

Simulación Tridimensional del flujo de calor para la determinación de

## Coeficientes de pérdida por puente térmico de carcasas 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 carcasas 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 carcasa 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	Nombre	Pat.	Malla	λ	3	θ	h
	CEN				[W/mK]	[-]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> K]
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			

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	$m^2K/W$
Temperatura interior:	20	°C
Resistencia térmica interna:	0,13	$m^2K/W$
Resistencia térmica vertical:	0,17	m²K/W

#### 3 Modelización

Las carcasas 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.

					1	
1 Standard-WD	VS					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur	9	r		-		
	Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> K/W]	innen Rs :	0,13	-		
		außen R <sub>se</sub> :	0,04			
						Summe Breite
Teilfläche 1	λ [W/(mK)] Teilfläche 2 (optional)		λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	у [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Innenputz	0,600					15
2. Stahlbeton	2,300					175
3. Dämmung	0,032					160
4. Außenputz	0,700					15
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächens	nteil Teilfläche	2	Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
				1		36.5
		l		<b>_</b>		
				0.400	10	
				U-Wert: 0,189	12 W/(m²K)	
2 Standard-WD						
Deuteil Ma Deuteil Demaishaus	v3					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur	9 Wärmeilbernanoswiderstand [m²K/W]	innen R.e.	0.13	1		
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur	g Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]	innen Rs :	0,13	1		
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur	v 3 19 Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]	innen R <sub>s</sub> : außen R <sub>sa</sub> :	0,13 0,04	]		
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur	9 Wärmeübergangswiderstand [m²KW]	innen R <sub>s</sub> : außen R <sub>se</sub> :	0,13	]		Summe Breite
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnun Teilfläche 1	<ul> <li>Wärmeübergangswiderstand [m²KW]</li> <li>λ [W/(mK)] Teifläche 2 (optional)</li> </ul>	innen R <sub>5</sub> : außen R <sub>50</sub> :	0,13 0,04 λ[W/(mk)]	Teilfläche 3 (optional)	y [M/(ως)]	Summe Breite Dicke [mm]
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz	y Wärmeübergangswiderstand [m²KW] λ [W(mK)] Teilfläche 2 (optional) 0 , 600	innen R <sub>5</sub> : außen R <sub>50</sub> :	0,13 0,04 λ[W/(mK)]	Teiffáche 3 (optional)	λ [W/(m<)]	Summe Breite Dicke [mm] 15
Bautei Nr. Bautei-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton	Wärmeübergangswiderstand [m²KW]	innen R <sub>s</sub> : außen R <sub>se</sub> :	0,13 0,04 λ[W/(mic)]	Teifláche 3 (optional)	y [m/(mc)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175
Bautei Nr. Bauteil-Bezeichnur Teilläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung	Wärneübergangswiderstand [m²K/W]	innen R <sub>5</sub> : außen R <sub>50</sub> :	0,13 0,04 λ[W/(mk)]	Teilflache 3 (optional)	y [M:/(ux2)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teilliäche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz	γ.3	innen R <sub>5</sub> : außen R <sub>55</sub> :	0,13 0,04 λ[W/(mk)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mc)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz 5.	γ.3	innen R <sub>5</sub> : außen R <sub>55</sub> :	0,13 0,04 2.[W/(mk)]	Teifláche 3 (optional)	2 [W/(mc)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämung 4. Außenputz 5.	γ.3	innen R <sub>2</sub> ; außen R <sub>50</sub> ;	0,13 0,04 2.[w/(mk)]	Teifláche 3 (optional)	γ (w.(uec)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15
Bautei Nr. Bautei-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz 5. 6. 7.	γ.3	innen R <sub>2</sub> ; außen R <sub>50</sub> ;	0,13 0,04 2,[w/(mkg]	Teiflische 3 (optional)	λ [W/(mk)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15
Bautei Nr. Bautei-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämnung 4. Außenputz 5	γ.3	innen Rs : außen Rss :	0,13 0,04 λ [w/(mk)]	Teiflische 3 (optional)	λ [Wi(mc)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teilfläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz 5. 6. 7. 8.	v.3	innen Rs : außen Rss :	0,13 0,04 λ [W/(mk)]	Teilflache 3 (optional)	λ (W/(mc))	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15 15
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teilliäche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz 5. 6. 7. 8.	V ärmeübergangswiderstand [m²KW]	innen Rs : außen Rss : Flächens	0 , 13 0 , 04 λ [W/(mk)]	Teilflache 3 (optional)	λ (W/(mc))	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15 
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämmung 4. Außenputz 5	v.3 Wärmeübergangswiderstand [m²KW]	innen Rs : außen Rss : Flächena	0 , 13 0 , 04 λ [W/(mk)]	Teiffáche 3 (optional)	λ (W/(mc))	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15 15 Summe 30,5 cm
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teiffläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Däumung 4. Außenputz 5	Wärneübergangswiderstand [m²K/W]	innen Rs : außen Rss :	0,13 0,04 $\lambda$ (W/(mk)) nteil Teilfläche	Teifláche 3 (optional)	λ [W/(mc)]	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15 15 Summe 30,5 cm
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnur Teillläche 1 1. Innenputz 2. Stahlbeton 3. Dämung 4. Außenputz 5. 6. 7. 8.	y Wärmeübergangswiderstand [m <sup>2</sup> KW] λ [M(mk)] Teiffläche 2 (optional) 0,600 2,300 0,032 0,700 0,700 0,032 0,700	innen R <sub>2</sub> : außen R <sub>50</sub> :	0,13 0,04 2,[W/(mk)]	Teifliache 3 (optional)	λ [W/(msc)] Flächenanteil Teilfläche 3	Summe Breite Dicke [mm] 15 175 100 15 15 Summe 30,5 orn

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

3 Standard-WDVS	Deckenaufbau					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung				1		
	Wärmeübergangswiderstand [m²K/W	] innen R <sub>s</sub> :	0,16			
		außen R <sub>sa</sub> :	0,04	J		
						Summe Breite
Teilfläche 1	λ [W/(mK)] Teilfläche 2 (optional)		λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Holzboden	0,130					25
2. Estrich	1,400					60
3. Trittschalldämmung	0,060					30
4. Stahlbeton	2,300					175
5. Dämmung	0,032					160
6. Außenputz	0,700					15
7.						
8.						
		Flächena	nteil Teilfläche 3	,	Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
				1		46.5 m
		L		J		10,0
				U-Wert: 0,10	W/(m²K)	
4 Standard-WDVS	Deckenaufbau					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung				1		
	warmeubergangswiderstand [m.iv/w	innen Ks:	0,16	-		
		ausen R <sub>sa</sub> :	0,04	J		
						Summe Breite
Teilfläche 1	<sup>7</sup> [W/(mK)] Teilfläche 2 (optional)		y [M/(mk)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Holzboden	0,130					25
2. Estrich	1,400					60
3. Trittschalldämmung	0,060					30
4. Stahlbeton	2,300					175
5. Dämmung	0,032					100
6. Außenputz	0,700					15
7.						
8.						
	14	Flächens	nteil Teilfläche 2	2	Flächenanteil Teilfläche 3	Summe
				1		40.5 cm
		l		J		
				II Worth 0.24	052 W/(m2k)	
				0-wert: 0,24	WJZ W(mex)	

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  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  mm. Aumenta hacia los bordes del modelo. El modelo comprende un total de aproximadamente 6.100.000 nodos.

Las distintas carcasas empotradas se modelan con las estructuras de pared de referencia y se calcula su coeficiente de pérdida por puente térmico puntual (X<sub>WB</sub> en W/K). 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 - 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  $\Phi_{3D}$ .

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  $\theta_{si}$ :

Temperatura mínima de la superficie interna a partir de la simulación del flujo de calor [°C]

 $\theta_{e}$ : Temperatura exterior de la simulación del flujo de calor [°C]

 $\theta_i$ : 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	Nodo	tmax	Nodo
			[ C]		[ C]	
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	16.55509	2097867	19.62175	19241
		acústico de impacto				
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

175 181 192 193 200	BC_SIMPL MATERIAL MATERIAL MATERIAL MATERIAL	BCI - Tacos Aire Aire EQ	HFvertical	19.37693 15.80304 -9.41695 -4.00652 -6.01031	2136356 1778305 116891 1277104 253236	19.84227 16.34549 16.69784 16.60755 -2.56476	19243 1797983 1229982 129459 3359203
No	odo	Х	Y	Z			
2633	396	400.00	546.25	562.20			
1871	188	395.10	553.41	750.00			
634	457	300.00	482.50	590.00			
183	386	0.00	825.00	607.31			
2723	634	559.99	531.18	582.50			
22378	817	528.75	480.00	585.00			
17593	340	497.79	501.13	740.29			
1778	739	498.75	502.50	780.44			
23473	370	535.00	1000.00	747.82			
192	218	0.00	1250.00	735.00			
643	308	300.00	490.00	575.00			
16243	377	488.75	500.00	583.83			
21940	071	526.25	0.00	955.00			
192	242	0.00	1250.00	1015.00			
20978	367	520.00	0.00	925.00			
192	241	0.00	1250.00	955.00			
17974	405	500.00	497.50	750.00			
192	230	0.00	1250.00	750.00			
18609	978	503.61	548.75	726.83			
35560	685	636.36	584.62	884.73			
21/48	841	525.00	0.00	1015.00			
1224	243	0.00	1250.00	1040.00			
13342	262	4/0.00	486.25	720.22			
1665	943	393.89	545.00	748.50			
263.	396	400.00	546.25	562.20			
2547.	337 500	548.75	500.00 1015 00	582.5U			
23473		0.00	1015.00	725.00			
192	210	0.00	1250.00	1040 00			
2130.	300	522.50	1250.00	1040.00			
1770'	243	0.00 100 17	100 21	750.00			
17070	202	490.17	490.JI	791 60			
1160	903	499.97	JUZ.70	701.09 507 17			
12200	092 092	162 76	588 75	750 00			
1229.	104	402.70	101 25	719 04			
120/	159	300.25	553 75	750 00			
253	236	400 27	157 91	589 11			
33592	203	600.27	541 25	719 04			
55572	200	000.77	541.25	110.01			
Col.	Tipo	Nombr	е	ta	Fluio de	Fluio	de
	1 -		-	[°C]	entrada	sali	da
					[W]	[]	W ]
171	BC SIMPI	L BCE			0.00056	8.331	97
174	BC SIMPI	L BCI -	HFhorizont	al	5.22744	0.000	00
175	BC SIMPI	BCI -	HFvertical		3.10390	0.000	00
	_						
SOLII	00 - Resu	ltados d	de los cálc	ulos			
Fiche	ero de da	atos SOLI	IDO: 100_op	t.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
--	------	------	--------	------	------	------	------

					[°C]		[°C]	
4	MATERIAL	HIPS	-		-9.39332	96533	15.25927	159837
6	MATERIAL	Aislar	miento térmio	0	-9.53849	1474601	17.91506	12899
7	MATERIAL	Vidrio	C		-8.39476	1938965	-7.87590	1860251
11	MATERIAL	Torni	110		14.07774	1275013	14.95761	1288772
20	MATERIAL	Yeso :	interior		18.45705	1881656	19.28205	13623
44	MATERIAL	Yeso e	exterior		-9.69848	1365295	-7.63889	12809
79	MATERIAL	Pavime	ento		17.83644	1746460	19.46983	13649
101	MATERIAL	Aislar	miento		15.04251	1651459	19.41676	13648
		acúst:	ico de impact	0				
104	MATERIAL	Hormid	gón armado		14.47414	1302027	19.11523	13635
106	MATERIAL	Cable	ea		12.22923	1346976	15.95936	2560633
159	MATERIAL	Madera	_~~		18 07104	1719333	19 75684	13650
165	MATERIAL	NEOPOR	 R		-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 -	HEvertical	-	19 10353	1732898	19 75684	13650
181	MATERIAL	Tacos	III VCI CICUI		14 47156	1288475	14 99624	1302423
192	MATERIAL	Airo			-9 32825	110282	15 /1055	8002920
103	MAIERIAL	Airo			-9.52025	810406	15 28575	1199209
200	MAIERIAL	FO			-5.43949	206916	-1 05965	2407214
200	MAIERIAL	ЕŲ			-0.44100	200010	-4.05905	2407214
Nc	ndo	x	Y		7.			
965	333 3	90 00	443 74	642	43			
1598	xx7 x	95 10	553 41	750	.40			
1/7/6	501 5	16 25	362 00	650	.00			
100		10.23	925 00	0.00	.00			
10200		50 67	023.00	612	.00			
10605		50.07 51 25	400.0J	642				
10002	201 0 10 1	07 70	501.25 501.12	740	.30			
12/00	170 4	91.19	501.15	740	. 29			
1001		98.75	502.50	780	.44			
10010		52.50	1000.00	746	.56			
12650		0.00	1250.00	/35	.00			
13652	295 5	06.25	346.00	635	.00			
17464	309 160 F	0.00	725.00	649	.96			
1/464	160 5	41.25	0.00	955	.00			
1651	549	0.00	1250.00	1015	.00			
16514	159 5	32.50	0.00	925	.00			
136	548	0.00	1250.00	955	.00			
13020	)27 5	00.00	497.50	750	.00			
136	535	0.00	1250.00	750	.00			
13469	976 5	03.61	548.75	726	.83			
25606	533 6	32.99	586.67	884	.73			
17193	333 5	38.75	0.00	1015	.00			
136	50	0.00	1250.00	LU40	.00			
9735	o21 4	/0.00	486.25	720	.22			
1455	500 3	93.89	545.00	748	.50			
13652	295 5	06.25	346.00	635	.00			
18602	249 5	51.25	501.25	642	.50			
19224	114 5	56.25	1015.00	716	.46			
136	523	0.00	1250.00	735	.00			
17328	398 5	40.00	0.00	1040	.00			
136	550	0.00	1250.00	1040	.00			
12884	175 4	98.17	498.31	750	.00			
13024	123 4	99.97	502.70	781	.69			
1102	282 3	90.76	445.26	644	.16			
8992	289 4	62.76	588.75	750	.00			
8104	106 4	55.00	495.00	719	.04			
1188	387 3	90.76	553.75	750	.00			
2068	316 4	00.27	457.91	649	.11			
24072	214 6	00.77	541.25	719	.04			

Col.	Tipo	Nombre	ta	Flujo de	Flujo de
			[°C]	entrada	salida
				[W]	[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





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. Documentación para la simulación del flujo térmico de carcasas de instalaciones en SATE - KAISER GmbH & Co. KG

KAISER 160 mm de grosor de aislamiento	hsi = 7,69, hse = 25
T <sub>i</sub> [°C]	20,0
T <sub>a</sub> [°C]	-10,0
Q <sub>Solido, inalterado</sub> [W]	7,45221
Q <sub>Solido, WB</sub> [W]	8,33197
T <sub>min, WB</sub> [°C]	19,20
U <sub>pared</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,2484
χ <sub>we</sub> [W/K]	0,0293
Ueg WB [W/(m <sup>2</sup> K)]	0.2777
	•,
Mod. 1 (casa adosada final)	
Cantidad	60,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]	1,75952
Superficie (AW al aire exterior) [m <sup>2</sup> ]	184,2
ΔU [W/m²K]	0,00955
Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	0,010
¿Se cumplen los reguisitos?	SÍ
Mod. 2 (edificios no residenciales)	
Cantidad	290.00
Cantinau	8.504346667
$\Sigma$ adicional. Pérdidas [W/K]	-,
Σ adicional. Pérdidas [W/K] Superficie (AW al aire exterior) [m²]	867.9
Σ adicional. Pérdidas [W/K] Superficie (AW al aire exterior) [m²] ΔU [W/m²K]	867,9 0.00980
Σ adicional. Pérdidas [W/K] Superficie (AW al aire exterior) [m <sup>2</sup> ] ΔU [W/m <sup>2</sup> K] Valor límite libre de puentes térmicos [W/m <sup>2</sup> K]	867,9 0,00980 0.010
Σ adicional. Pérdidas [W/K] Superficie (AW al aire exterior) [m <sup>2</sup> ] ΔU [W/m <sup>2</sup> K] Valor límite libre de puentes térmicos [W/m <sup>2</sup> K] ¿Se cumplen los requisitos?	867,9 0,00980 0,010 sí
Σ adicional. Pérdidas [W/K] Superficie (AW al aire exterior) [m <sup>2</sup> ] ΔU [W/m <sup>2</sup> K] Valor límite libre de puentes térmicos [W/m <sup>2</sup> K] ¿Se cumplen los requisitos? KAISER 100 mm de grosor de aislamiento	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         T <sub>a</sub> [°C]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, WB [W]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Ta [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         T <sub>min, wB</sub> [°C]         U <sub>pared</sub> [W/(m²K)]         χwB [W/K]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219
Σ adicional. Pérdidas [W/K]Superficie (AW al aire exterior) $[m^2]$ ΔU [W/m²K]Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]¿Se cumplen los requisitos?KAISER 100 mm de grosor de aislamientoT <sub>i</sub> [°C]T <sub>a</sub> [°C]Qsolido, inalterado [W]QSolido, wB [W]T <sub>min, WB</sub> [°C]Upared [W/(m²K)]χwB [W/K]Ueq WB [W/(m²K)]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         T <sub>min, wB</sub> [°C]         Upared [W/(m²K)]         χwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         T <sub>min, wB</sub> [°C]         Upared [W/(m²K)]         χwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         Σ adicional. Pérdidas [W/K]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         T <sub>min</sub> , wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         χwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         T <sub>i</sub> [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         T <sub>min</sub> , wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         χwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K1	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950 0,010
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Ta [°C]         QSolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950 0,010 sí
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)	867,9         0,00980         0,010         sí         hsi = 7,69, hse = 25         20,0         -10,0         12,13059         12,78671         18,75         0,4044         0,0219         0,4262         80,00         1,749653333         184,2         0,00950         0,010         sí
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Ta [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950 0,010 sí 380,00
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Ta [°C]         QSolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ se cumplen los requisitos?	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Ta [°C]         Qsolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         XwB [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qasolido, inalterado [W]         QSolido, wB [W]         Tmin, wB [°C]         Upared [W/(m²K)]         Ww [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950 0,010 sí 380,00 8,310853333 867,9 0.00958
Σ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         KAISER 100 mm de grosor de aislamiento         Ti [°C]         Qasolido, inalterado [W]         QSolido, wb [W]         Tmin, wb [°C]         Upared [W/(m²K)]         Xwb [W/K]         Ueq WB [W/(m²K)]         Mod. 1 (casa adosada final)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]         ¿Se cumplen los requisitos?         Mod. 2 (edificios no residenciales)         Cantidad         ∑ adicional. Pérdidas [W/K]         Superficie (AW al aire exterior) [m²]         ΔU [W/m²K]         Valor límite libre de puentes térmicos [W/m²K]	867,9 0,00980 0,010 sí hsi = 7,69, hse = 25 20,0 -10,0 12,13059 12,78671 18,75 0,4044 0,0219 0,4262 0,4262 80,00 1,749653333 184,2 0,00950 0,010 sí 380,00 8,310853333 867,9 0,00958 0,010

Documentación para la simulación del flujo térmico de carcasas de instalaciones en SATE - KAISER GmbH & Co. KG

Tabla 1: Resumen de los resultados de la simulación

#### 5 Resumen

El sistema de carcasas 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.