



Simulación Tridimensional
del flujo de calor para
la determinación de

**Coeficientes de pérdida por puente térmico de carcassas
empotradas en sistemas de aislamiento térmico exterior**

Por encargo de la empresa

KAISER GmbH & Co. KG

Ramsloh 4

58579 Schalksmühle

Alemania

Breve informe sobre la simulación

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

Autor:
Adrian Muskatewitz, ingeniero.

Marzo de 2017

1 Introducción

Por encargo de Kaiser GmbH & Co. KG, el Dr. Wolfgang Feist, del PassivHaus Institut, determinó los coeficientes de pérdida por puente térmico y las temperaturas superficiales en el lado de la habitación de carcacas empotradas en sistemas compuestos de aislamiento térmico exterior. Un sistema de aislamiento térmico exterior sirvió de estructura mural de referencia para determinar las pérdidas de calor. El modelo de referencia utilizado representa una estructura de sistema que se puede encontrar para el tipo de carcaca empotrada. El cliente facilitó los documentos necesarios para ello.

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	Norma CEN	Nombre	Pat.	Malla	λ [W/mK]	ε [-]	θ [°C]	h [W/m²K]
	MATERIAL		HIPS		100.00	0.220			
	MATERIAL		Aislamiento térmico		100.00	0.032			
	MATERIAL		Vidrio		100.00	1.000			
	MATERIAL		Tornillo		100.00	17.000			
	MATERIAL		Yeso interior		100.00	0.510			
	MATERIAL		Yeso exterior		100.00	0.700			
	MATERIAL		Pavimento		100.00	1.400			
	MATERIAL		Aislamiento acústico de impacto		100.00	0.060			
	MATERIAL		Hormigón armado		100.00	2.300			
	MATERIAL		Cable_eq		100.00	15.000			
	MATERIAL		Madera		100.00	0.130			
	MATERIAL		NEOPOR		100.00	0.032			
	BC_SIMPL	NIHIL	BCE		100.00			-10.0	25.00
	BC_SIMPL	NIHIL	BCI - HFhorizontal		100.00			20.0	7.69
	BC_SIMPL	NIHIL	BCI - HFvertical		100.00			20.0	6.00
	MATERIAL		Tacos		100.00	0.270			
	MATERIAL		Aire		100.00	0.100			
	MATERIAL		Aire		100.00	0.040			

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

MATERIAL		EQ		100.00	5.000			
----------	--	----	--	--------	-------	--	--	--

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 m²K/W
- Temperatura interior: 20 °C
- Resistencia térmica interna: 0,13 m²K/W
- Resistencia térmica vertical: 0,17 m²K/W

3 Modelización

Las carcassas empotradas en los sistemas de aislamiento térmico exterior se convirtieron en un modelo de cálculo necesario para la simulación de flujo de calor por el método de los elementos finitos mediante un modelo de dibujo tridimensional proporcionado y se insertaron en el modelo de una estructura de fachada con un sistema compuesto de aislamiento térmico exterior.

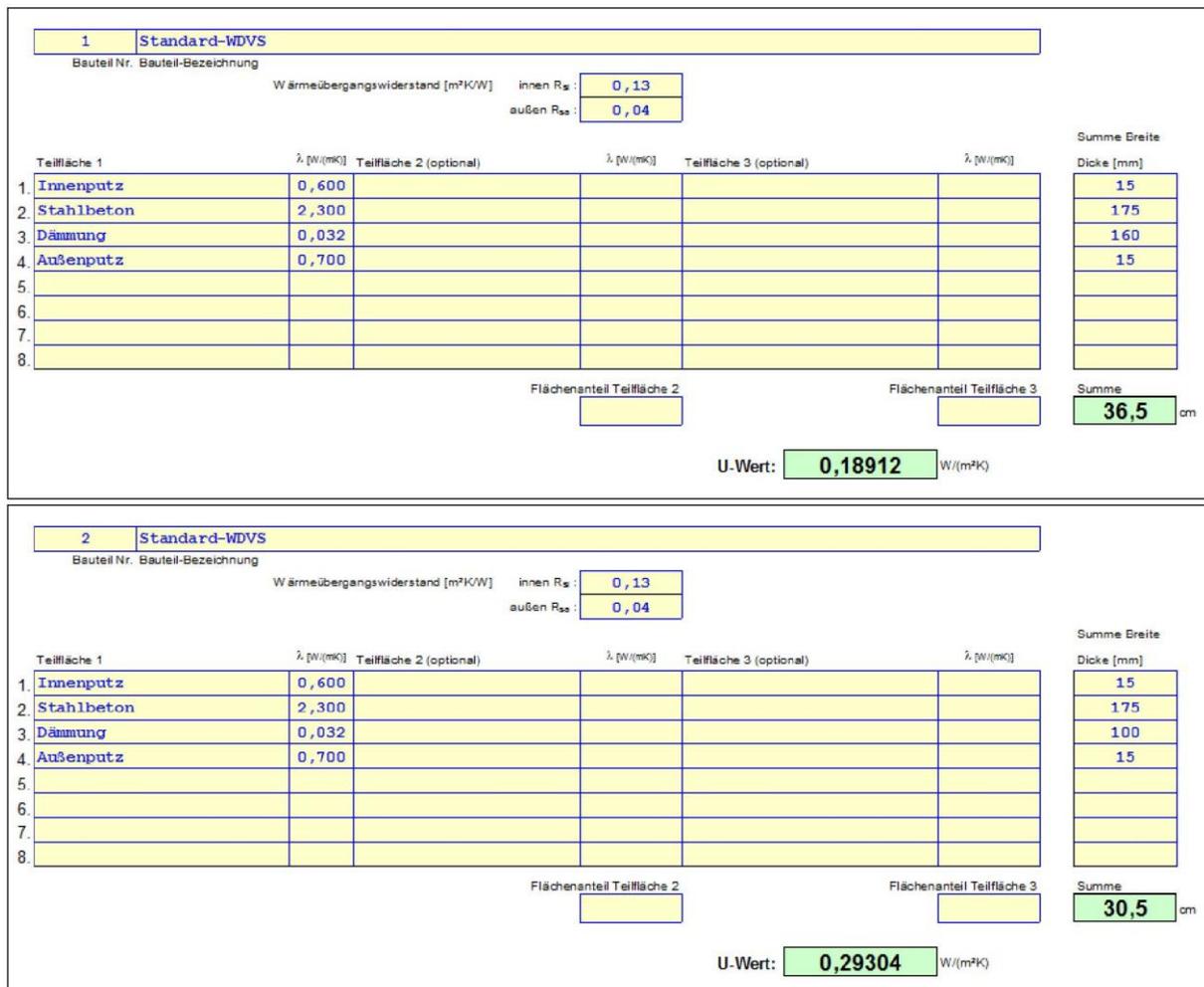


Figura 1: Construcciones de muros con SATE - determinación de la transmitancia térmica unidimensional

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

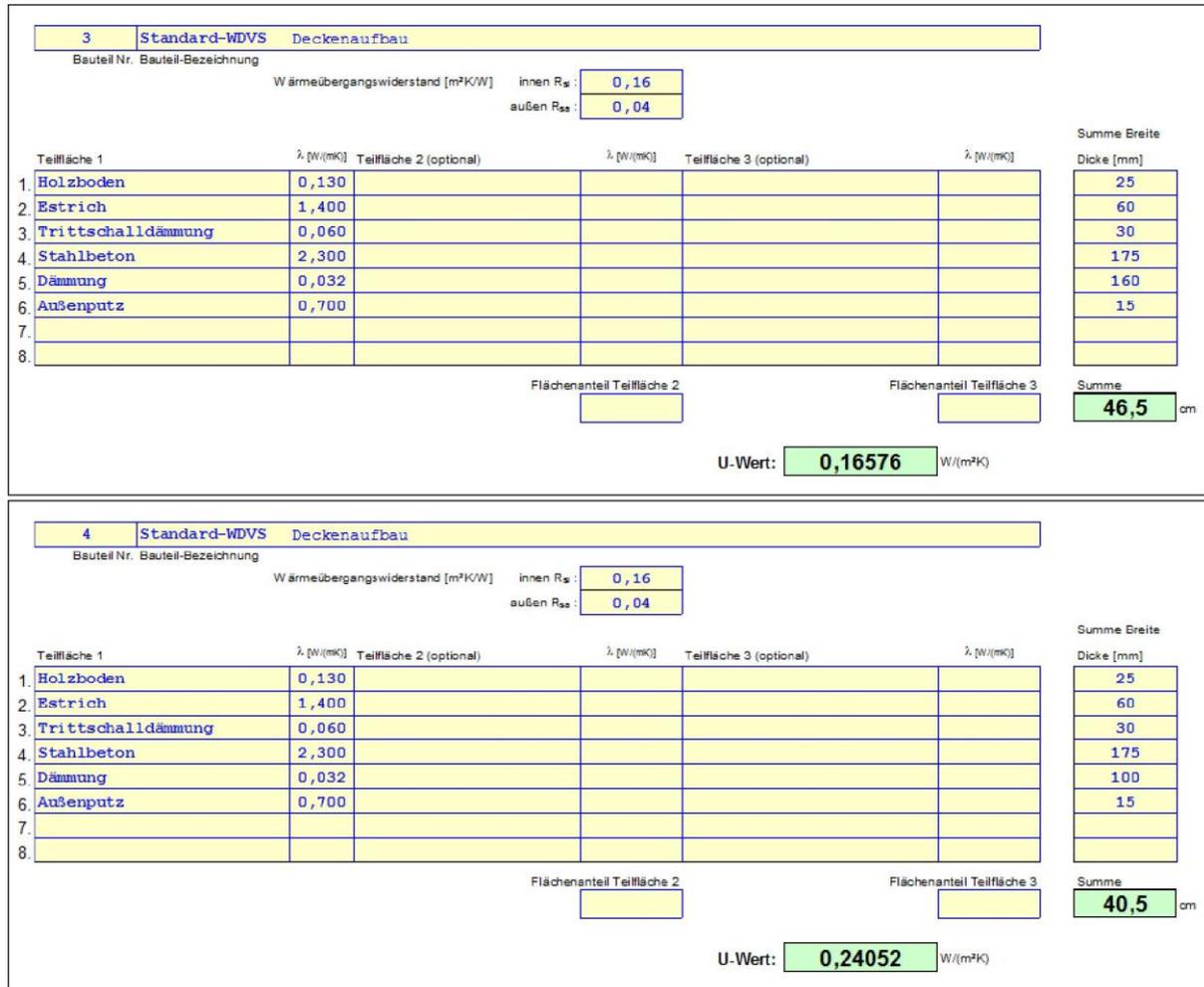


Figura 2: Estructuras de techo SATE - determinación de la transmitancia térmica unidimensional

Para el cálculo tridimensional del flujo de calor, el modelo se dividió en elementos finitos utilizando una malla tridimensional. En la zona del alojamiento de la instalación, 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 6.100.000 nodos.

Las distintas carcacas empotradas se modelan con las estructuras de pared de referencia y se calcula su coeficiente de pérdida por puente térmico puntual (X_{WB} en W/K). Los coeficientes de pérdida por puente térmico se calculan a partir de la diferencia entre la transmitancia térmica unidimensional Φ_{1D} del modelo inalterado (ver Fig. 1 - SATE), o el flujo de calor del modelo inalterado, y el flujo de calor simulado del sistema compuesto de aislamiento térmico exterior con carcasa incorporada Φ_{3D}.

La Figura 3 muestra el modelo de vivienda como modelo de simulación por elementos finitos.

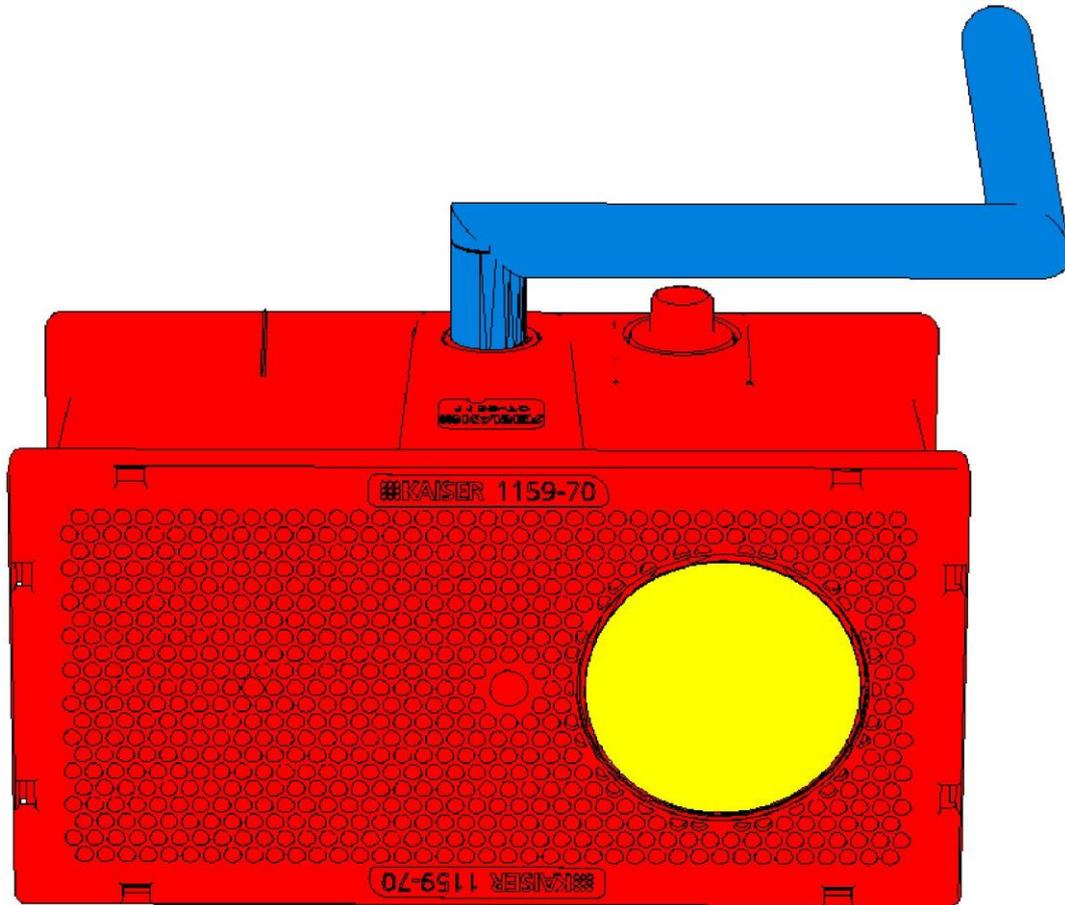


Figura 3: Modelo de cálculo para la instalación de viviendas en un sistema de aislamiento térmico exterior

4 Resultados

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 °C y a una temperatura ambiente operativa de 20 °C .

Si la lámpara se utiliza en la carcasa de instalación de acuerdo con las instrucciones del fabricante, puede descartarse la formación de condensación o un mayor riesgo de moho en la superficie lateral de la habitación. Mediante la simulación MEF, se determinó un valor f_{Rsi} de 0,97 para un espesor de aislamiento de 160 mm. Con 100 mm de espesor del aislamiento normal, el valor f_{Rsi} es de 0,96.

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

Con θ_{si} : Temperatura mínima de la superficie interna a partir de la simulación del flujo de calor [°C]

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

θ_e : Temperatura exterior de la simulación del flujo de calor [°C]

θ_i : Temperatura interior de la simulación del flujo de calor [°C]

Los coeficientes de pérdida por puente térmico se determinaron en un sistema de aislamiento térmico exterior con una capa aislante que tiene una conductividad térmica de 0,032 W/mK. Si la conductividad térmica de la capa aislante normal es menor, aumentan los coeficientes de pérdida por puente térmico.

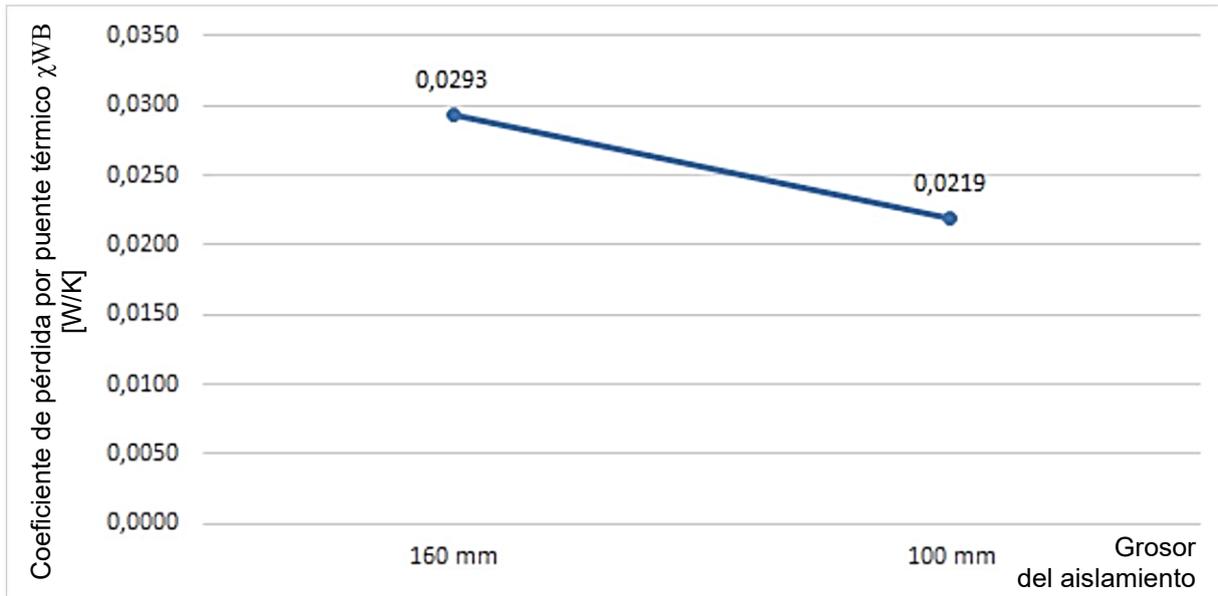


Diagrama 1: Resumen de los resultados de la simulación MEF

Nota: Los coeficientes de pérdida por puente térmico para espesores de aislamiento comprendidos entre 100 mm y 160 mm pueden extraerse aproximadamente del diagrama.

SOLIDO - Resultados de los cálculos

Fichero de datos SOLIDO: 160_opt.sld

Número de nodos = 3635602

Divergencia del flujo de calor para el objeto total = 6,27527e-009

Divergencia del flujo térmico para el peor nodo = 200

Col.	Tipo	Nombre	tmin [°C]	Nodo	tmax [°C]	Nodo
4	MATERIAL	HIPS	-10.04366	263396	16.57837	187188
6	MATERIAL	Aislamiento térmico	-9.71980	63457	18.69229	18386
7	MATERIAL	Vidrio	-8.24220	2723634	-7.53927	2237817
11	MATERIAL	Tornillo	15.41272	1759340	16.30406	1778739
20	MATERIAL	Yeso interior	19.00848	2347370	19.53744	19218
44	MATERIAL	Yeso exterior	-9.83452	64308	-7.49681	1624377
79	MATERIAL	Pavimento	18.49609	2194071	19.65599	19242
101	MATERIAL	Aislamiento acústico de impacto	16.55509	2097867	19.62175	19241
104	MATERIAL	Hormigón armado	15.80685	1797405	19.42998	19230
106	MATERIAL	Cable_eq	13.76520	1860978	17.17819	3556685
159	MATERIAL	Madera	18.65913	2174841	19.84227	19243
165	MATERIAL	NEOPOR	-3.69348	1334262	16.11366	166943
171	BC_SIMPL	BCE	-10.04366	263396	-7.76893	2547337
174	BC_SIMPL	BCI - HFhorizontal	19.20445	2347508	19.53744	19218

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

175	BC_SIMPL	BCI - HFvertical	19.37693	2136356	19.84227	19243
181	MATERIAL	Tacos	15.80304	1778305	16.34549	1797983
192	MATERIAL	Aire	-9.41695	116891	16.69784	1229982
193	MATERIAL	Aire	-4.00652	1277104	16.60755	129459
200	MATERIAL	EQ	-6.01031	253236	-2.56476	3359203

Nodo	X	Y	Z
263396	400.00	546.25	562.20
187188	395.10	553.41	750.00
63457	300.00	482.50	590.00
18386	0.00	825.00	607.31
2723634	559.99	531.18	582.50
2237817	528.75	480.00	585.00
1759340	497.79	501.13	740.29
1778739	498.75	502.50	780.44
2347370	535.00	1000.00	747.82
19218	0.00	1250.00	735.00
64308	300.00	490.00	575.00
1624377	488.75	500.00	583.83
2194071	526.25	0.00	955.00
19242	0.00	1250.00	1015.00
2097867	520.00	0.00	925.00
19241	0.00	1250.00	955.00
1797405	500.00	497.50	750.00
19230	0.00	1250.00	750.00
1860978	503.61	548.75	726.83
3556685	636.36	584.62	884.73
2174841	525.00	0.00	1015.00
19243	0.00	1250.00	1040.00
1334262	470.00	486.25	720.22
166943	393.89	545.00	748.50
263396	400.00	546.25	562.20
2547337	548.75	500.00	582.50
2347508	535.00	1015.00	722.73
19218	0.00	1250.00	735.00
2136356	522.50	0.00	1040.00
19243	0.00	1250.00	1040.00
1778305	498.17	498.31	750.00
1797983	499.97	502.70	781.69
116891	390.76	445.31	584.14
1229982	462.76	588.75	750.00
1277104	466.25	491.25	719.04
129459	390.76	553.75	750.00
253236	400.27	457.91	589.11
3359203	600.77	541.25	719.04

Col.	Tipo	Nombre	ta [°C]	Flujo de entrada [W]	Flujo de salida [W]
171	BC_SIMPL	BCE		0.00056	8.33197
174	BC_SIMPL	BCI - HFhorizontal		5.22744	0.00000
175	BC_SIMPL	BCI - HFvertical		3.10390	0.00000

SOLIDO - Resultados de los cálculos

Fichero de datos SOLIDO: 100_opt.sld

Número de nodos = 2644232

Divergencia del flujo de calor para el objeto total = 0,000237157

Divergencia del flujo térmico para el peor nodo = 0,996053

Col.	Tipo	Nombre	tmin	Nodo	tmax	Nodo
------	------	--------	------	------	------	------

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

			[°C]		[°C]	
4	MATERIAL	HIPS	-9.39332	96533	15.25927	159837
6	MATERIAL	Aislamiento térmico	-9.53849	1474601	17.91506	12899
7	MATERIAL	Vidrio	-8.39476	1938965	-7.87590	1860251
11	MATERIAL	Tornillo	14.07774	1275013	14.95761	1288772
20	MATERIAL	Yeso interior	18.45705	1881656	19.28205	13623
44	MATERIAL	Yeso exterior	-9.69848	1365295	-7.63889	12809
79	MATERIAL	Pavimento	17.83644	1746460	19.46983	13649
101	MATERIAL	Aislamiento acústico de impacto	15.04251	1651459	19.41676	13648
104	MATERIAL	Hormigón armado	14.47414	1302027	19.11523	13635
106	MATERIAL	Cable_eq	12.22923	1346976	15.95936	2560633
159	MATERIAL	Madera	18.07104	1719333	19.75684	13650
165	MATERIAL	NEOPOR	-5.11733	973521	14.74434	145500
171	BC_SIMPL	BCE	-9.69848	1365295	-8.02552	1860249
174	BC_SIMPL	BCI - HFhorizontal	18.75510	1922414	19.28205	13623
175	BC_SIMPL	BCI - HFvertical	19.10353	1732898	19.75684	13650
181	MATERIAL	Tacos	14.47156	1288475	14.99624	1302423
192	MATERIAL	Aire	-9.32825	110282	15.41055	899289
193	MATERIAL	Aire	-5.43949	810406	15.28575	118887
200	MATERIAL	EQ	-6.44100	206816	-4.05965	2407214

Nodo	X	Y	Z
96533	390.00	443.74	642.43
159837	395.10	553.41	750.00
1474601	516.25	362.00	650.00
12899	0.00	825.00	0.00
1938965	558.67	468.03	642.50
1860251	551.25	501.25	645.50
1275013	497.79	501.13	740.29
1288772	498.75	502.50	780.44
1881656	552.50	1000.00	746.56
13623	0.00	1250.00	735.00
1365295	506.25	346.00	635.00
12809	0.00	725.00	649.96
1746460	541.25	0.00	955.00
13649	0.00	1250.00	1015.00
1651459	532.50	0.00	925.00
13648	0.00	1250.00	955.00
1302027	500.00	497.50	750.00
13635	0.00	1250.00	750.00
1346976	503.61	548.75	726.83
2560633	632.99	586.67	884.73
1719333	538.75	0.00	1015.00
13650	0.00	1250.00	1040.00
973521	470.00	486.25	720.22
145500	393.89	545.00	748.50
1365295	506.25	346.00	635.00
1860249	551.25	501.25	642.50
1922414	556.25	1015.00	716.46
13623	0.00	1250.00	735.00
1732898	540.00	0.00	1040.00
13650	0.00	1250.00	1040.00
1288475	498.17	498.31	750.00
1302423	499.97	502.70	781.69
110282	390.76	445.26	644.16
899289	462.76	588.75	750.00
810406	455.00	495.00	719.04
118887	390.76	553.75	750.00
206816	400.27	457.91	649.11
2407214	600.77	541.25	719.04

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

Col.	Tipo	Nombre	ta [°C]	Flujo de entrada [W]	Flujo de salida [W]
171	BC_SIMPL	BCE		0.00000	12.78671
174	BC_SIMPL	BCI - HFhorizontal		8.24496	0.00000
175	BC_SIMPL	BCI - HFvertical		4.54145	0.00000

En la página siguiente se muestran los modelos de cálculo y las visualizaciones de isotermas y curvas de temperatura asociadas.

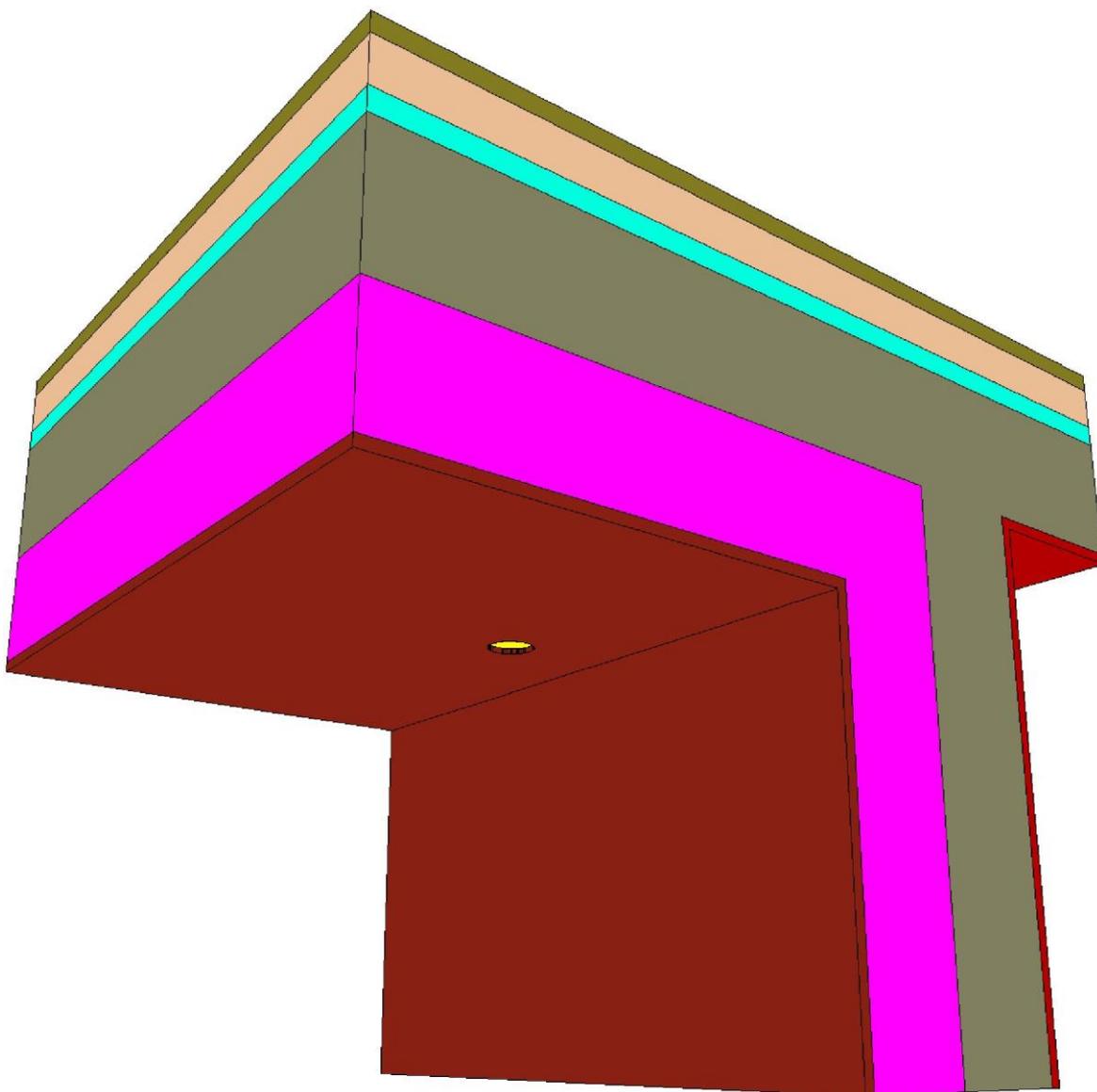
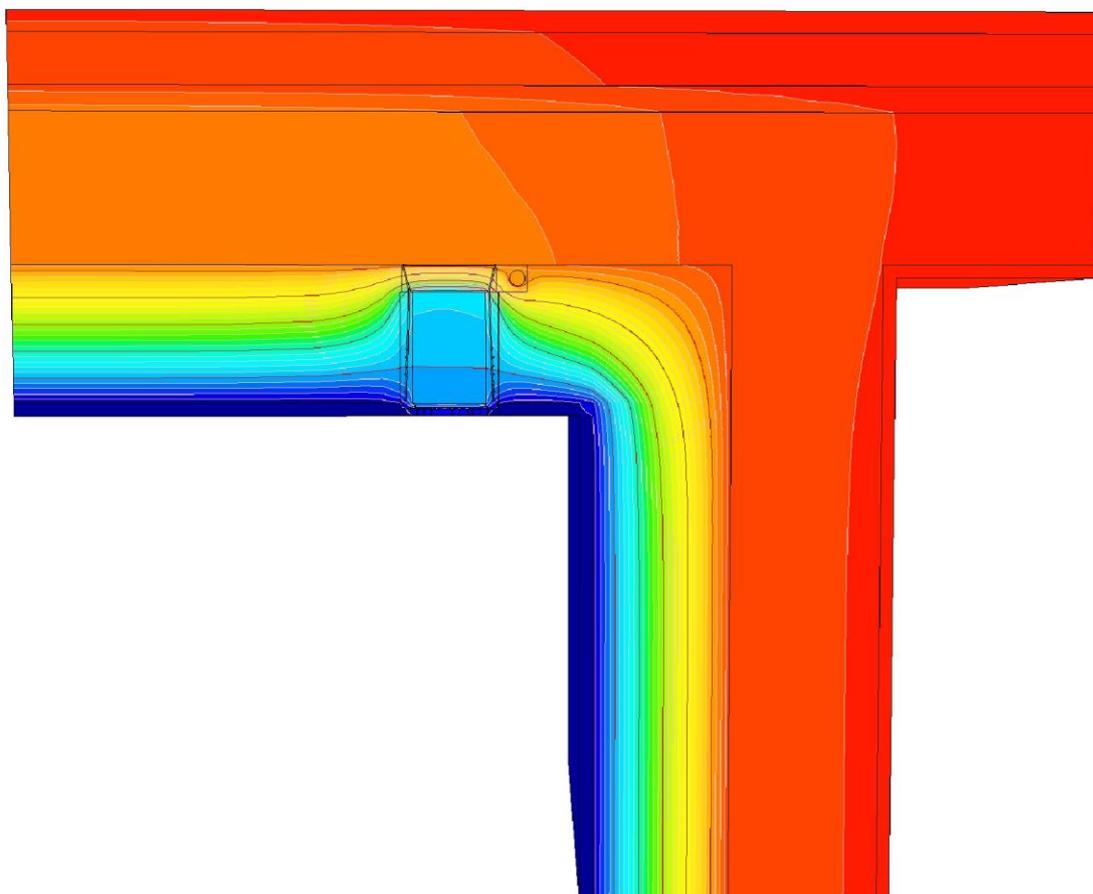
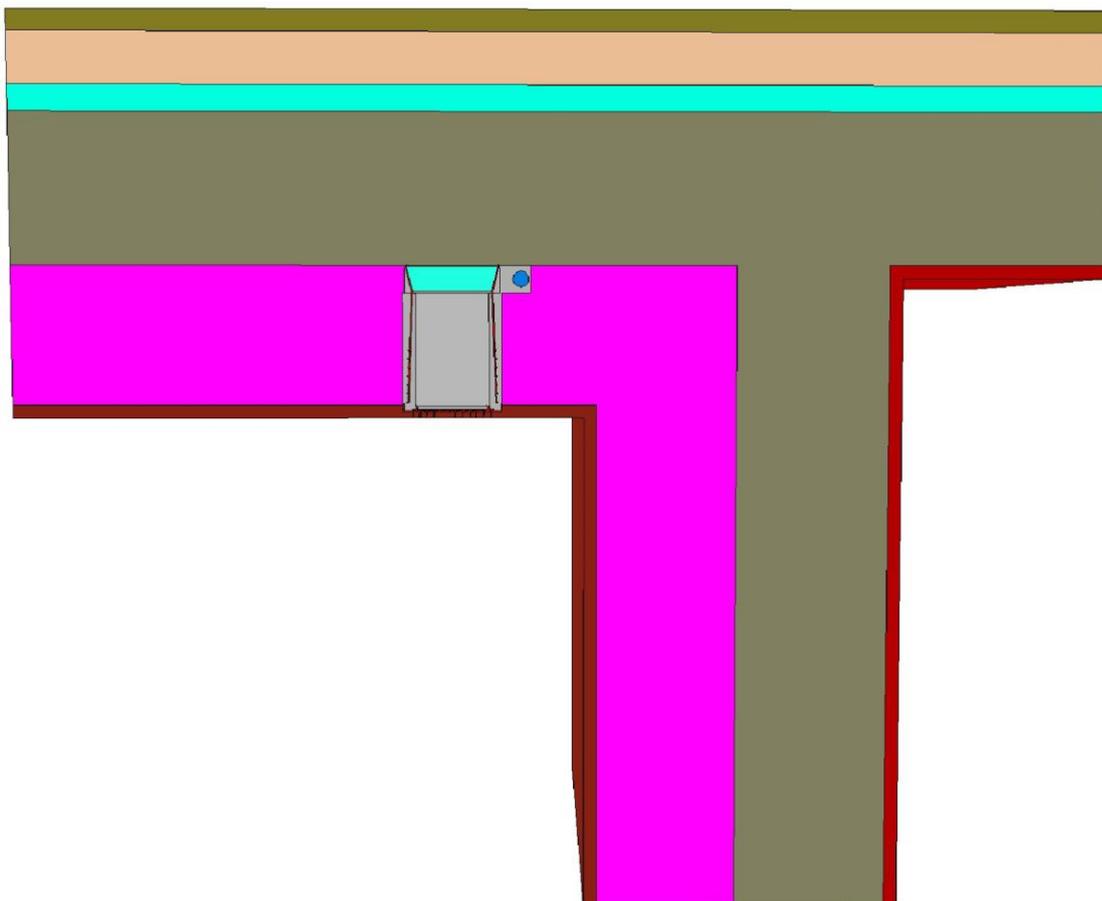


Figura 4: Modelo de representación de 160 mm de grosor de aislamiento



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

Figura 5: Material y diagrama isotérmico, sección vertical (aislamiento de 160 mm)

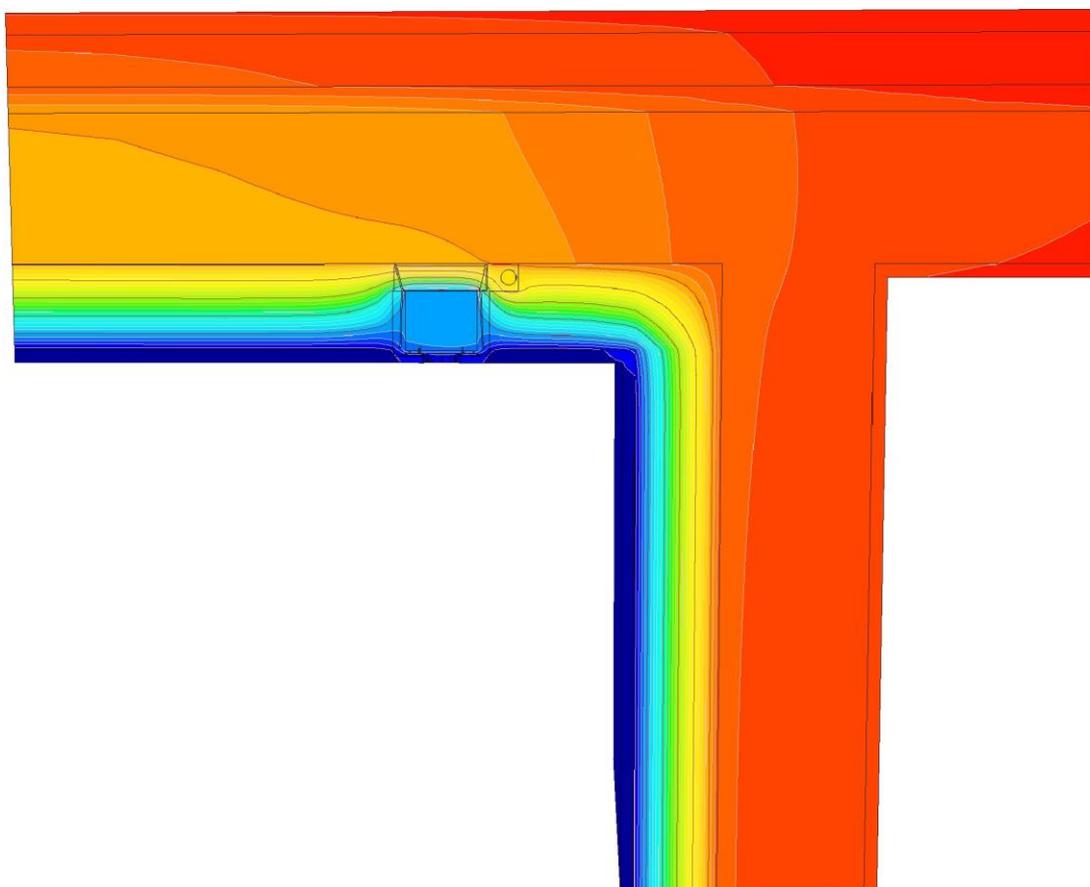
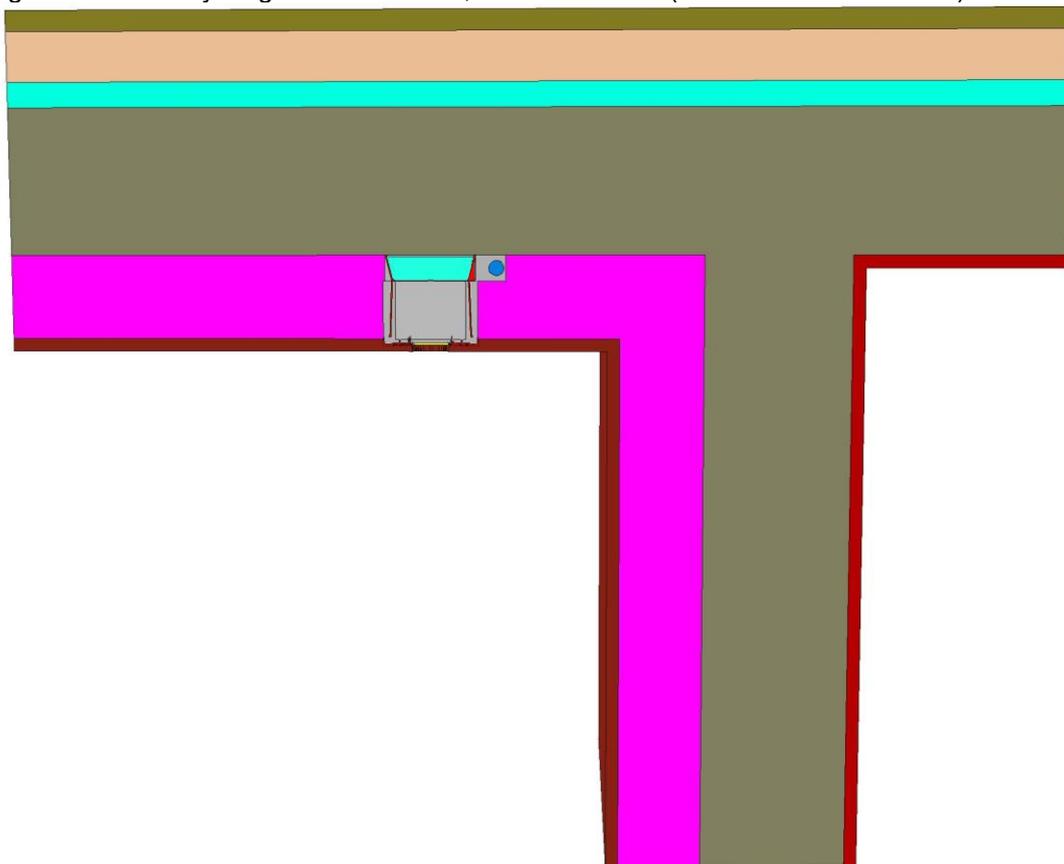


Figura 6: Material y diagrama isotérmico, sección vertical (aislamiento de 100 mm)

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

KAISER 160 mm de grosor de aislamiento	hsi = 7,69, hse = 25
T _i [°C]	20,0
T _a [°C]	-10,0
Q _{Sólido, inalterado} [W]	7,45221
Q _{Sólido, WB} [W]	8,33197
T _{min, WB} [°C]	19,20
U _{pared} [W/(m²K)]	0,2484
χ _{WB} [W/K]	0,0293
U _{eq WB} [W/(m²K)]	0,2777
Mod. 1 (casa adosada final)	
Cantidad	60,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]	1,75952
Superficie (AW al aire exterior) [m²]	184,2
ΔU [W/m²K]	0,00955
Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	0,010
¿Se cumplen los requisitos?	sí
Mod. 2 (edificios no residenciales)	
Cantidad	290,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]	8,504346667
Superficie (AW al aire exterior) [m²]	867,9
ΔU [W/m²K]	0,00980
Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	0,010
¿Se cumplen los requisitos?	sí
KAISER 100 mm de grosor de aislamiento	hsi = 7,69, hse = 25
T _i [°C]	20,0
T _a [°C]	-10,0
Q _{Sólido, inalterado} [W]	12,13059
Q _{Sólido, WB} [W]	12,78671
T _{min, WB} [°C]	18,75
U _{pared} [W/(m²K)]	0,4044
χ _{WB} [W/K]	0,0219
U _{eq WB} [W/(m²K)]	0,4262
Mod. 1 (casa adosada final)	
Cantidad	80,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]	1,749653333
Superficie (AW al aire exterior) [m²]	184,2
ΔU [W/m²K]	0,00950
Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	0,010
¿Se cumplen los requisitos?	sí
Mod. 2 (edificios no residenciales)	
Cantidad	380,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]	8,310853333
Superficie (AW al aire exterior) [m²]	867,9
ΔU [W/m²K]	0,00958
Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	0,010
¿Se cumplen los requisitos?	sí

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

Tabla 1: Resumen de los resultados de la simulación

5 Resumen

El sistema de carcadas empotradas de KAISER GmbH & Co. KG representa un diseño exitoso en cuanto a los parámetros comprobados. Las pérdidas de calor adicionales causadas por el puente térmico constructivo también pueden compensarse en el segmento de nueva construcción de alto consumo energético y también son adecuadas para su uso en casas pasivas. No obstante, deben tenerse en cuenta en el balance energético, especialmente si se instala un número relativamente elevado de luminarias. 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 según la estructura analizada. Las temperaturas superficiales superan los 19 °C incluso con una temperatura exterior de -10 °C en Esto casi corresponde a la temperatura superficial de la pared no alterada.