

CALTER Ingeniería S.L.

Fachada Lignum Tech –
Valdebebas (Madrid)

Informe de cálculo higrotérmico

Contenido

1	Introducción	3
2	Condiciones de contorno	6
3	Transmitancia térmica.....	7
3.1	Secciones AA, CC y DD.....	8
3.2	Sección BB (centro del panel con aislamiento)	12
3.3	Módulo de fachada.....	13
4	Condensaciones	14
4.1	Sección vertical	14
5	Inercia térmica	17
6	Anexo 1.....	18

1 Introducción

El presente documento realiza el análisis higrotérmico del prototipo de fachada “Lignum Tech” para un edificio de viviendas situado en Valdebebas (Madrid).

La presente memoria de cálculo se divide en los siguientes puntos:

- Cálculo de la transmitancia térmica del sistema de fachada
- Cálculo del riesgo de condensación
- Justificación de la inercia térmica según UNE EN ISO 13786

Se ha utilizado el programa THERM 7.7 para analizar la transferencia de calor bidimensional a través de la fachada. Los valores U y la temperatura mínima de la superficie interna se han obtenido con el mismo software.

Las siguientes figuras muestran las secciones analizadas:

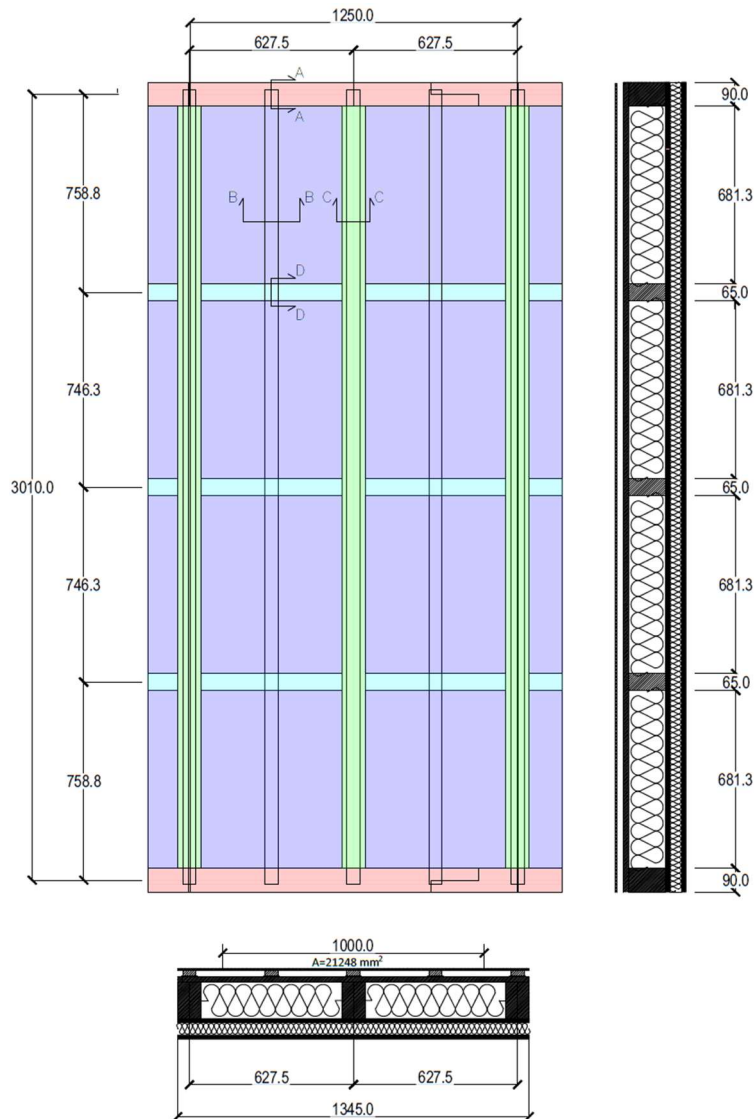


Figura 1 Vista frontal, sección horizontal y sección vertical del módulo de fachada

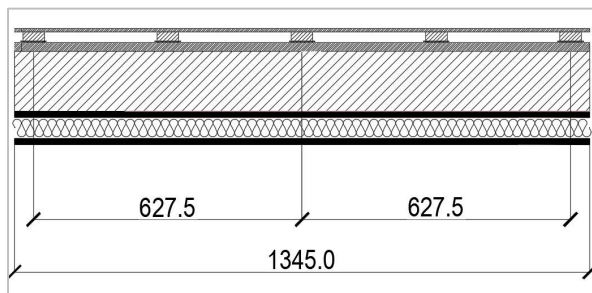


Figura 2 Secciones AA, CC y DD

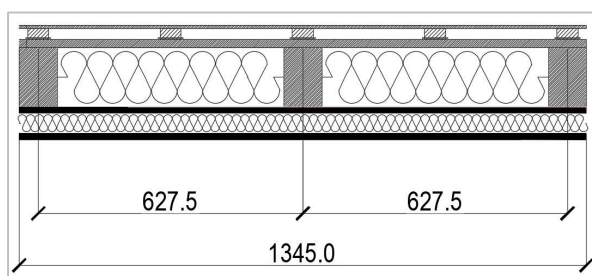


Figura 3 Sección BB

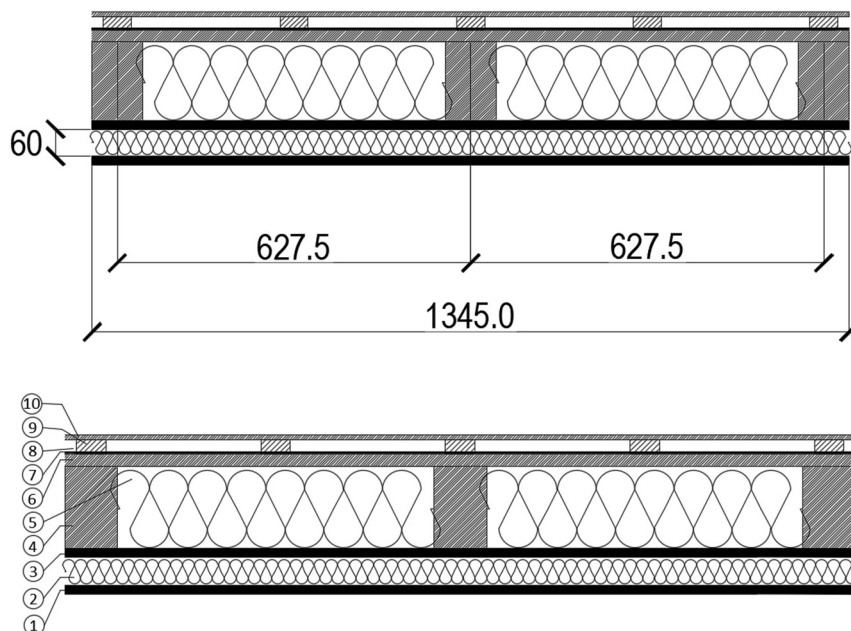
Los resultados principales se indican en la siguiente tabla:

Trasmitancia térmica	U (W/m²K)
Módulo de fachada	0.213
Humedad relativa admisible	RH%
Sección Vertical	97.9

Las propiedades de los materiales se han asignado de acuerdo con las normas EN ISO 10077-2 y EN ISO 10456 y según las indicaciones del cliente. Para los materiales con denominación comercial explícita, se hace referencia a las fichas técnicas correspondientes (adjuntas en el Anexo 1).

	Conductividad térmica [W/mK]	Factor resistencia difusión de vapor [-]	Colores clave
Madera de pino	0.130	50	
AMROC panel	0.230	40	
Lana de roca	0.034	1	
Lana de vidrio	0.034	1	
Yeso laminado	0.250	4	
Membrana impermeable transpirable	0.220	40	
Panel Equitone	0.600	140	
Barrera de vapor VAPOR IN 120	0.300	75000	
Cámara ventilada	-	1	

A continuación, una tabla y esquema que muestran los espesores considerados:



	Capa	Espesor (mm)
1	Placa yeso laminado	15.0
2	Lana de vidrio	60.0
3	Placa yeso laminado	15.0
4	Madera de pino	90.0 x 140.0
5	Lana de roca	140
6	Panel AMROC	20.0
7	Lámina impermeable transpirable	0.5
8	Aire	25.0
9	Montantes secundarios	25.0
10	Panel Equitone	8.0

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)	Client:	CALTER Ingeniería S.L.
	Ref KREA	21072
Informe de cálculo higrotérmico	Revision:	01'
	Date:	26-08-2021

2 Condiciones de contorno

Cálculo de la transmitancia térmica. Según CTE DB HE1 (“Condiciones para el control de la demanda energética”) y CTE DA DB-HE/2 (“Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos”):

Temperatura del ambiente en el lado frío:	0 °C;	
Temperatura del ambiente en el lado caliente:	20 °C;	
Resistencia de la superficie de lado frío:	0.04 m ² K/W	(superficies expuestas);
Resistencia de la superficie del lado caliente:	0.13 m ² K/W	

Cálculo de riesgo de condensación. El análisis de riesgo de condensación se analizará en las condiciones más desfavorables, es decir, en invierno.

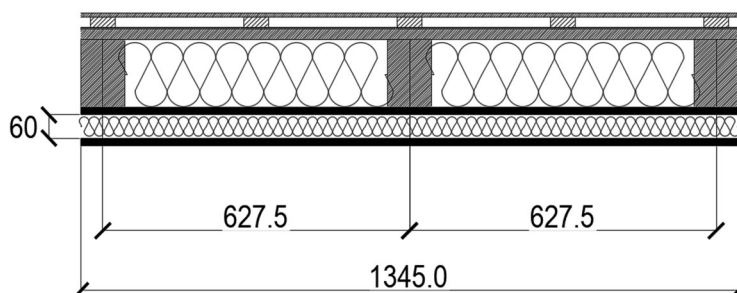
Según CTE DA DB-HE/2 (“Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos”), las condiciones de contorno son las siguientes:

Temperatura ambiental del lado frío:	6.2 °C (enero)
Temperatura ambiental del lado caliente:	20 °C
Resistencia de la superficie de lado frío:	0.04 m ² K/W (superficies expuestas);
Resistencia de la superficie del lado caliente:	0.13 m ² K/W
Humedad relativa interior:	55 % (clase de higrometría 3, correspondiente a espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad, como oficinas, tiendas, zonas de almacenamiento y todos los espacios en edificios de uso residencial)
Temperatura de rocío:	10.7 °C

3 Transmitancia térmica

En el presente capítulo se evalúa el valor global de la transmitancia térmica del módulo de fachada (1345 mm x 3100 mm). El sistema estudiado incluye montantes y travesaños de madera que, al atravesar la capa de aislamiento térmico, provocan la formación de puentes térmicos. Para tener en cuenta el efecto de dichos puentes térmicos, se analizarán 4 secciones (AA, BB, CC y DD). Por lo tanto, la transmitancia global del módulo se calculará como la media, ponderada por área, de las transmitancias de las secciones mencionadas anteriormente.

NOTA: Para cumplir el requisito de transmitancia térmica impuesto por el certificado energético del proyecto ($U_{lim} \leq 21 \text{ W/m}^2\text{K}$), está previsto aumentar el grosor del trasdosado de 50 mm a 60 mm.



3.1 Secciones AA, CC y DD

SECCIÓN HORIZONTAL AA:

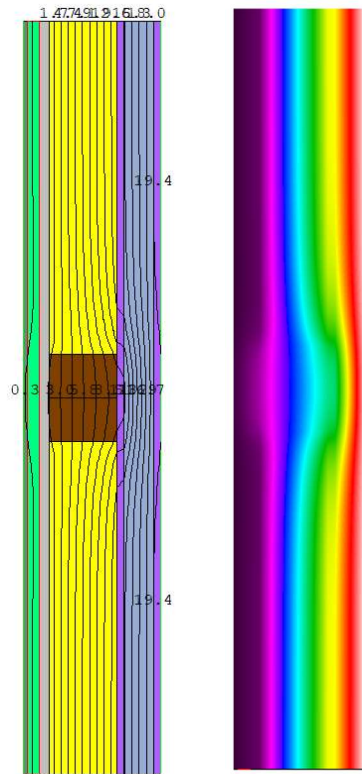


Figura 4 Sección horizontal de fachada

	U (W/m²K)	L (m)
Montante	0.24	0.18
Aislante	0.17	1.363

Teniendo en cuenta que el flujo de calor entrante es igual al saliente:

$$\Phi_{in} = \Phi_{out}$$

y que, de la sección BB, se puede deducir la transmitancia real de la sección real (= 0.156 W/m²K), la transmitancia real de la sección del montante, que tiene en cuenta los efectos del puente térmico es:

$$\frac{0.24 \cdot 0.18 + 0.17 \cdot 1.363}{1.543} = 0.19 = \frac{U^* \cdot 0.18 + 0.156 \cdot 1.363}{1.543}$$

$$U^* = 0.338$$

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)	Client: CALTER Ingeniería S.L.
	Ref KREA 21072
Informe de cálculo higrotérmico	Revision: 01'
	Date: 26-08-2021

* Este valor U ha sido calculado siguiendo el procedimiento indicado en la normativa EN13947. Es de resaltar que este valor U también incluye los efectos de borde entre el montante (o travesaño) y el aislamiento y por consiguiente es significativamente más alto que el que se hubiese calculado según las normativas EN ISO 10077-1&2, el cual no incluiría los efectos de borde en el valor U.

El valor parcial (0.156 W/m²K) del centro del panel de aislamiento es el calculado en el apartado 3.2 sección BB (centro del panel aislamiento)

SECCIÓN VERTICAL DD:

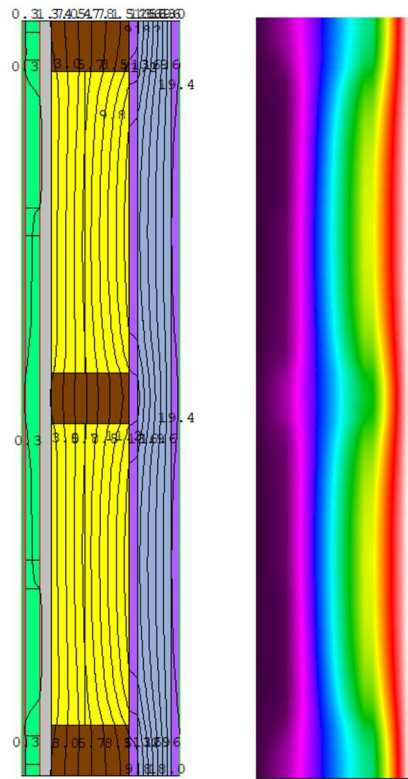


Figura 5 Sección vertical de fachada

	U (W/m²K)	L (m)
Travesaño	0.23	0.195
Aislante	0.18	1.363

Teniendo en cuenta que el flujo de calor entrante es igual al saliente:

$$\Phi_{in} = \Phi_{out}$$

y que, de la sección BB, se puede deducir la transmitancia real de la sección real (= 0.156 W/m²K), la transmitancia real de la sección del travesaño, que tiene en cuenta los efectos del puente térmico es:

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)	Client:	CALTER Ingeniería S.L.
	Ref KREA	21072
Informe de cálculo higrotérmico	Revision:	01'
	Date:	26-08-2021

$$\frac{0.23 \cdot 0.195 + 0.18 \cdot 1.363}{1.558} = 0.19 = \frac{U^* \cdot 0.27 + 0.156 \cdot 1.363}{1.558}$$

$$U^* = 0.356$$

El valor parcial (0.156 W/m²K) del centro del panel de aislamiento es el calculado en el apartado 3.2 sección BB

SECCIÓN HORIZONTAL CC:

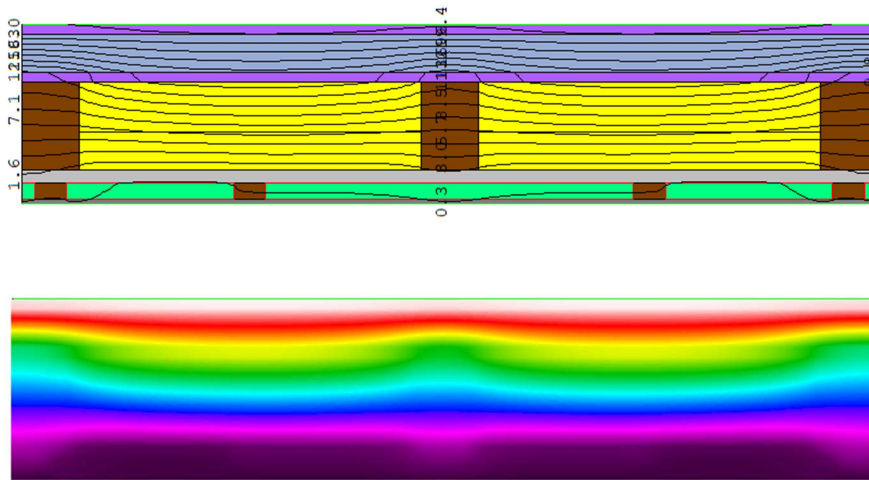


Figura 6 Sección horizontal de fachada

	U (W/m²K)	L (m)
Montante	0.24	0.27
Aislante	0.18	1.075

Teniendo en cuenta que el flujo de calor entrante es igual al saliente:

$$\Phi_{in} = \Phi_{out}$$

y que, de la sección BB, se puede deducir la transmitancia real de la sección real (= 0.156 W/m²K), la transmitancia real de la sección del montante, que tiene en cuenta los efectos del puente térmico es:

$$\frac{0.24 \cdot 0.27 + 0.18 \cdot 1.075}{1.345} = 0.19 = \frac{U^* \cdot 0.27 + 0.156 \cdot 1.075}{1.345}$$

$$U^* = 0.346$$

* Este valor U ha sido calculado siguiendo el procedimiento indicado en la normativa EN13947. Es de resaltar que este valor U también incluye los efectos de borde entre el montante (o travesaño) y el

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)	Client:	CALTER Ingeniería S.L.
	Ref KREA	21072
Informe de cálculo higrotérmico	Revision:	01'
	Date:	26-08-2021

aislamiento y por consiguiente es significativamente más alto que el que se hubiese calculado según las normativas EN ISO 10077-1&2, el cual no incluiría los efectos de borde en el valor U.

El valor parcial (0.156 W/m²K) del centro del panel de aislamiento es el calculado en el apartado 3.2 sección BB

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos para el análisis de la sección:

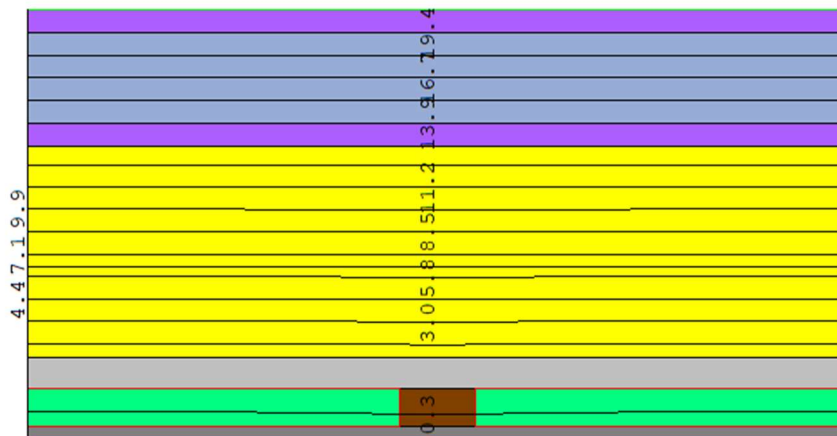
	U* (W/m ² K)	L (m)
Secciones AA	0.338	0.18
Secciones CC	0.346	0.27
Secciones DD	0.356	0.195

** Este valor U ha sido calculado siguiendo el procedimiento indicado en la normativa EN13947. Es de resaltar que este valor U también incluye los efectos de borde entre el montante (o travesaño) y el aislamiento y por consiguiente es significativamente más alto que el que se hubiese calculado según las normativas EN ISO 10077-1&2, el cual no incluiría los efectos de borde en el valor U.*

El valor U* (U efectivo) se ha obtenido a partir del análisis de las siguientes secciones de fachada:

3.2 Sección BB (centro del panel con aislamiento)

Las siguientes imágenes muestran los principales resultados obtenidos en términos de isotermas y distribución de temperatura:



La siguiente tabla resume los resultados obtenidos para el análisis de la sección:

	U (W/m ² K)	L (m)
Secciones BB	0.156	1.075

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)	Client: CALTER Ingeniería S.L.
	Ref KREA 21072
Informe de cálculo higrotérmico	Revision: 01'
	Date: 26-08-2021

3.3 Módulo de fachada

La siguiente tabla resume el cálculo del valor global de la transmitancia térmica del módulo de fachada (1345mm x 3100mm), haciendo las medias ponderadas de los flujos de calor en función del área correspondiente en el módulo de dimensiones indicadas:

Módulo de fachada (1345x3100mm)	U (W/m ² K)	A (m ²)	UxA (W/K)
Sección AA	0.338	0.242	0.082
Sección BB	0.156	2.929	0.458
Sección CC	0.346	0.788	0.273
Sección DD	0.356	0.210	0.075

TOTAL	4.17	0.888
-------	------	-------

U-value (global)	0.213	W/(m²K)
-------------------------	--------------	---------------------------

4 Condensaciones

La evaluación del riesgo de condensación se ha realizado para la sección mostrada en la Figura 1. Dado que la configuración de la sección horizontal no difiere de la sección vertical, el cálculo del riesgo de condensación se realiza solamente para esta última.

Se consideran las siguientes condiciones de contorno, indicadas en el apartado 2:

Según CTE DA DB-HE/2 (“Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos”):

Temperatura ambiental del lado frío: 6.2 °C (enero)

Temperatura ambiental del lado caliente: 20 °C

Resistencia de la superficie de lado frío: 0.04 m²K/W (superficies expuestas);

Resistencia de la superficie del lado caliente: 0.13 m²K/W

Humedad relativa: 55 % (clase de higrometría 3, correspondiente a espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad, como oficinas, tiendas, zonas de almacenamiento y todos los espacios en edificios de uso residencial)

Temperatura del punto de rocío: 10.7 °C

4.1 Sección vertical

Las siguientes figuras muestran las temperaturas mínimas de la superficie interior y la isoterma del punto de rocío de la sección objeto de análisis:



Figura 7 Temperatura mínima de la superficie interna

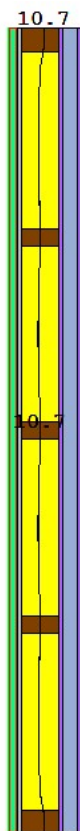
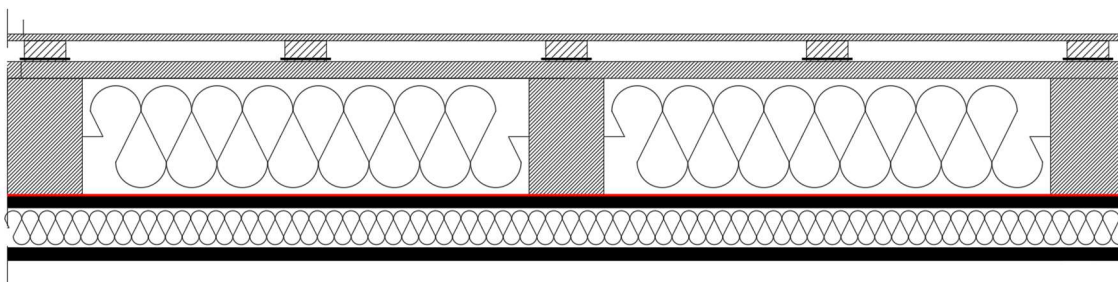


Figura 8 Isotherma de la temperatura de rocío ($T_{DP}=10.7\text{ °C}$)

Como se puede observar en la figura superior, la isoterma correspondiente a la temperatura de rocío se sitúa aproximadamente a la mitad de la capa de aislamiento térmico, con el consiguiente riesgo de condensación intersticial (en caso de no presentar barrera de vapor interna).

Para evitar el fenómeno de condensación intersticial, es necesario insertar una barrera de vapor en la parte caliente de la capa de aislamiento térmico. La imagen siguiente muestra la posición de la barrera de vapor.



En el gráfico siguiente se puede observar que, con la inserción de la barrera de vapor, la presión de vapor saturado no interseca la curva de presión de vapor asociada al perfil de temperatura. Por lo tanto, no hay riesgo de condensación intersticial.

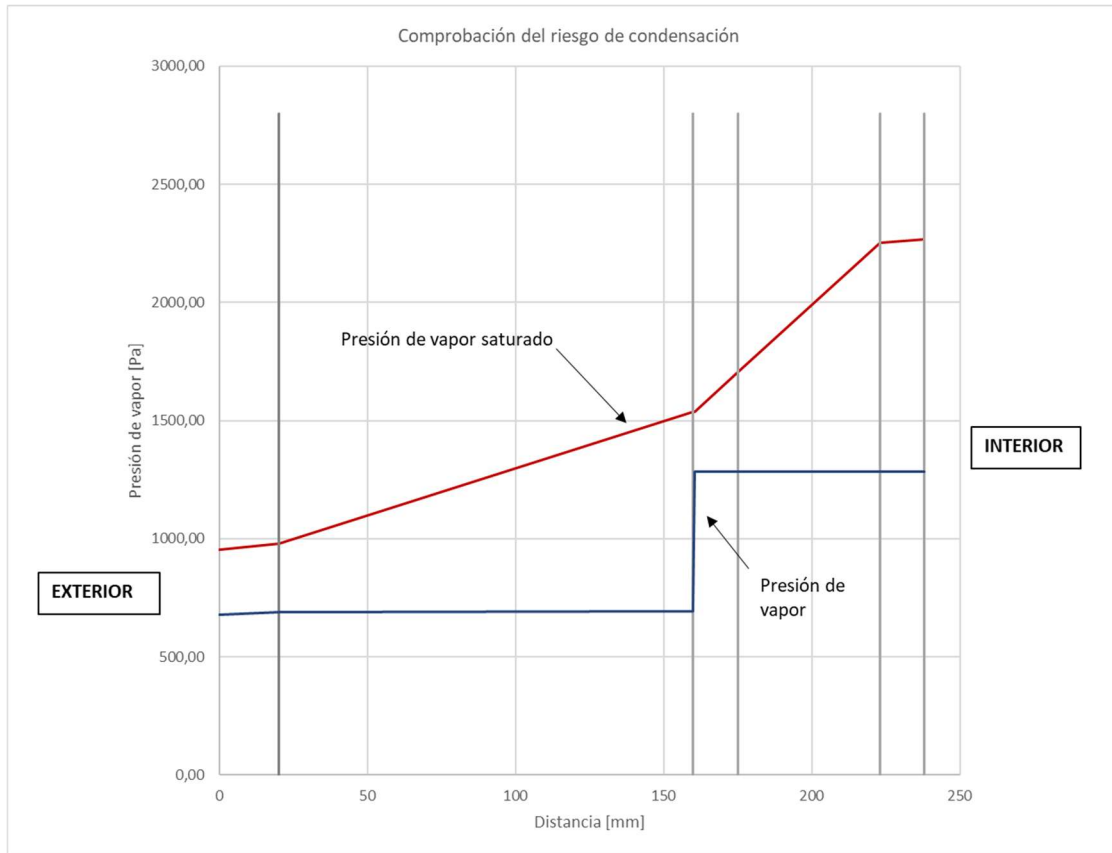


Figura 9 Comprobación del riesgo de condensación intersticial

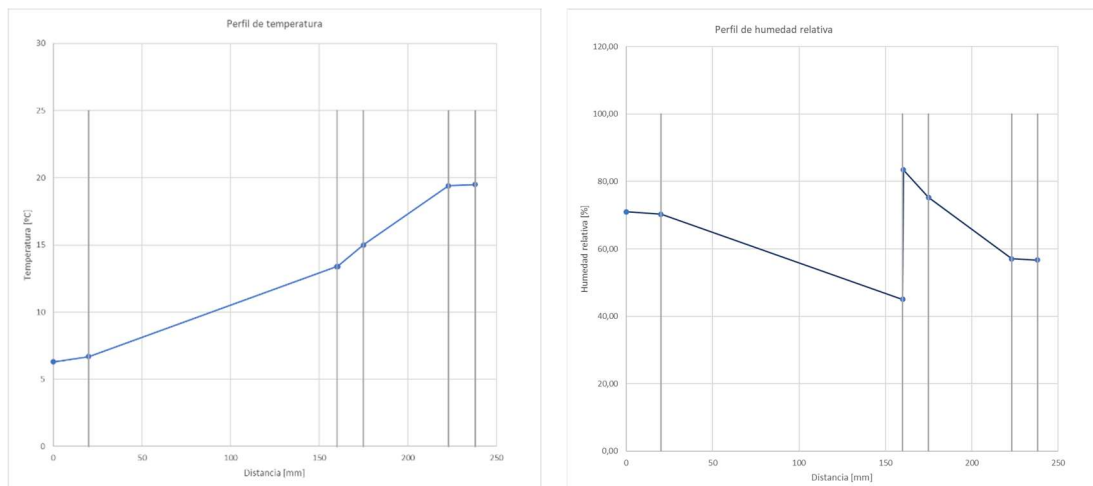


Figura 10 Perfil de temperatura y perfil de humedad relativa en la fachada

5 Inercia térmica

Para evaluar la inercia térmica del módulo de fachada, es decir, la capacidad de un módulo de fachada de atenuar y desfasar en el tiempo el flujo térmico procedente del exterior y que lo atraviesa durante un periodo de 24 horas, se ha utilizado la norma UNE EN ISO 13786 ("Prestaciones térmicas de componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo").

A efectos de cálculo, se han considerado las condiciones límite más desfavorable, es decir, las condiciones de verano.

Para la ciudad de Madrid, la norma CTE DA DB HE-2 ("Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos") define las siguientes condiciones de temperatura y humedad en el mes más caluroso del año:

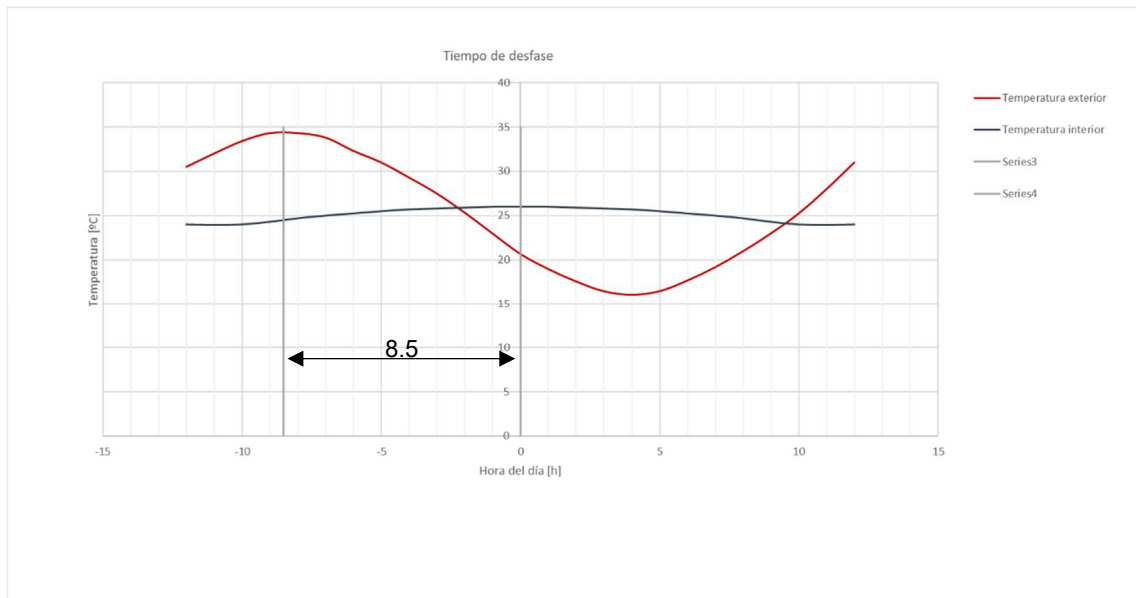
Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Madrid	T _{med}	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
	HR _{med}	71	66	56	55	51	46	37	39	50	63	70	73

Temperatura exterior: T=24.4 °C

Humedad relativa exterior: HR%=37%

La evolución de la temperatura exterior e interior puede describirse con una función sinusoidal como la siguiente:

$$T(0, t) = T_m + \vartheta_0 \text{sen}(\omega t)$$



Como se puede apreciar en el gráfico, el tiempo que transcurre entre el alcance de la temperatura máxima exterior y la temperatura máxima interior es de 8.5 horas.

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)

Client: CALTER Ingeniería S.L.

Ref KREA 21072

Informe de cálculo higrotérmico

Revision: 01'

Date: 26-08-2021

6 Anexo 1

A continuación, se adjuntan las fichas técnicas de algunos de los materiales empleados para el análisis higrotérmico.

AMROC Panel

AMROC
Baustoffe GmbH Magdeburg



Declaration of Performance for the product AMROC-Panel

DoP-Nr.: AMROC-1-17

other trade names: Cempanit / Cempanit +
Cemspan / Cemcolor
Kivex Base

AMROC Cementspanplader
AMROC Sementsponplater
Monorock

EN

1. Identification code:	AMROC Panel acc. EN 634-2 ; 8 - 40mm		
2. Intended use:	Internal use as a structural component in dry and humid conditions and external use as a structural component		
3. Manufacturer:	Amroc Baustoffe GmbH Am Zweigkanal 7b 39126 Magdeburg		
4. System of Assessment and verification of constancy of performance (AVCP):	2+		
5. Notified body:	HFB Engineering GmbH – 1034 –		
Certificate No.:	CE 1034-CPR-1283/1/2017		
6. Harmonized norm:	DIN EN 13986:2004+A1:2015		
7. Declared performance			
	Essential characteristics	Performance	Harmonised technical spec.
Bending strength			EN 634-2
parallel (N/mm ²)	> 9,0		
perpendicular (N/mm ²)	> 9,0		
Bending stiffness (Modulus of Elasticity)			
parallel (N/mm ²)	> 4500		
perpendicular (N/mm ²)	>4500		
Density (kg/m ³)	> 1200		
Release of formaldehyde	E1		EN 13986 Annex B
Reaction to fire 10 - 40mm	B-s1, d0		EN 13986, Tab. 8
Reaction to fire 8mm	B-s1, d0		K-3257/D10/D9-MPA BS
Water vapour permeability	30 / 50		EN 13986 Tab. 9
Airborne sound isolation	NPD		EN 13986 S.10
Sound absorption	0,1 / 0,3		EN 13986 Tab. 10
Thermal conductivity	0,23		EN 13986 Tab. 11
Characteristics strength for use in structural design (N/mm ²)			Characteristic values according EN 789
Bending	$f_{m,0^\circ}$	7,4	
	$f_{m,90^\circ}$	7,0	
Tension	$f_{t,0^\circ}$	3,5	
	$f_{t,90^\circ}$	3,4	
Compressing	$f_{c,0^\circ}$	15,3	
	$f_{c,90^\circ}$	13,2	
Shear	f_v	235	
	f_r	264	
Characteristics stiffness (N/mm ²)			
Bending	$E_{m,0^\circ}$	5790	
	$E_{m,90^\circ}$	5560	
Tension	$E_{t,0^\circ}$	4170	
	$E_{t,90^\circ}$	4220	
Compressing	$E_{c,0^\circ}$	5420	
	$E_{c,90^\circ}$	4930	
Shear	G_v	1920	
	G_r	1940	
Mechanical durability (medium duration of load)			EN 1995-1-1
Modification coefficient k_{mod}	Service class 1	0,65	
	Service class 2	0,45	
	Service class 3	0,45	
Deformation coefficient k_{def}	Service class 1	2,25	
	Service class 2	3,00	
	Service class 3	9,13	

The performance of the product (products) is in conformity with the declared performance.
This declaration of performance is issued under the solo responsibility of the manufacturer.
Signed for and behalf of the manufacturer by:

Holger Arnold, Managing director
(Name and function)

Magdeburg, 03-APR-2017
(Place and date of issue)

(Signature)

Seite 1/1

Proyecto: Fachada Lignum Tech – Valdebebas (Madrid)

Client: CALTER Ingeniería S.L.

Ref KREA 21072

Informe de cálculo higrotérmico

Revision: 01'

Date: 26-08-2021

Barrera de vapor – ROTHOBLAAS VAPOR IN 120

VAPOR IN 120

FRENO DE VAPOR



COMPOSICIÓN

capa superior
film freno de vapor de PP

capa inferior
tejido no tejido de PP

DATOS TÉCNICOS

Propiedad	normativa	valor	valor
Gramaje	EN 1849-2	120 g/m ²	0.39 oz/ft ²
Espesor	EN 1849-2	0,4 mm	16 mil
Transmisión de vapor de agua (Sd)	EN 1931	30 m	0.14 US perm
Resistencia a la tracción MD/CD ⁽¹⁾	EN 12311-2	220 / 180 N/50mm	25 / 21 lb/in
Alargamiento MD/CD ⁽¹⁾	EN 12311-2	47 / 68 %	-
Resistencia a desgarro por clavo MD/CD ⁽¹⁾	EN 12310-1	160 / 205 N	36 / 46 lbf
Estanquidad al agua	EN 1928	conforme	-
Exposición indirecta a los rayos UV	-	2 semanas	-
Resistencia térmica	-	-20 / 80 °C	-4 / 176 °F
Reacción al fuego	EN 13501-1	clase E	-
Resistencia al paso del aire	EN 12114	0 m ³ /(m ² h50Pa)	0 cfm/ft ² at 50Pa
Resistencia al vapor de agua:			
- después de envejecimiento artificial	EN 1296 / EN 1931	conforme	-
- en presencia de álcali	EN 1847 / EN 12311-2	npd	-
Conductividad térmica (λ)	-	0,3 W/(m·K)	0.17 BTU/h·ft ² ·°F
Calor específico	-	1800 J/(kg·K)	-
Densidad	-	aprox. 290 kg/m ³	aprox. 0.17 oz/in ³
Factor de resistencia al vapor de agua (μ)	-	aprox. 75000	aprox. 150 MNs/g
Contenido de VOC	-	0 %	-

⁽¹⁾ Valores medios obtenidos en pruebas de laboratorio. Para conocer los valores mínimos, consultar la declaración de prestación.

CÓDIGOS Y DIMENSIONES

CÓDIGO	descripción	tape	H [m]	L [m]	A [m ²]	H [ft]	L [ft]	A [ft ²]	
VV120	VAPOR IN 120	-	1,5	50	75	5	164	807	36
VV12030	VAPOR IN 120 3,0 m	-	3	50	150	10	164	1615	30

218 | VAPOR IN 120 | BARRERAS Y FRENOS

Revestimiento exterior – Equitone

6 Propiedades técnicas³

- Fibrocemento (EN 12467) : clase 4, categoría A
- Densidad : > 1,65 g/cm³
- Resistencia de flexión (punto de rotura) \perp : 24,0 N/mm²
 \parallel : 17,0 N/mm²
 aprox. : 15,000 N/mm²
- Módulos de elasticidad: : 50 N/mm²
- Resistencia de compresión : > 20 %
- Capacidad de absorción de agua : 1,0 mm/m
- Movimiento hídrico: : 0,01 mm/mK
- Movimiento térmico: : ca. 0,6 W/mK
- Conductividad térmica : 350
- Coef. de resistencia al vapor de agua (a 0 - 50 % humedad rel.) : 140
 (a 50 - 100 % humedad rel.)
- Resistencia al hielo : conforme a DIN 52104
- Reacción al fuego (EN 13501-1) : A2-s1,d0; Incombustible
- Contenido de humedad (secado al aire) : ~ 8 %
- Temperatura – durabilidad : calificado hasta 80 °C
- Declaración de producto respetuoso con el medio ambiente conforme a la norma ISO 14025 (EPD-DAP)
- Todos los paneles de revestimiento están fabricados en Alemania con arreglo a las normas ISO 9001 e ISO 14001.