



Simulación tridimensional  
del flujo de calor para  
la determinación de los

**coeficientes de pérdida por puente térmico de las cajas de  
instalación en paredes de entramado de madera en  
construcción con montantes**

Por encargo de la empresa

**Kaiser GmbH & Co. KG**

Ramsloh 4

D-58579 Schalksmühle

## **Documentación de las simulaciones**

Nota: Este documento es una traducción realizada por terceros. Solo la versión original alemana de este documento tiene validez legal

1159- 55 Caja de conexiones de dispositivos ECON® Iso +

Autor:  
Adrian Muskatewitz, ingeniero.

Junio de 2018

## 1 Introducción

Por encargo de Kaiser GmbH & Co KG, el Dr. Wolfgang Feist, del PassivHaus Institut, determinó los coeficientes de pérdida por puente térmico de los zócalos exteriores en paredes de entramado de madera y las temperaturas superficiales del lado de la habitación. Las estructuras de pared ejemplares facilitadas por el cliente sirvieron de estructura de pared de referencia para determinar las pérdidas de calor. El cliente facilitó los documentos necesarios para ello (véase el anexo).

Debido a la posibilidad de prescindir de un sistema de calefacción independiente, las casas pasivas plantean grandes exigencias en cuanto a la calidad de los componentes utilizados. Además de un excelente aislamiento térmico, una elevada hermeticidad, una recuperación de calor altamente eficiente y ventanas de casa pasiva, la ausencia de puentes térmicos en la envolvente térmica es de vital importancia para la funcionalidad de la casa pasiva.

## 2 Especificaciones para el cálculo del flujo de calor

Los cálculos se realizaron con el programa informático SOLIDO de Physibel (Bélgica). En la tabla 1 figuran los materiales utilizados en el cálculo y sus conductividades térmicas, junto con el colore seleccionados para la representación. Las fuentes de las conductividades térmicas son las normas pertinentes y las fichas técnicas facilitadas por el fabricante.






	Tipo	CEN-mle	Nombre	Rat.	Malla [mm]	Rejilla	$\lambda$ [W/mK]
	MATERIAL		Acero inoxidable		100.00	NORMAL	17.000
	MATERIAL		Madera 500 kg/m <sup>3</sup>		100.00	NORMAL	0.130
	MATERIAL		Cartón-yeso		100.00	NORMAL	0.250
	MATERIAL		Yeso exterior		100.00	NORMAL	0.700
	MATERIAL		Cables: material de recambio		100.00	NORMAL	15.000
	MATERIAL		Termoplástico		100.00	NORMAL	0.250
	MATERIAL		Thermowall		100.00	NORMAL	0.042
	MATERIAL		Termoflex		100.00	NORMAL	0.033

Tabla 1: Materiales utilizados, conductividad térmica y código de colores

### Se aplicaron las siguientes condiciones límite:

Temperatura exterior:	-10 °C
Resistencia térmica externa:	0,04 m <sup>2</sup> K/W
Temperatura interior:	20 °C)
Resistencia térmica interna:	0,13 m <sup>2</sup> K/W

### 3 Modelización

Las estructuras del sistema se modelaron utilizando modelos tridimensionales y planos de trabajo proporcionados por el fabricante y se tradujeron en un modelo de flujo térmico por elementos finitos. Las diferentes variantes para la estructura de referencia de la pared exterior fueron especificadas por el fabricante. Se analizaron en total tres estructuras murales de referencia. Se diferencian por el grosor de la capa de aislamiento normal y el cambio dimensional asociado del bastidor de montantes, así como por el grosor de la capa del tablero de fibra de madera blanda. Estos modelos tienen unas dimensiones de Al\*An de 0,50 m\*1,20 m, la profundidad varía en función del grosor del aislamiento.

1 Holzständerwand						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,13						
außen R <sub>se</sub> : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Gipskartonplatte	0,250					13
2. Gutex Thermoflex	0,038	Fichte	0,130			200
3. Gutex Thermowall	0,042					80
4. Außenputz	0,700					10
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
			14,0%			30,3 cm
U-Wert: 0,15946 W/(m <sup>2</sup> K)						

Figura 1: Construcción de paredes con montantes de madera: determinación del coeficiente de transferencia de calor unidimensional (modelo 1)

2 Holzständerwand						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W] innen R <sub>si</sub> : 0,13						
außen R <sub>se</sub> : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Gipskartonplatte	0,250					13
2. Gutex Thermoflex	0,038	Fichte	0,130			200
3. Gutex Thermowall	0,042					60
4. Außenputz	0,700					10
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
			14,0%			28,3 cm
U-Wert: 0,17333 W/(m <sup>2</sup> K)						

Figura 2: Construcción de paredes con montantes de madera: determinación del coeficiente de transferencia de calor unidimensional (modelo 2)

3 Holzständerwand						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]		innen R <sub>si</sub> :		0,13
				außen R <sub>sa</sub> :		0,04
Teilfläche 1	λ [W/(m·K)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(m·K)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(m·K)]	Summe Breite
						Dicke [mm]
1. Gipskartonplatte	0,250					13
2. Gutex Thermoflex	0,038	Fichte	0,130			160
3. Gutex Thermowall	0,042					60
4. Außenputz	0,700					10
5.						
6.						
7.						
8.						
			Flächenanteil Teilfläche 2	Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
			14,0%			24,3 cm
				U-Wert:	0,20140	W/(m <sup>2</sup> K)

Figura 3: Construcción de paredes con montantes de madera: determinación del coeficiente de transferencia de calor unidimensional (modelo 3)

Para el cálculo tridimensional del flujo de calor, el modelo se dividió en elementos finitos utilizando una malla tridimensional. En la zona de las penetraciones, el tamaño de malla de la red es de 0,5 x 0,5 x 0,5 mm. Aumenta hacia los bordes del modelo. El modelo comprende un total de aproximadamente 685000 nodos.

Los coeficientes de pérdida por puente térmico se calculan a partir de la diferencia entre la transmitancia térmica unidimensional  $\Phi_{1D}$  del modelo inalterado (ver Fig. 1 – 3), y el flujo de calor simulado del sistema de soporte de madera exterior con toma de corriente exterior  $\Phi_{3D}$ .

La figura 4 muestra la estructura ejemplar del sistema como modelo de simulación por elementos finitos.

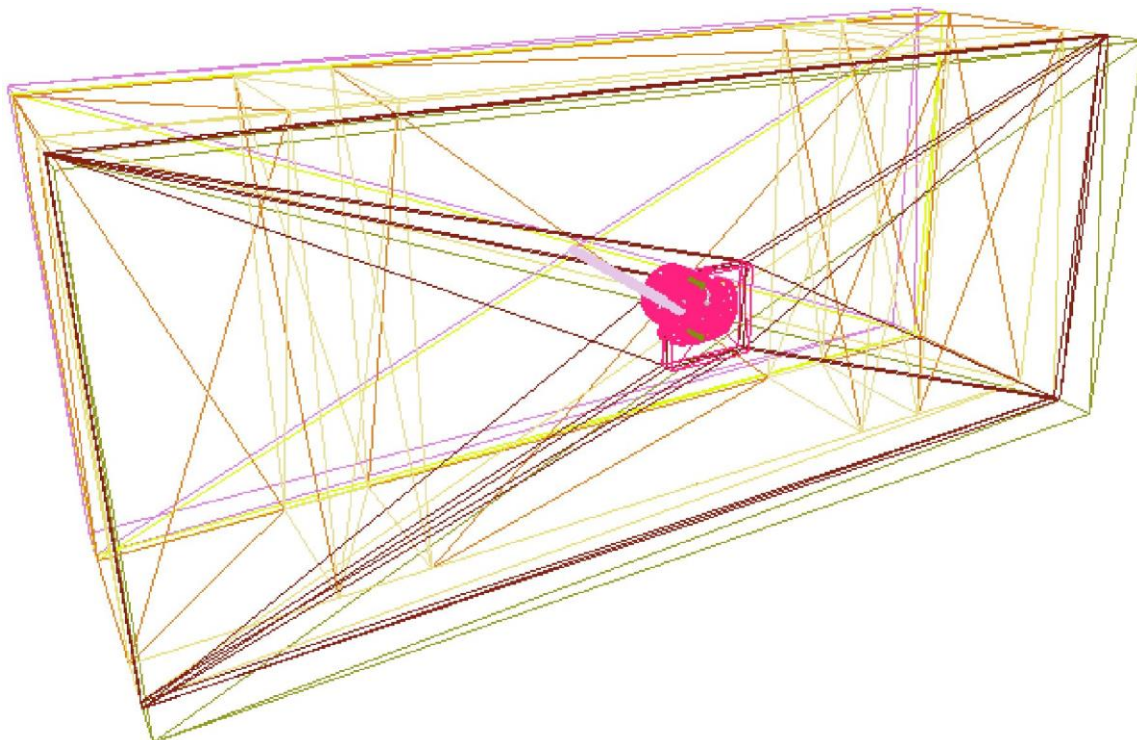


Figura 4: Estructura ejemplar del modelo

#### 4 Resultados de la simulación del flujo de calor

A continuación se indican los resultados de la simulación de flujo de calor documentada. Además de los coeficientes de pérdida por puente térmico, también se determinaron las temperaturas superficiales mínimas  $T_{\min}$ . Se determinan a una temperatura exterior de  $-10\text{ °C}$  y a una temperatura ambiente de  $20\text{ °C}$ .

Si se utiliza la caja de conexiones de dispositivos ECON® Iso + de acuerdo con las instrucciones del fabricante, se puede descartar la condensación en la superficie de la pared del lado de la habitación. Utilizando la simulación FEM, se pudo determinar un valor  $f_{Rsi}$  de:

- 0,89 ( $16,71\text{ °C}$ ) con un espesor de aislamiento de 200 mm y un espesor de tablero de fibra de madera blanda de 80 mm
- 0,89 ( $16,69\text{ °C}$ ) con un espesor de aislamiento de 200 mm y un espesor de tablero de fibra de madera blanda de 60 mm
- 0,87 ( $16,27\text{ °C}$ ) con un espesor de aislamiento de 160 mm y un espesor de tablero de fibra de madera blanda de 80 mm

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

- Con
- $\theta_{si}$ : Temperatura mínima de la superficie interna a partir de la simulación del flujo de calor [ $^{\circ}\text{C}$ ]
  - $\theta_e$ : Temperatura exterior de la simulación del flujo de calor [ $^{\circ}\text{C}$ ]
  - $\theta_i$ : Temperatura interior de la simulación del flujo de calor [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Para determinar los coeficientes de pérdida por puente térmico puntual ( $X_{WB}$ ), el flujo de calor determinado a partir de los modelos de simulación se compara con la pérdida de calor por transmisión específica unidimensional. La diferencia entre los flujos de calor específicos, incluida la diferencia de temperatura, da como resultado el coeficiente de pérdida por puente térmico puntual  $X_{WB}$  en W/K.

Se aplica:  $(U \cdot A - \Phi_{3D}) / \Delta T$

Con:

- $U$  = coeficiente de transferencia de calor de la pared exterior [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
- $A$  = Superficie de referencia [ $\text{m}^2$ ]
- $\Phi_{3D}$  = Simulación de flujo de calor [ $\text{W/K}$ ]
- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura [ $\text{K}$ ]

<b>200 mm de espesor de aislamiento + 80 mm de HWFP</b>	<b>hsi = 7,69, hse = 25</b>
<b>T<sub>i</sub> [°C]</b>	20,0
<b>T<sub>a</sub> [°C]</b>	-10,0
<b>Altura del modelo [m]</b>	0,50
<b>Anchura del modelo [m]</b>	1,20
<b>Φ<sub>Sólido, WB</sub> [W/K]</b>	3,03044
<b>T<sub>min, WB</sub> [°C]</b>	16,71
<b>U<sub>pared</sub> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>	0,1595
<b>χ<sub>WB</sub> [W/K]</b>	0,00534
<b>Φ<sub>0</sub> [W/K]</b>	2,87028

Tabla 2: Resumen de los resultados del modelo 1

<b>200 mm de espesor de aislamiento + 60 mm de HWFP</b>	<b>hsi = 7,69, hse = 25</b>
<b>T<sub>i</sub> [°C]</b>	20,0
<b>T<sub>a</sub> [°C]</b>	-10,0
<b>Altura del modelo [m]</b>	0,50
<b>Anchura del modelo [m]</b>	1,20
<b>Φ<sub>Sólido, WB</sub> [W/K]</b>	3,28462
<b>T<sub>min, WB</sub> [°C]</b>	16,69
<b>U<sub>pared</sub> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>	0,1733
<b>χ<sub>WB</sub> [W/K]</b>	0,00549
<b>Φ<sub>0</sub> [W/K]</b>	3,11994

Tabla 3: Resumen de los resultados del modelo 2

<b>160 mm de espesor de aislamiento + 60 mm de HWFP</b>	<b>hsi = 7,69, hse = 25</b>
<b>T<sub>i</sub> [°C]</b>	20,0
<b>T<sub>a</sub> [°C]</b>	-10,0
<b>Altura del modelo [m]</b>	0,50
<b>Anchura del modelo [m]</b>	1,20
<b>Φ<sub>Sólido, WB</sub> [W/K]</b>	3,79076
<b>T<sub>min, WB</sub> [°C]</b>	16,27
<b>U<sub>pared</sub> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>	0,2014
<b>χ<sub>WB</sub> [W/K]</b>	0,00552
<b>Φ<sub>0</sub> [W/K]</b>	3,6252

Tabla 4: Resumen de los resultados del modelo 3

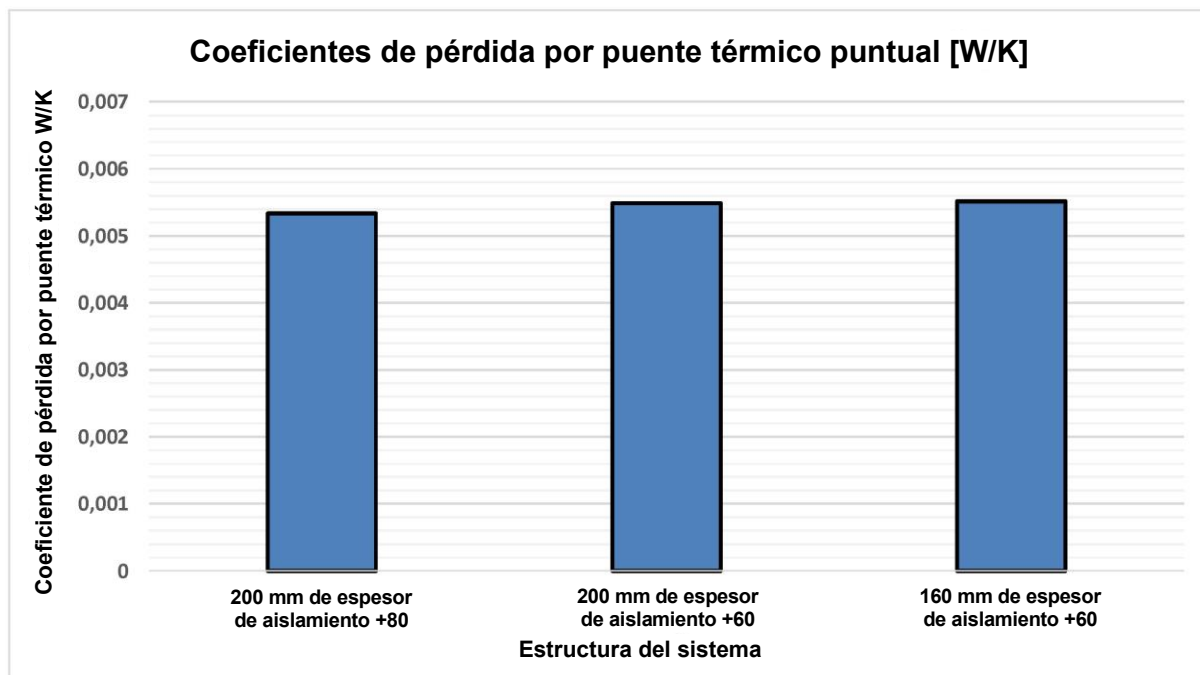


Figura 5: Ilustración de los coeficientes de pérdida por puente térmico puntual

A continuación se muestran los diagramas isotérmicos y las curvas de temperatura.

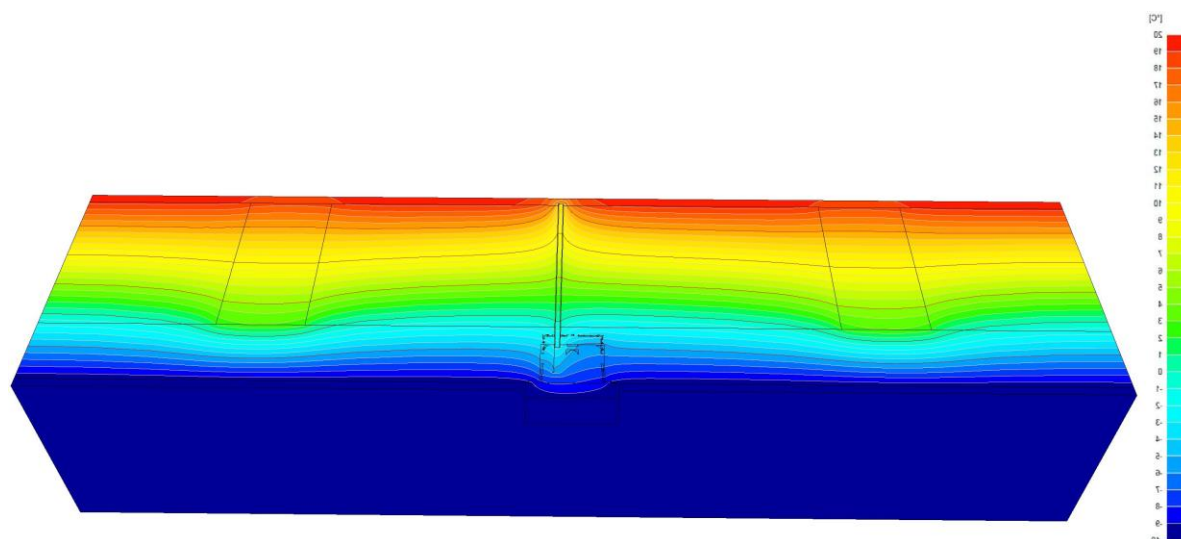


Figura 6: Curva de temperatura y representación de la isoterma modelo 1

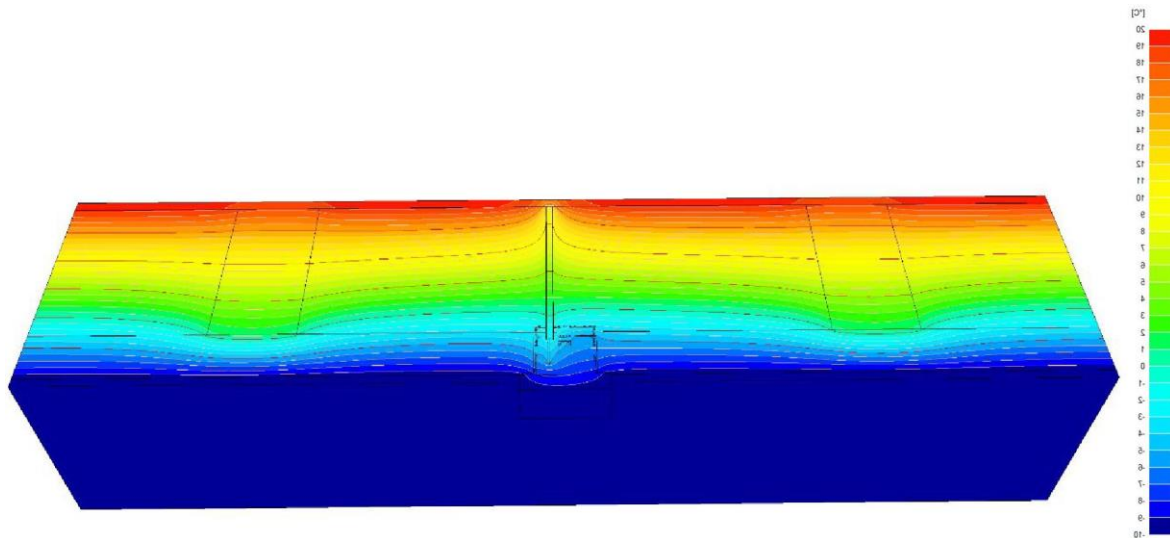


Figura 7: Curva de temperatura y representación de la isoterma modelo 2

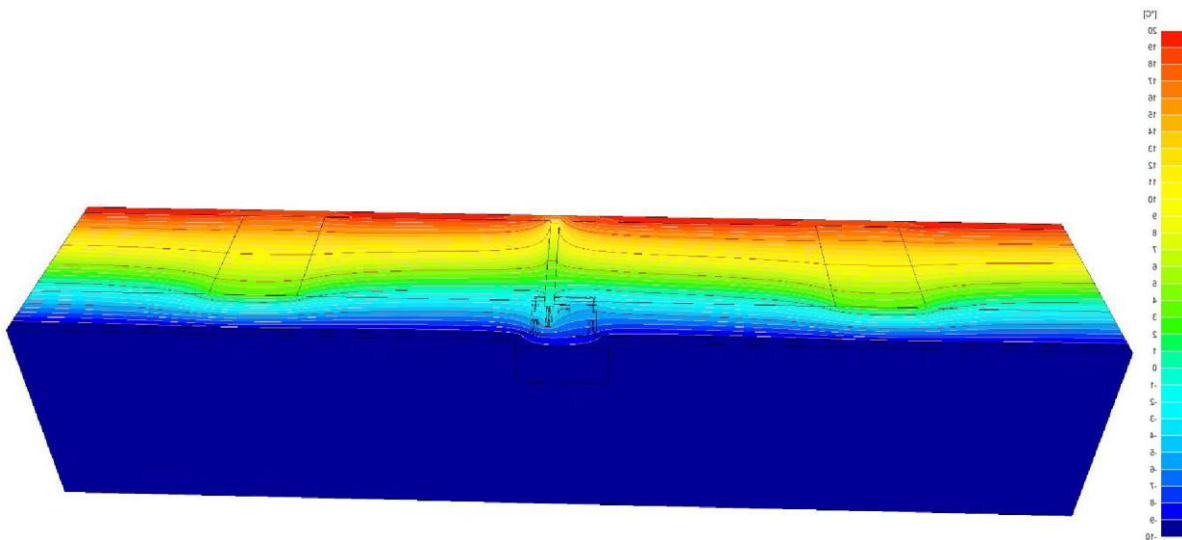


Figura 8: Curva de temperatura y representación de la isoterma modelo 3

## 5 Resumen

La caja de conexiones de dispositivos ECON® Iso + de Kaiser GmbH & Co. KG es un diseño exitoso con respecto a los parámetros probados. Las pérdidas de calor adicionales causadas por el puente térmico constructivo también pueden compensarse en el segmento de nueva construcción de alto consumo energético del orden de aprox. 0,005 W/K despreciable o compensable y también son adecuadas para su uso en casas pasivas. El balance energético debe tenerse en cuenta si se instala un número relativamente elevado de cajas de instalación y si cabe esperar efectos de acoplamiento debido a cambios en el tendido de los cables. Los coeficientes de pérdida por puente térmico aumentan con la reducción de la conductividad térmica del nivel de aislamiento regular. La condensación en la superficie de la sala y la caída de aire frío debida a las bajas temperaturas de la superficie también pueden descartarse para la estructura analizada. Las temperaturas superficiales de -10 °C de temperatura exterior son de aproximadamente 16,8 °C en el punto más frío.

Nota: Este documento es una traducción realizada por terceros. Solo la versión original alemana de este documento tiene validez legal.8



## 6 Anexo

Construcciones de pared de referencia proporcionadas por el fabricante:

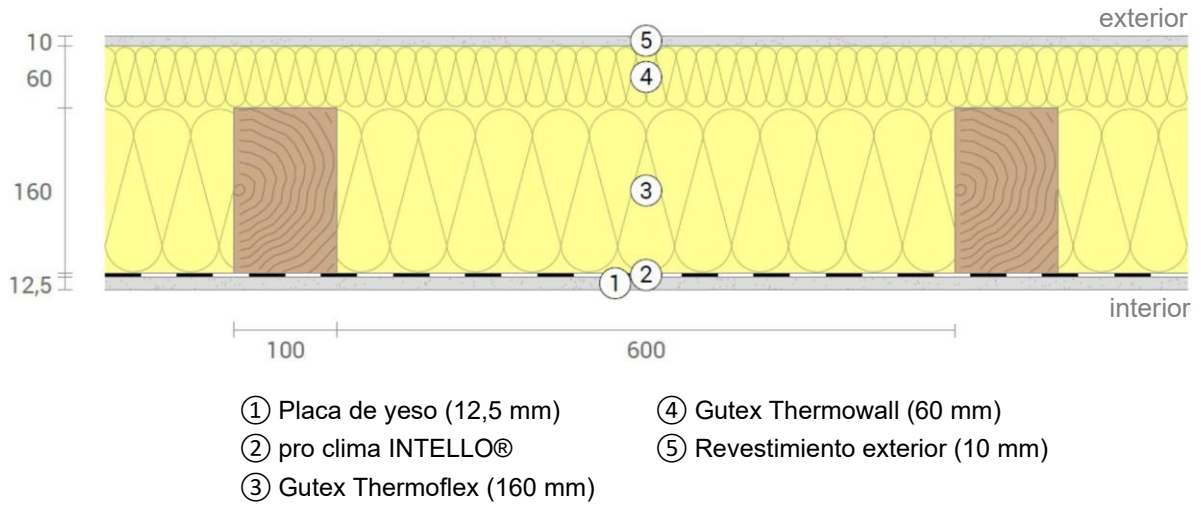


Figura 9: Configuración de referencia 1

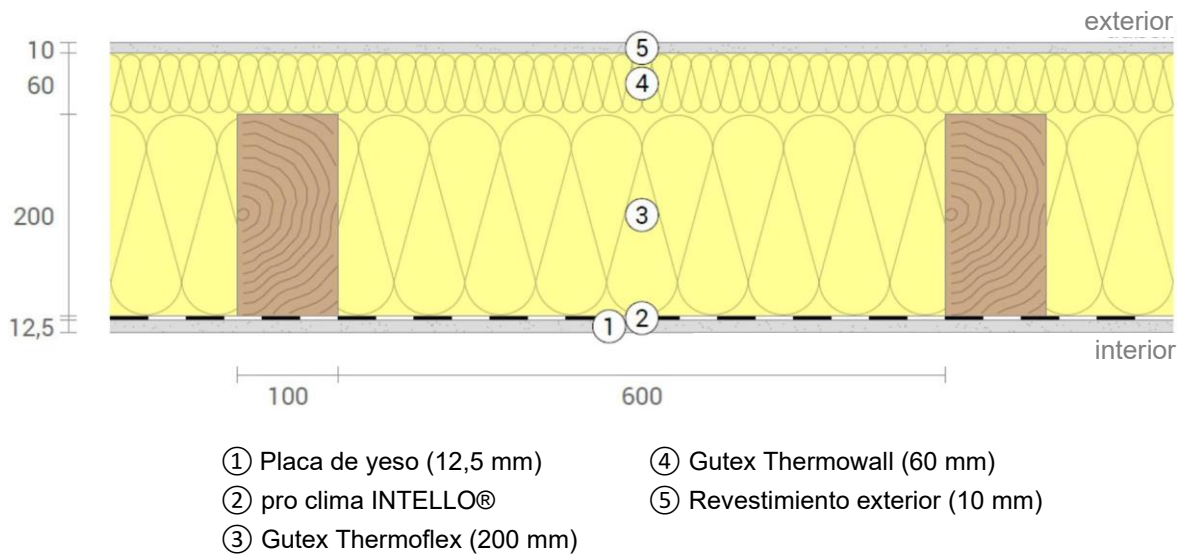


Figura 10: Configuración de referencia 2

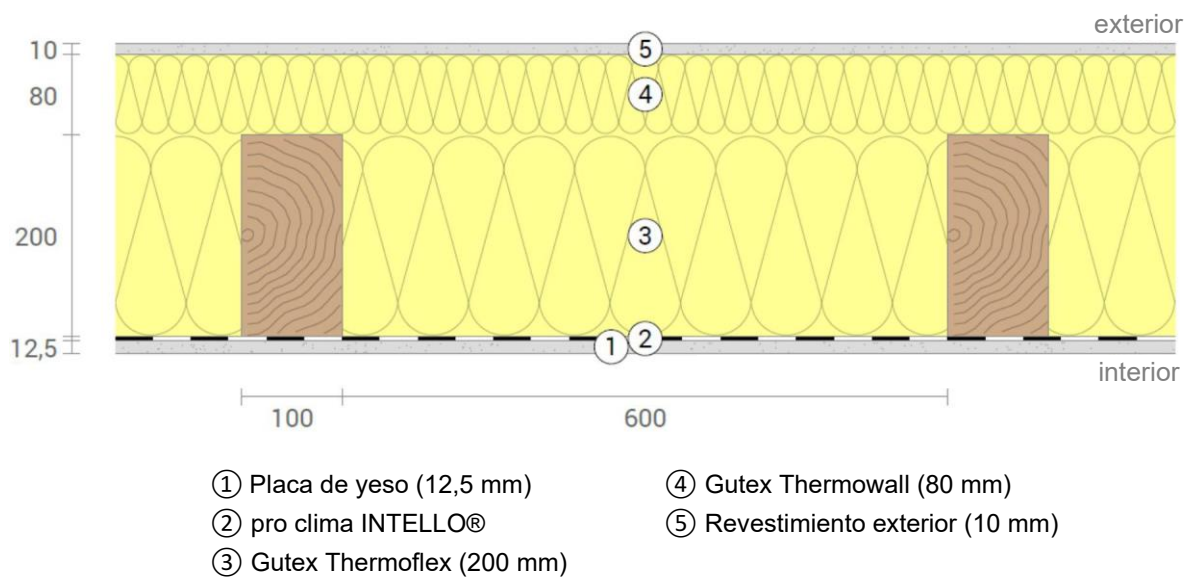


Figura 11: Configuración de referencia 3