministerio de Fomento. Disponible en: http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-2_-_Condensaciones.pdf [2016, 20 de julio].

Documento Básico HE Ahorro de energía. (2013, septiembre). [en línea]. España: Boletín Oficial del Estado. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf> [2016, 13 de julio].

Echeverría Vidal, B. *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. [en línea]. Proyecto Innova Chile Código 09CN14-5706. Disponible en: <http://www.citecubb.cl/web/noticias/84-manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edificios-publicos-y-manual-de-gestion-energetica-en-edificios-publicos> [2016, 05 de julio].

Fuentes Freixanet, V.A. *Arquitectura Bioclimática*. [en línea]. México: Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet> [2016, 15 de agosto].

Grupo Formadores Andalucía Plan de Formación del CTE-CSCAE. *Exigencia Básica HE-1 Limitación de la demanda energética*. [en línea]. Disponible en: http://www.coavn.org/coavn/cte/cursonavarra/03_db_he1_aplicacion_practica_unifamiliar.pdf [2016, 07 de agosto].

Martín-Consuegra, F. (2008). *Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios*. [en línea]. Proyecto RECONSOST, Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. Disponible en: <https://arquieficiencia.files.wordpress.com/2012/07/6-intro-al-disec3b1o-solar-pasivo.pdf> [2016, 10 de agosto].

MATERIAL DOCENTE

Carrión Modéjar, J.C. (2015). *Apuntes de clases de la asignatura Criterios bioclimáticos en el diseño arquitectónico*.

PÁGINAS WEB

OVACEN Portal de eficiencia y arquitectura sostenible. (2013, septiembre). *La forma de la arquitectura incentivada por el viento y sol*. [en línea]. Disponible en: <http://ovacen.com/forma-de-la-arquitectura-incentivada-por-la-eficiencia-energetica/> [2016, 20 de agosto].

OVACEN Portal de eficiencia y arquitectura sostenible. (2013, septiembre). *Arquitectura bioclimática y ecológica. Guía y manual didáctico de principios esenciales*. [en línea]. Disponible en: <http://ovacen.com/arquitectura-bioclimatica-principios-esenciales/> [2016, 20 de agosto].

OVACEN Portal de eficiencia y arquitectura sostenible. (2014, marzo). *Diseño bioclimático en las fachadas de las viviendas*. [en línea]. Disponible en: <http://ovacen.com/disenio-bioclimatico-fachadas-viviendas/> [2016, 20 de agosto].