**Informe nº: 0000Y0S/0 zk-ko txostena****ESKATZAILEAREN DATUAK / DATOS DEL PETICIONARIO:**

Izen-abizenak / Nombre...: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

Helbidea / Domicilio.....: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Herria / Localidad.....: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ENTSEIATU BEHARREKO MATERIALA / MATERIAL A ENSAYAR:TS-0000-0. Bloque de Hormigón Aligerado. Referencia
del Fabricante: "BG5015TX"**ESKATUTAKO ENTSEIUAUAK / ENSAYOS SOLICITADOS:**

Determinación de las propiedades térmicas de un bloque de hormigón aligerado mediante simulación con software de Dinámica de Fluidos Computacional, según normas UNE-EN 1745:2002, UNE-EN ISO 6946:1996, UNE-EN ISO 10456:1996 y el reglamento de cálculo RP 34.14 del mercado AENOR.

Egiaztagirri honek laborategian jasotako laginei egindako entseiuen emaitzen azalpena jasotzen du, hortaz, Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza Zuzendaritzako Etxegitzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiak bakar-bakarrik du berak entseiatutako ezaugarrien erantzukizuna, alegia, jasotako laginei dagozkienak eta ez produktuari oro har. Hemen biltzen diren ondorioek ez dituzte inolaz ere gainditzen entseiu horiek finkatzea uzten dituzten eragina eta esanahia.

Ez zaie egiaztagirri honen berririk emango hirugarrenei, eskatzaileak berariazko baimena eman ezean, lan horiek izaera partikular eta isilpekoa baitute.

Ez da agiri hau koptiatu edota argitaratzeko baimenik ematen, Eusko Jaurlaritzako Etxebizitza Zuzendaritzako Etxegitzaren Kalitatea Kontrolatzeko Laborategiak idatzizko baimena eman ezean, entseiuan lortutako emaitza guztiak jaso beharko direla bertan.

Egiaztagirri hau Eusko Jaurlaritzak Euskal Herriko Unibertsitatearekiko egindako lankidetzahitzarmena oinarri hartuta, Eusko Jaurlaritzaren Eraikuntzaren Kalitate Kontrolerako Laborategiko Area Termikoa garatzekoa, Jaurlaritzaren Idazkaritzako eta Legebiltzarrearekiko Harremanetarako zuzendariaren abuztuaren leku 10/2005 Ebazpenaren arabera.

Este certificado contiene la exposición de los resultados obtenidos en los ensayos a que han sido sometidas las muestras recibidas en el Laboratorio, por lo que el Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda del Gobierno Vasco responde únicamente de las características por él ensayadas, referidas a las muestras recibidas y no al producto en general, y las conclusiones que aquí se formulan no exceden, en ningún caso, el alcance y significado que permiten establecer dichos ensayos.

De este certificado no se facilitará información a terceros, salvo autorización expresa del peticionario, considerando estos trabajos de carácter particular y confidencial.

No se autoriza la transcripción y/o publicación de este documento sin el consentimiento por escrito del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda del Gobierno Vasco, debiendo reflejarse en ella todos los resultados obtenidos en el ensayo.

Este certificado se ha emitido en base al convenio celebrado por el Gobierno Vasco, de colaboración con la Universidad del País Vasco para el desarrollo del Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco, publicado según Resolución 10/2005, de 1 de agosto, del Director de la Secretaría del Gobierno y de Relaciones con el Parlamento.

Vitoria-Gasteiz, XXXXko XXXXXaren XXa
En Vitoria-Gasteiz, a XX de XXXXXX de XXXX



CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	4
Objeto	5
Datos del solicitante	5
1. VALOR DE CONDUCTIVIDAD PARA EL HORMIGON ALIGERADO	6
2. DEFINICION DE GEOMETRIAS A SIMULAR	7
2.1. Geometría base del bloque.....	7
2.2. Montaje del bloque.	8
2.3. Geometría del modelo de cálculo.	8
2.4. Caracterización de los huecos.....	9
2.4.1 Caracterización del hueco Nº 1.....	13
2.4.2 Caracterización del hueco Nº 2.....	13
2.4.3 Caracterización del hueco Nº 3.....	14
3. CALCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DEL MURO	15
3.1. Definición de la resistencia térmica del muro sin revestir (R_{sr})	15
3.2. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica del módulo geométrico (Hormigón-Aire-Junta interior: R_1)	18
3.3. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica en la “tapa inferior” del bloque: R_2	22
3.4. Cálculo de la resistencia térmica del tendel de mortero en la junta horizontal: R_3	25
3.5. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica por la penetración del mortero en los bloques: R_4	26
3.6. Valores de resistencia térmica de revestimientos.	29
4. RESULTADOS.	30
ANEXO A: VALIDACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO SEGÚN PROCEDIMIENTO RECOGIDO EN EL ANEXO D DE LA NORMA UNE-EN 1745:2013: CASO 1	31

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Geometría del bloque “BG5015TX” declarada por el fabricante (cotas en mm).....	7
Figura 2. Montaje del bloque “BG5015TX”, con un ancho y penetración de juntas de mortero de 10 mm.....	8
Figura 3. Módulo geométrico tomado como geometría del modelo de cálculo.....	9
Figura 4. Nomenclatura de las celdillas en el modelo de cálculo.....	10
Figura 5. Tipos de resistencia térmica presentes en el montaje.	16
Figura 6. Dimensiones h_1 , h_2 , h_3 , y h_4 para la ponderación.....	17
Figura 7. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_1 ($\Delta T=20$ °C).....	18
Figura 8. Materiales componentes del modelo de simulación para R_1	18
Figura 9. Detalle y aspecto global de la malla del modelo R_1	20
Figura 10. Contorno de temperaturas en el modelo para R_1 [°C].	21
Figura 11. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_2 ($\Delta T=20$ °C).	22
Figura 12. Materiales componentes del modelo de simulación para R_2	22
Figura 13. Detalle de la malla del modelo para R_2	24
Figura 14. Contorno de temperaturas en el modelo para R_2 [°C].	24
Figura 15. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_4 ($\Delta T=20$ °C).	26
Figura 16. Materiales componentes del modelo de simulación para R_4	26
Figura 17. Contorno de temperaturas en el modelo para R_4 [°C].	28



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del hormigón aligerado.	6
Tabla 2. Características del bloque de hormigón.	7
Tabla 3. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación	19
Tabla 4. Valor calculado para R_1 a partir del flujo obtenido en la simulación	20
Tabla 5. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación para R_2	23
Tabla 6. Valor calculado para R_2 a partir del flujo obtenido en la simulación	24
Tabla 7. Valor calculado para R_3	25
Tabla 8. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación para R_4	27
Tabla 9. Valor calculado para R_2 a partir del flujo obtenido en la simulación	28



OBJETO.

El objeto del presente informe es la determinación de la resistencia térmica de una fábrica de muro a revestir, construida con bloques de hormigón aligerado con referencia del Fabricante: "BG5015TX", haciendo el cálculo mediante herramientas de métodos numéricos.

El software empleado ha sido *FLUENT*[®] V. 6 .1.22.

DATOS DEL SOLICITANTE

Empresa: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Dirección: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Persona de contacto: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX



1. VALOR DE CONDUCTIVIDAD PARA EL HORMIGON ALIGERADO

El valor de conductividad térmica del hormigón aligerado que constituye el bloque, ha sido declarado por el solicitante del presente informe, extraído de la tabla A.6 de la norma UNE-EN 1745:2013: “Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar las propiedades térmicas”, a partir del valor conocido de densidad para dicho material.

Este valor así declarado se lista en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del hormigón aligerado.

Conductividad [W/m·K]	Densidad [kg/m ³]
$\lambda_{10,dry} (P=90\%) = 0,68$	1675

2. DEFINICION DE GEOMETRIAS A SIMULAR

2.1. Geometría base del bloque.

La Figura 1 muestra las dimensiones declaradas por el solicitante del ensayo de la sección de la pieza a simular con referencia “BG5015TX”. La altura del bloque es 190 mm.

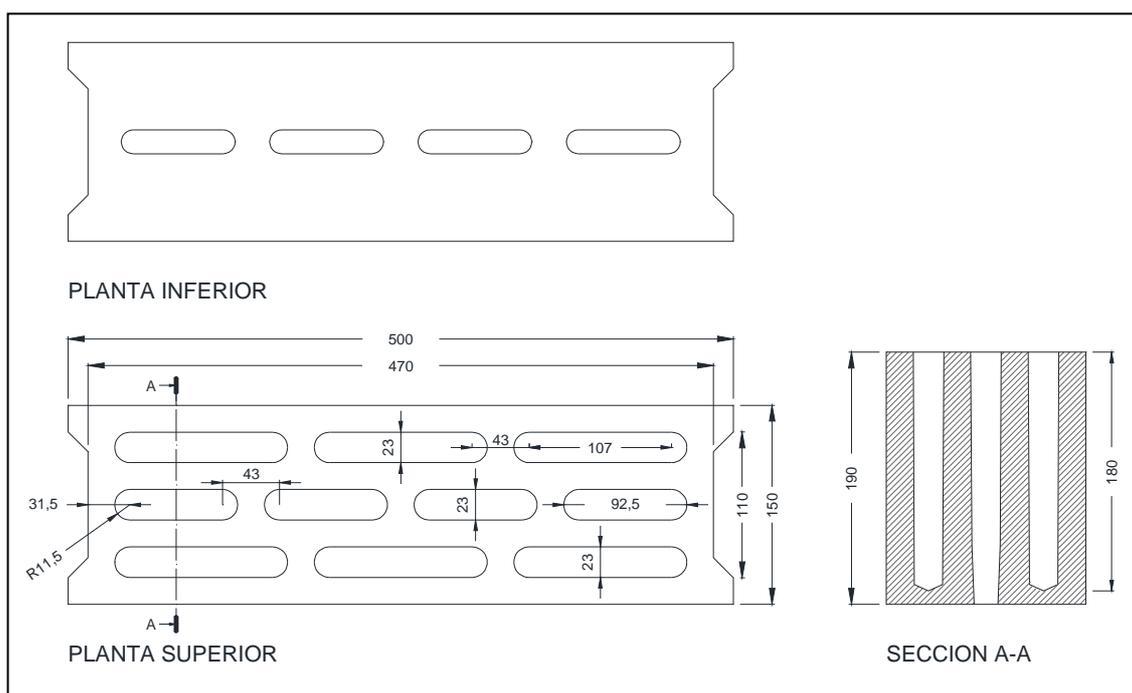


Figura 1. Geometría del bloque “BG5015TX” declarada por el fabricante (cotas en mm).

En la Tabla 2 se registra el volumen de hormigón del bloque y el porcentaje de perforaciones (en relación de áreas).

Tabla 2. Características del bloque de hormigón.

Altura [mm]	190
Porcentaje de perforaciones* [%]	35,1 en sección con agujeros pasantes ($h = 180 \text{ mm}$) 11,2 en sección con solo agujeros centrales pasantes ($h = 10 \text{ mm}$)
Volumen de hormigón* [cm³]	9071,28
Masa de la pieza* [kg]	15,2

*Valores obtenidos por cálculo.

2.2. Montaje del bloque.

El bloque “BG5015TX” se emplea en montaje horizontal como se representa esquemáticamente en la Figura 2.

El ancho de junta es de 10 mm tanto en sentido horizontal como vertical, y de igual manera la penetración del mortero en las perforaciones del bloque se considera con una altura de 10 mm.

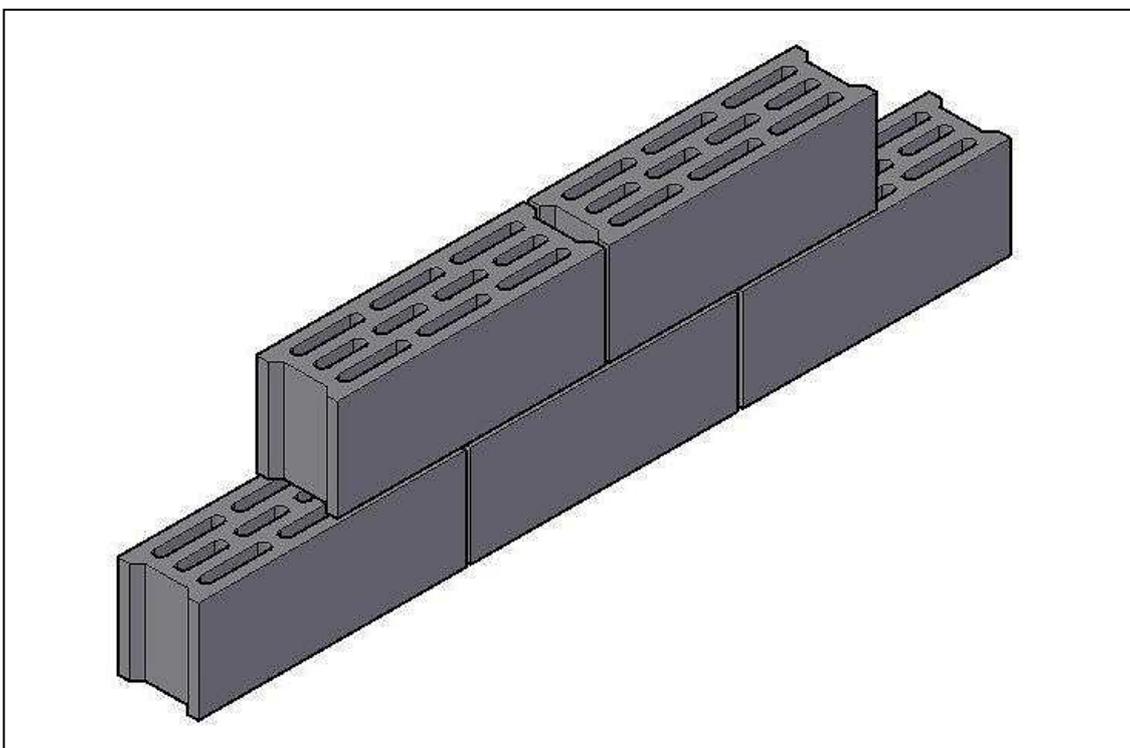


Figura 2. Montaje del bloque “BG5015TX”, con un ancho y penetración de juntas de mortero de 10 mm.

2.3. Geometría del modelo de cálculo.

El modelo a analizar en el programa de simulación no es la geometría original de la pieza individual, sino un ensamble representativo de la fábrica de muro, correspondiente al módulo periódico formado por el encaje de dos piezas conteniendo la zona de junta como se muestra en la Figura 3.

Como hay una porción en la parte inferior del bloque en la que no todos los agujeros son pasantes, también se considera un segundo módulo periódico como el anterior, pero sólo con los agujeros centrales.

Hay una leve conicidad en las paredes verticales de las perforaciones, la que para el presente estudio no es tenida en cuenta.

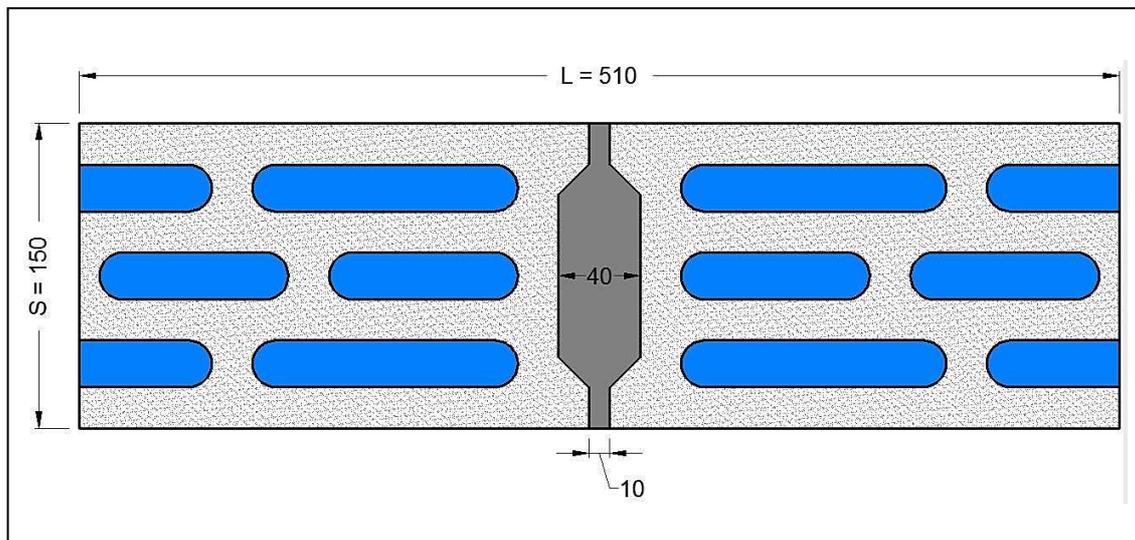


Figura 3. Módulo geométrico tomado como geometría del modelo de cálculo.

2.4. Caracterización de los huecos.

El módulo geométrico adoptado como geometría del modelo de cálculo tiene tres tipos de cavidades, que según que zonas contendrán aire o la penetración del mortero de cemento de las juntas. La cavidad resultante de la unión de los bloques siempre estará llena por el mortero de la junta vertical. La ubicación y nomenclatura de las cavidades se aprecia en la Figura 4.

A efectos de resistencia térmica al paso de calor, las cavidades simétricas son consideradas de un mismo tipo.

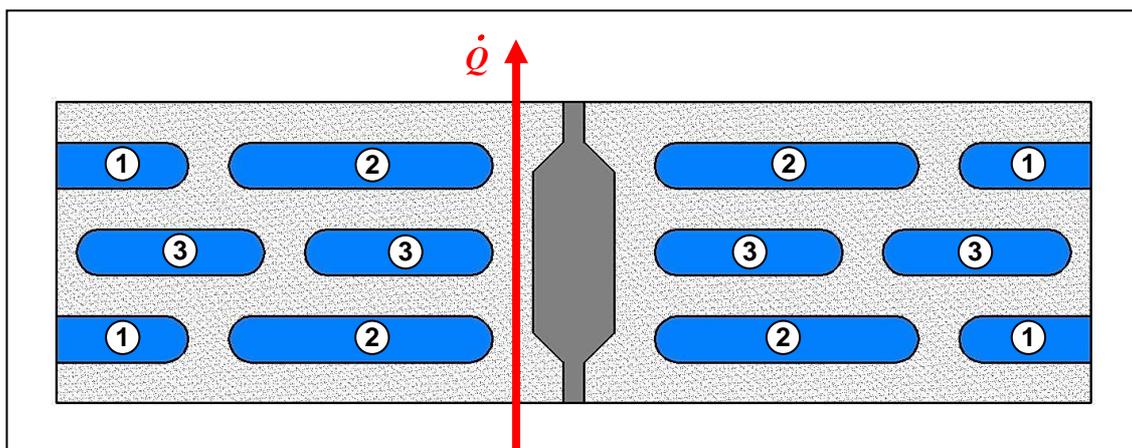


Figura 4. Nomenclatura de las celdillas en el modelo de cálculo.

La norma ISO 6946 en su anexo A, define la expresión aplicable en la determinación de resistencia térmica de huecos de aire sin ventilación con formas rectangulares caracterizadas por una longitud “b” (perpendicular al flujo de calor) y por un espesor “d” (paralelo al flujo de calor).

Una vez determinado la longitud, d, y el espesor, b, para todas las celdillas de aire, su resistencia térmica viene dada por:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

R_g es la resistencia térmica del hueco

h_a es el coeficiente combinado de conducción/convección [$W/m^2 \cdot K$] que para flujo de calor horizontal resulta ser el máximo entre 1,25 y $(0,025/d)$

h_r es el coeficiente radiativo dado por la expresión

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{b} + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}}\right)}}$$



h_{r0} es el coeficiente de radiación para una superficie o cuerpo negro. Viene dado por $h_{r0} = 4\sigma T_m^3$, donde σ es la constante de Stefan-Boltzman y T_m es la temperatura media termodinámica de la superficie y sus alrededores, que para todas las celdillas se tomará como $T_m = 283 \text{ K}$.

E es el factor de emisividad entre superficies que viene dado por

$$E = \frac{1}{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1}$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ son las emisividades de las superficies que rodean el hueco, tomándose por defecto un valor de 0,90.

Finalmente, una vez determinada la resistencia térmica de cada celdilla, esta es considerada en la simulación como un sólido con una conductividad térmica equivalente dada por:

$$\lambda_{HUECO} = \frac{d}{R_g}$$

Se toma una precisión en los valores calculados de siete decimales, excepto para el área, longitud, anchura y emisividad que será de dos decimales y de la conductividad, que será de cuatro decimales.

A continuación se registra el cálculo de la resistencia térmica para cada uno de los siete tipos de huecos de aire resultantes en el modelo de cálculo que se ha definido para esta simulación.

Cuando se trata de celdas no rectangulares, se determina una celda rectangular equivalente a partir de los siguientes criterios:

- Las celdas equivalentes serán rectángulos definidos por una longitud “b” perpendicular al flujo de calor) y por un espesor “d” (paralelo al flujo de calor).

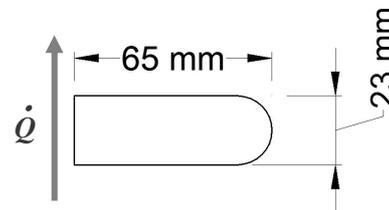


- La longitud de la celdilla equivalente “b” es la de la celdilla original entendida como la distancia de los dos puntos más alejados entre si, en la dirección perpendicular al flujo de calor.
- El espesor de la celdilla equivalente “d” es el resultante del cociente del área de la celdilla original entre la longitud “b” de la celdilla equivalente determinada según lo indica el párrafo anterior.

De esta manera se consigue que la celdilla equivalente tenga la misma área que la original con un aspecto similar.

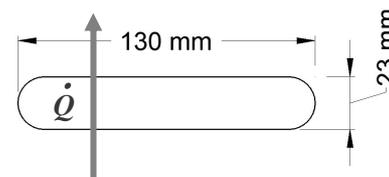
2.4.1 Caracterización del hueco Nº 1.

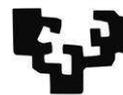
PROPIEDAD	UNIDAD	EXPRESION	VALOR / RESULTADO / FIGURA
Area	mm ²		1438,24
Longitud (b)	mm		65,00
Anchura (d)	mm		23,00
Coefficiente Conv/Cond h_a	W/m ² ·K	$h_a = \max\left[1,25; \frac{0,025}{d}\right]$	1,25
Emisividad $\varepsilon_1=\varepsilon_2$	Adimensional		0,90
Factor Emisividad E	Adimen.	$E = \frac{1}{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1}$	0,8181818
Coefficiente radiación Cuerpo Negro h_{r0}	W/m ² ·K	$h_{r0} = 4\sigma T_m^3$	5,1404644
Coefficiente Radiación h_r	W/m ² ·K	$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{b} + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}}\right)}}$	3,6877519
Resistencia Térmica R_g	m ² ·K / W	$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$	0,2025213
Conductividad λ_{HUECO}	W/m·K	$\lambda_{HUECO} = \frac{d}{R_g}$	0,1136



2.4.2 Caracterización del hueco Nº 2.

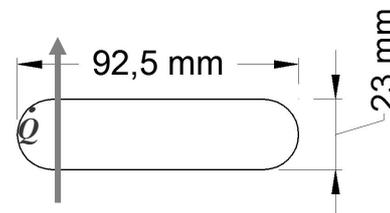
PROPIEDAD	UNIDAD	EXPRESION	VALOR / RESULTADO / FIGURA
Area	mm ²		2876,48
Longitud (b)	mm		130,00
Anchura (d)	mm		23,00
Coefficiente Conv/Cond h_a	W/m ² ·K	$h_a = \max\left[1,25; \frac{0,025}{d}\right]$	1,25
Emisividad $\varepsilon_1=\varepsilon_2$	Adimensional		0,90
Factor Emisividad E	Adimen.	$E = \frac{1}{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1}$	0,8181818
Coefficiente radiación Cuerpo Negro h_{r0}	W/m ² ·K	$h_{r0} = 4\sigma T_m^3$	5,1404644
Coefficiente Radiación h_r	W/m ² ·K	$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{b} + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}}\right)}}$	3,9240122
Resistencia Térmica R_g	m ² ·K / W	$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$	0,1932736
Conductividad λ_{HUECO}	W/m·K	$\lambda_{HUECO} = \frac{d}{R_g}$	0,1190





2.4.3 Caracterización del hueco Nº 3.

PROPIEDAD	UNIDAD	EXPRESION	VALOR / RESULTADO / FIGURA
Area	mm ²		2013,98
Longitud (b)	mm		92,50
Anchura (d)	mm		23,00
Coefficiente Conv/Cond h_a	W/m ² ·K	$h_a = \max\left[1,25; \frac{0,025}{d}\right]$	1,25
Emisividad $\varepsilon_1=\varepsilon_2$	Adimensional		0,90
Factor Emisividad E	Adimen.	$E = \frac{1}{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1}$	0,8181818
Coefficiente radiación Cuerpo Negro h_{r0}	W/m ² ·K	$h_{r0} = 4\sigma T_m^3$	5,1404644
Coefficiente Radiación h_r	W/m ² ·K	$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{b} + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}}\right)}}$	3,8228101
Resistencia Térmica R_g	m ² ·K / W	$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$	0,1971294
Conductividad λ_{HUECO}	W/m·K	$\lambda_{HUECO} = \frac{d}{R_g}$	0,1167





3. CALCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DEL MURO

Para el cálculo de la transmitancia térmica del muro en función de sus características de montaje se ha empleado el software de simulación de dinámica de fluidos computacional *FLUENT*[®] V. 6.1.22. Dicho software ha sido validado para este tipo de cálculo según las indicaciones de la norma UNE-EN ISO 10211. Los detalles de esta validación se han registrado en el anexo A.

La resistencia térmica del muro será la suma de las resistencias térmicas de los revestimientos interior (R_{ri}) y exterior (R_{re}) y la resistencia térmica del muro sin revestir (R_{sr}):

$$R = R_{sr} + R_{ri} + R_{re}$$

La transmitancia térmica U será a su vez la inversa de R :

$$U = 1/R$$

3.1. Definición de la resistencia térmica del muro sin revestir (R_{sr})

La resistencia térmica del muro sin revestir es la resultante de considerar la ponderación en altura de los diferentes valores de resistencia térmica presentes como resultado del montaje y unión con mortero de los bloques

Viene dada por la siguiente expresión:

$$R_{sr} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{\frac{h_1}{R_1} + \frac{h_2}{R_2} + \frac{h_3}{R_3} + \frac{h_4}{R_4}} + R_{se} + R_{si}$$

En la Figura 5 se puede apreciar esquemáticamente junto a su correspondiente definición, cada uno de estos cuatro tipos de resistencia térmica considerados (R_1 , R_2 , R_3 y R_4). Así mismo en la **Figura 6** se describen y cuantifican las correspondientes alturas h_1 , h_2 , h_3 y h_4 .

Por último, R_{si} es la resistencia térmica superficial interior, cuyo valor normalizado para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor

horizontal es $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, mientras que R_{se} es la resistencia térmica superficial exterior, cuyo valor normalizado para el caso de un cerramiento vertical, con flujo de calor horizontal es $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

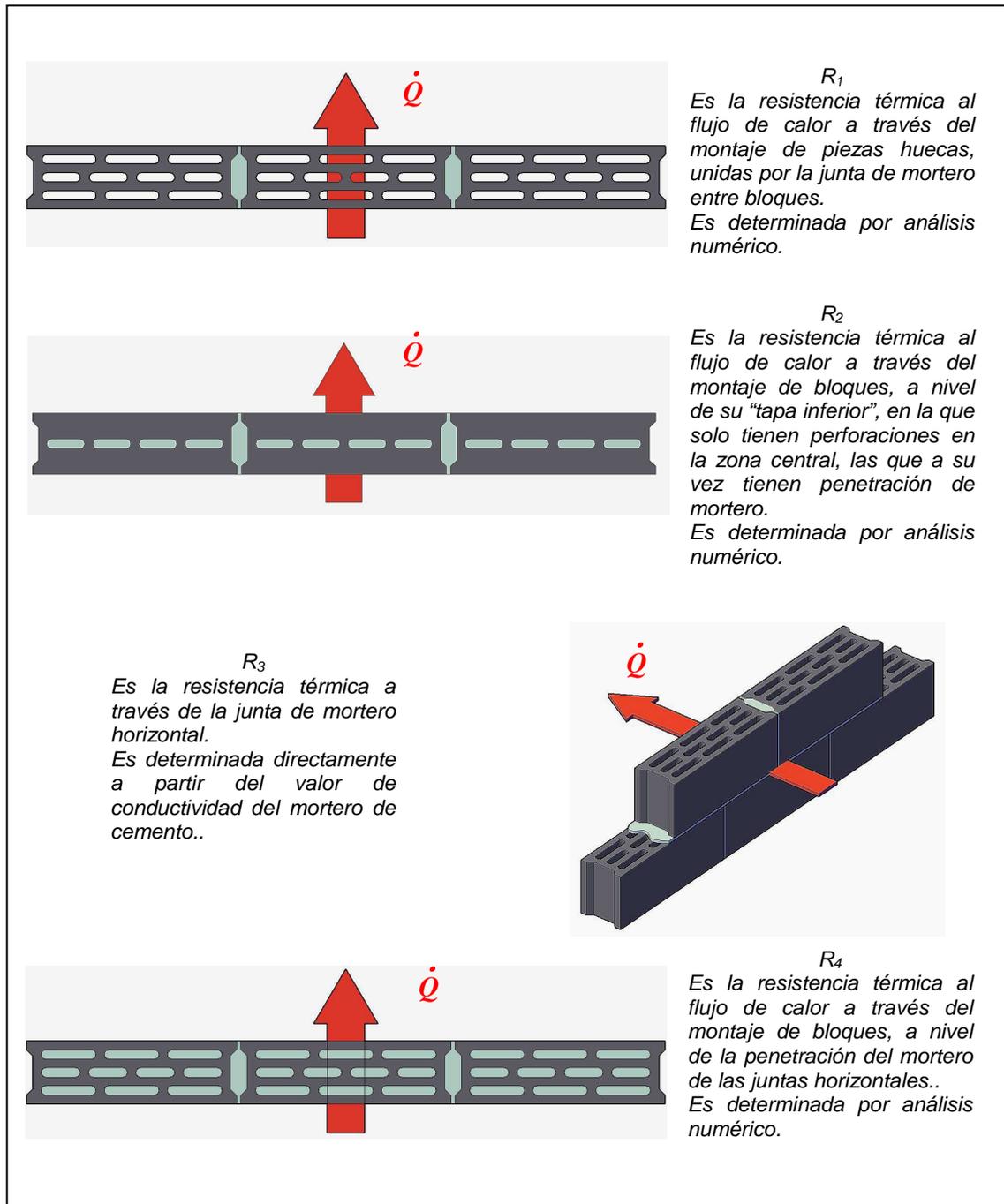


Figura 5. Tipos de resistencia térmica presentes en el montaje.

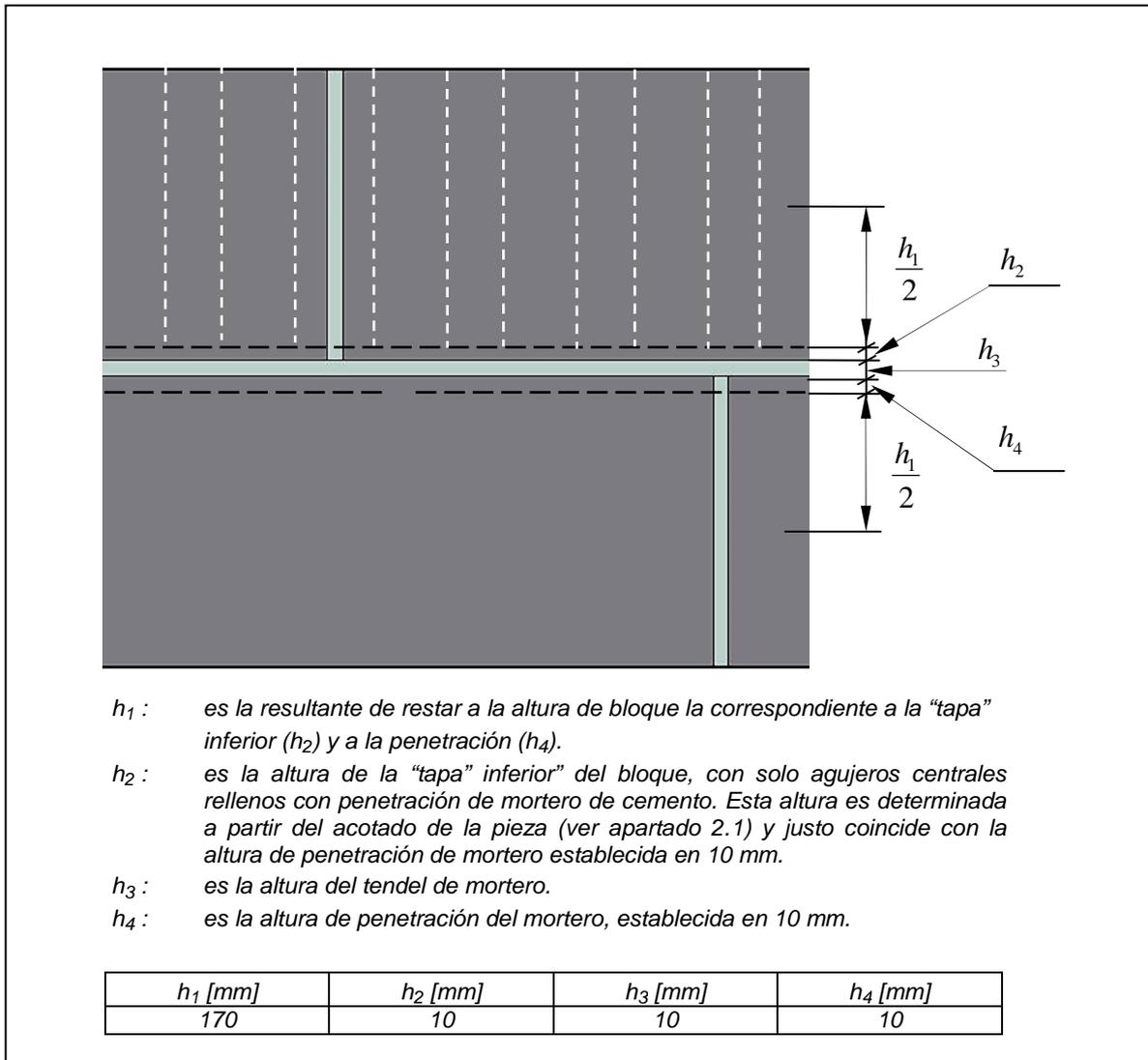


Figura 6. Dimensiones h_1 , h_2 , h_3 , y h_4 para la ponderación de la resistencia térmica.

3.2. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica del módulo geométrico (Hormigón-Aire-Junta interior: R_1)

3.2.1 Condiciones de contorno

R_1 es determinada a partir del flujo de calor Q_1 calculado por el software de simulación para el módulo geométrico definido anteriormente en el apartado 2.3, con las condiciones de contorno mostradas en la Figura 7 y con la definición de materiales que se describe en la Figura 8.

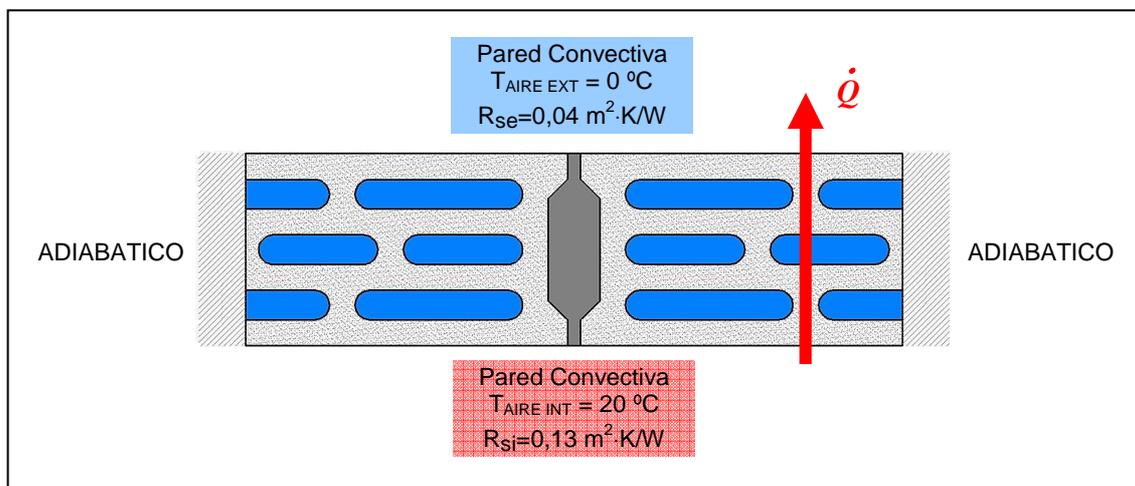


Figura 7. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_1 ($\Delta T = 20 \text{ °C}$).

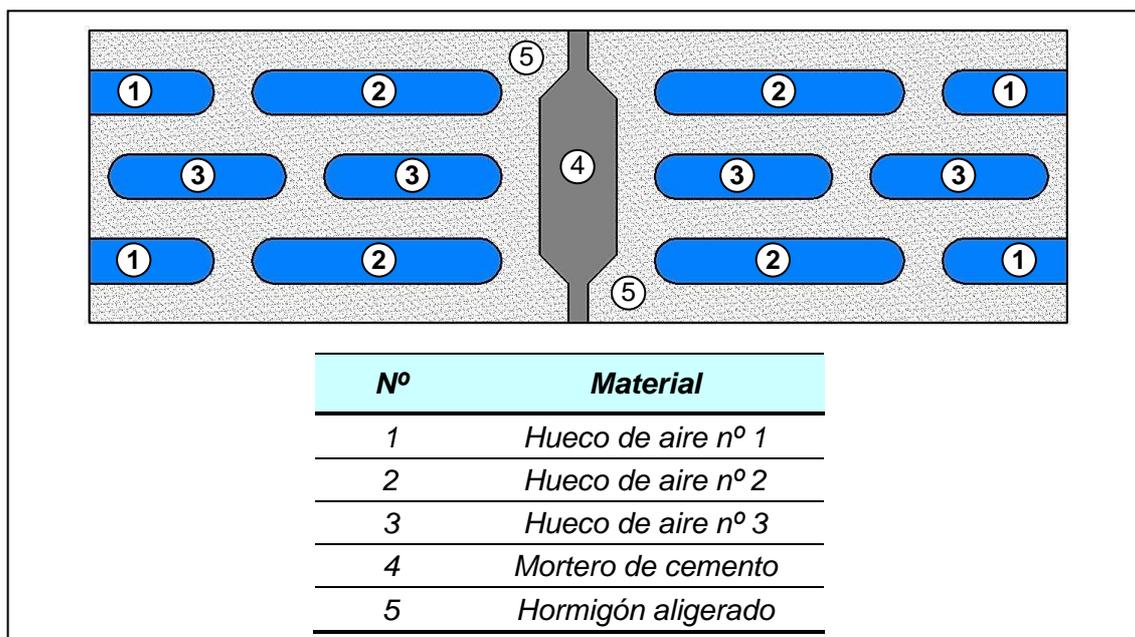


Figura 8. Materiales componentes del modelo de simulación para R_1 .



Las propiedades de cada uno de los materiales componentes del modelo a simular se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación

Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad [W/m·K]
Hueco nº 1		0,1136
Hueco nº 2	1,225	0,1190
Hueco nº 3		0,1167
Mortero de cemento	1700	1,3
Hormigón aligerado*	1675	0,68

* Ver apartado 1

3.2.2 Mallado del modelo R₁.

El mallado del modelo está formado por 76403 elementos en una malla de tipo no estructurada, con un tamaño medio de celda de 1 mm. El aspecto de la malla puede apreciarse en la Figura 9.

3.2.3 Resultados de la simulación para R₁.

A partir de la simulación se obtiene el flujo de calor Q₁ que atraviesa el modelo. Para las condiciones impuestas se tiene que el valor de la resistencia térmica R₁ entre caras superficiales de la sección de muro viene dada por la expresión ($\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $L = 0,510\text{ m}$):

$$R_1 = \frac{\Delta T \cdot L}{Q_1} - R_{si} - R_{se} = \frac{10,2}{Q_1} - 0,17$$

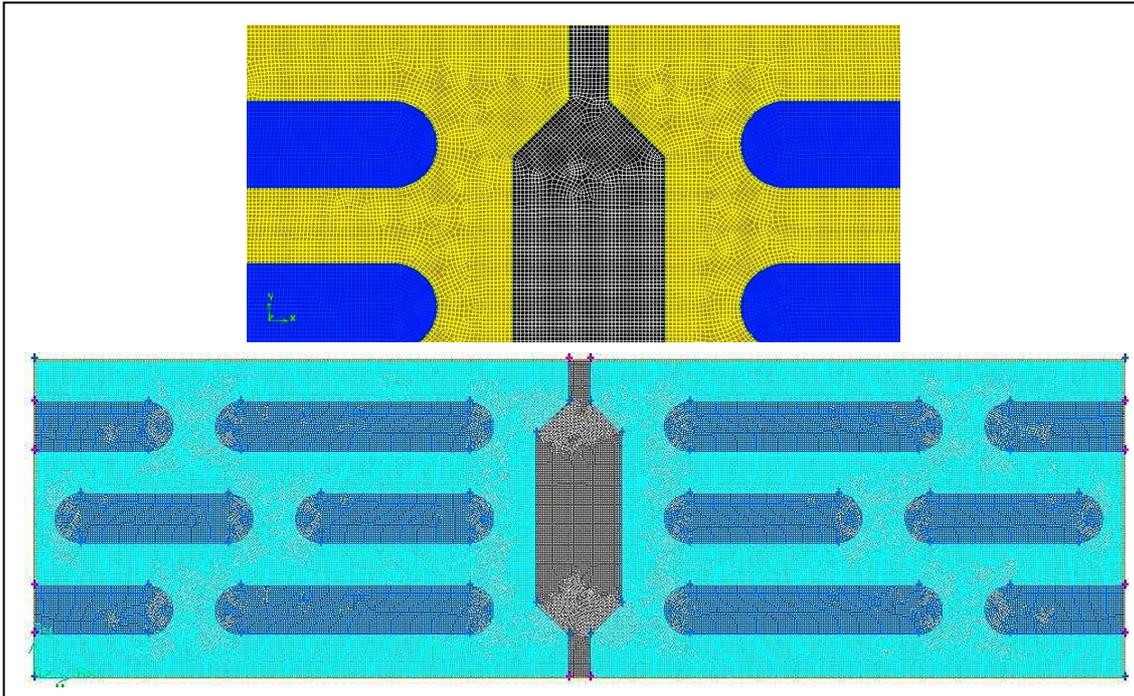
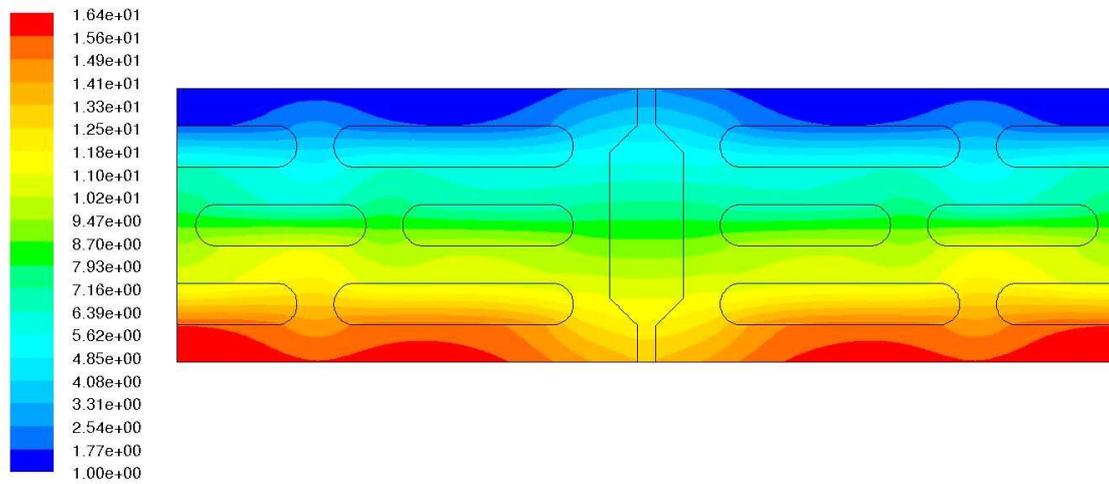
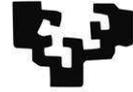


Figura 9. Detalle y aspecto global de la malla del modelo R_1 .

En la Tabla 4 se resume el valor de flujo de calor Q_1 obtenido de la simulación, el que permite determinar el valor de R_1 . Por otra parte, en la Figura 10 se aprecian los contornos de temperatura obtenidos.

Tabla 4. Valor calculado para R_1 a partir del flujo obtenido en la simulación

Superficie	Flujo de Calor Obtenido Q_1 [W]	$R_1 = \frac{10,2}{Q_1} - 0,17$ [m ² ·K/W]
Pared interior	17.44934	1,5407
Pared exterior	-17,44934	



Contours of Static Temperature (c)

Figura 10. Contorno de temperaturas en el modelo para R_1 [$^{\circ}\text{C}$].

3.3. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica en la “tapa inferior” del bloque: R_2 .

R_2 es determinada a partir del flujo de calor Q_2 calculado por el software de simulación para el módulo geométrico cuya forma y condiciones de contorno son mostradas en la Figura 11 y con la definición de materiales que se describe en la Figura 12.

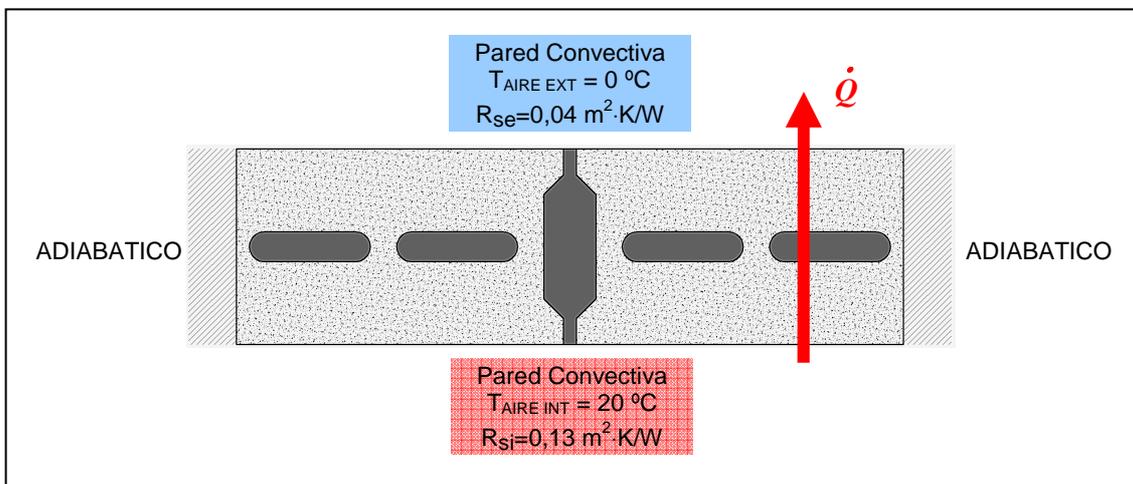


Figura 11. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_2 ($\Delta T=20\text{ °C}$).

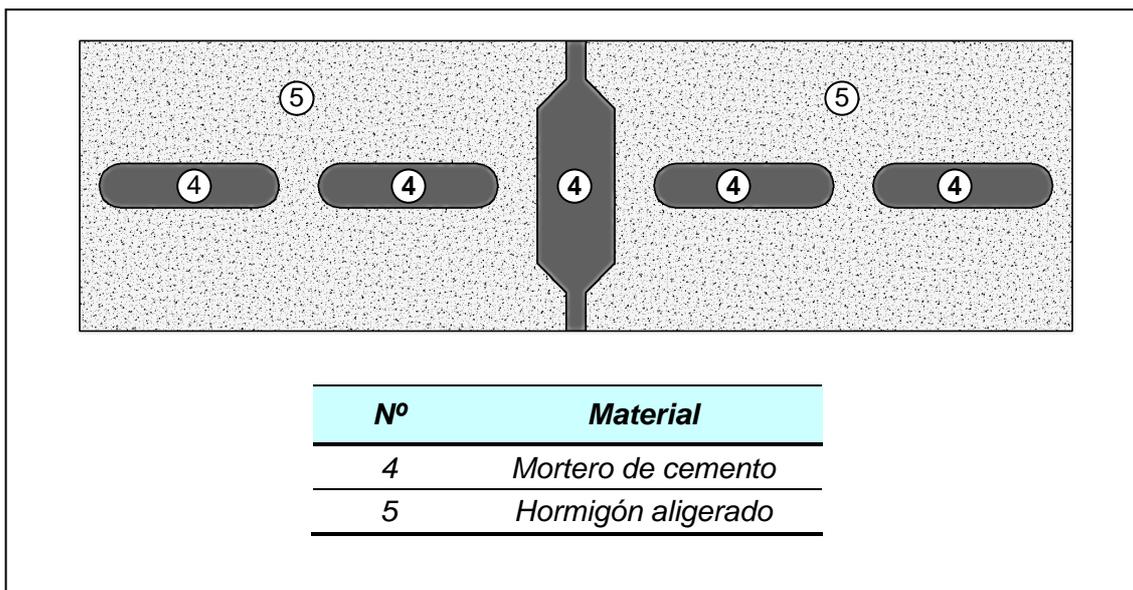


Figura 12. Materiales componentes del modelo de simulación para R_2 .



Las propiedades de cada uno de los materiales componentes del modelo a simular se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación para R_2

Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad [W/m·K]
Mortero de cemento	1700	1,3
Hormigón aligerado*	1675	0,68

* Ver apartado 1

3.3.1 Mallado del modelo R_2 .

El mallado del modelo está formado por 76651 elementos en una malla de tipo no estructurada, con un tamaño medio de celda de 1 mm. El aspecto de la malla puede apreciarse en la Figura 13.

3.3.2 Resultados de la simulación para R_2 .

A partir de la simulación se obtiene el flujo de calor Q_2 que atraviesa el modelo. Para las condiciones impuestas se tiene que el valor de la resistencia térmica R_2 entre caras superficiales de la sección de muro viene dada por la expresión ($\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $L = 0,510 \text{ m}$):

$$R_2 = \frac{\Delta T \cdot L}{Q_2} - R_{si} - R_{se} = \frac{10,2}{Q_2} - 0,17$$

En la Tabla 6 se resume el valor de flujo de calor Q_2 obtenido de la simulación, el que permite determinar el valor de R_2 . Por otra parte, en la Figura 10 se aprecian los contornos de temperatura obtenidos.

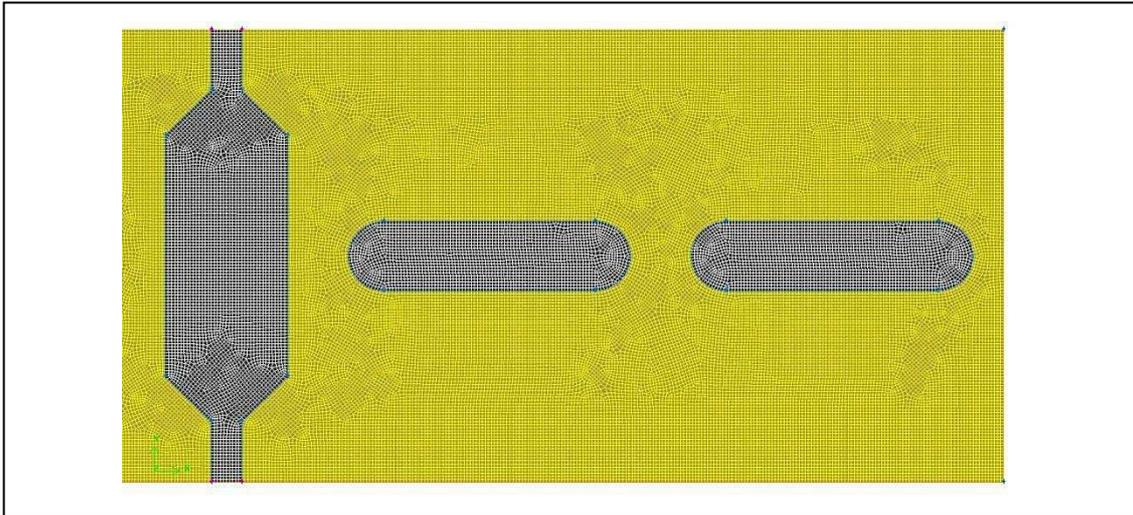
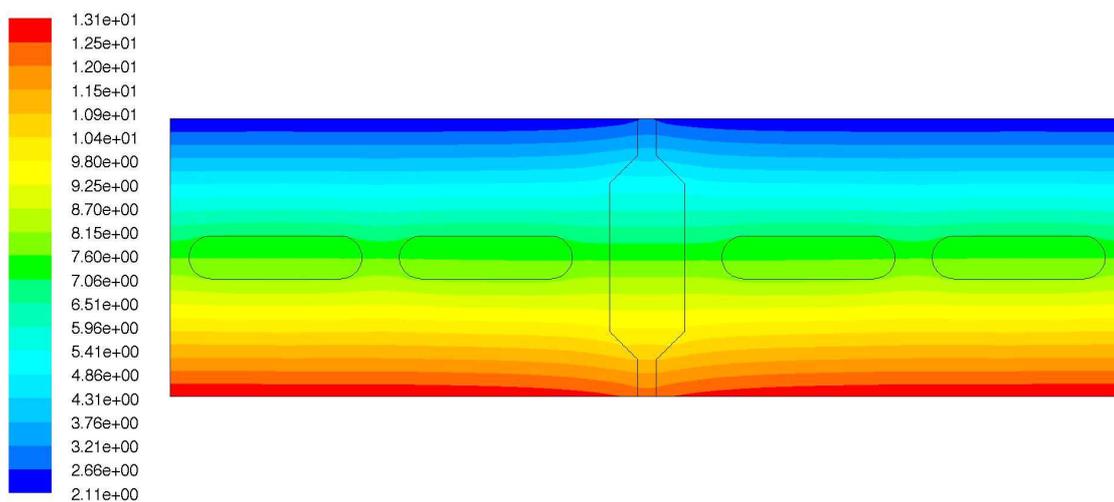


Figura 13. Detalle de la malla del modelo para R₂.

Tabla 6. Valor calculado para R₂ a partir del flujo obtenido en la simulación

Superficie	Flujo de Calor Obtenido Q ₂ [W]	$R_2 = \frac{10,2}{Q_2} - 0,17$ [m ² ·K/W]
Pared interior	27.54515	0,2000
Pared exterior	-27.54515	



Contours of Static Temperature (c)

Figura 14. Contorno de temperaturas en el modelo para R₂ [°C].



3.4. Cálculo de la resistencia térmica del tendel de mortero en la junta horizontal: R_3 .

La resistencia térmica R_3 correspondiente al tendel de junta horizontal entre bloques, viene dada por:

$$R_3 = \frac{S}{\lambda_m}$$

Donde $S = 0,150$ mm se corresponde con el espesor del bloque. En la Tabla 7 se registra el valor obtenido para esta resistencia térmica.

Tabla 7. Valor calculado para R_3

λ_m Conductividad del mortero [W/m·K]	$R_3 = \frac{0,15}{\lambda_m}$ [m ² ·K/W]
1,3	0,1154

3.5. Simulación energética para la determinación de la resistencia térmica por la penetración del mortero en los bloques: R_4 .

R_4 es determinada a partir del flujo de calor Q_4 calculado por el software de simulación para el módulo geométrico cuya forma y condiciones de contorno son mostradas en la Figura 15 y con la definición de materiales que se describe en la Figura 16.

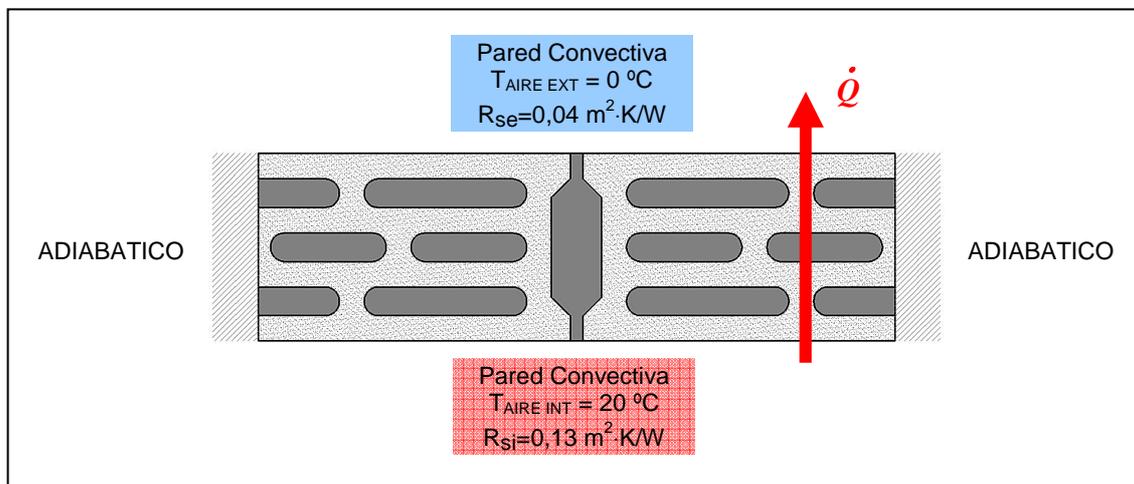


Figura 15. Condiciones de contorno del modelo simulado para R_4 ($\Delta T=20\text{ °C}$).

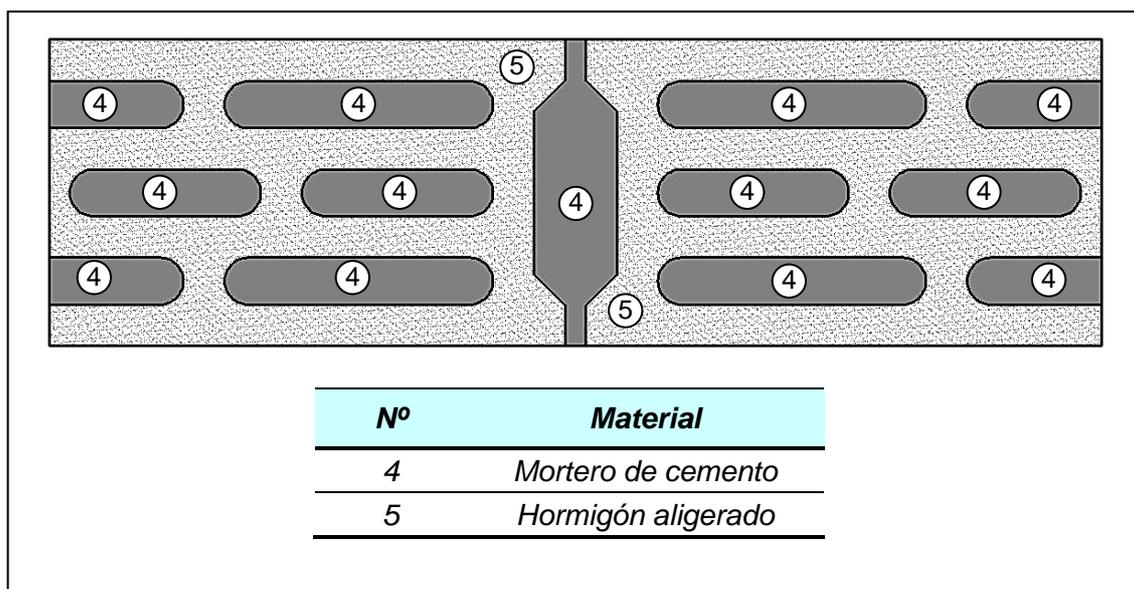


Figura 16. Materiales componentes del modelo de simulación para R_4 .



Las propiedades de cada uno de los materiales componentes del modelo a simular se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Propiedades de los materiales componentes del modelo de simulación para R₄

Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad [W/m·K]
Mortero de cemento	1700	1,3
Hormigón aligerado*	1675	0,68

* Ver apartado 1

3.5.1 Mallado del modelo R₄.

El mallado del modelo es el mismo del caso del generado para la simulación R₁ del apartado 3.2.2 (Figura 9) formado por 76403 elementos en una malla de tipo no estructurada, con un tamaño medio de celda de 1 mm.

3.5.2 Resultados de la simulación para R₄.

A partir de la simulación se obtiene el flujo de calor Q₄ que atraviesa el modelo. Para las condiciones impuestas se tiene que el valor de la resistencia térmica R₄ entre caras superficiales de la sección de muro viene dada por la expresión ($\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $L = 0,510\text{ m}$):

$$R_4 = \frac{\Delta T \cdot L}{Q_4} - R_{si} - R_{se} = \frac{10,2}{Q_4} - 0,17$$

En la Tabla 6 se resume el valor de flujo de calor Q₂ obtenido de la simulación, el que permite determinar el valor de R₂. Por otra parte, en la Figura 10 se aprecian los contornos de temperatura obtenidos.

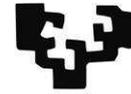
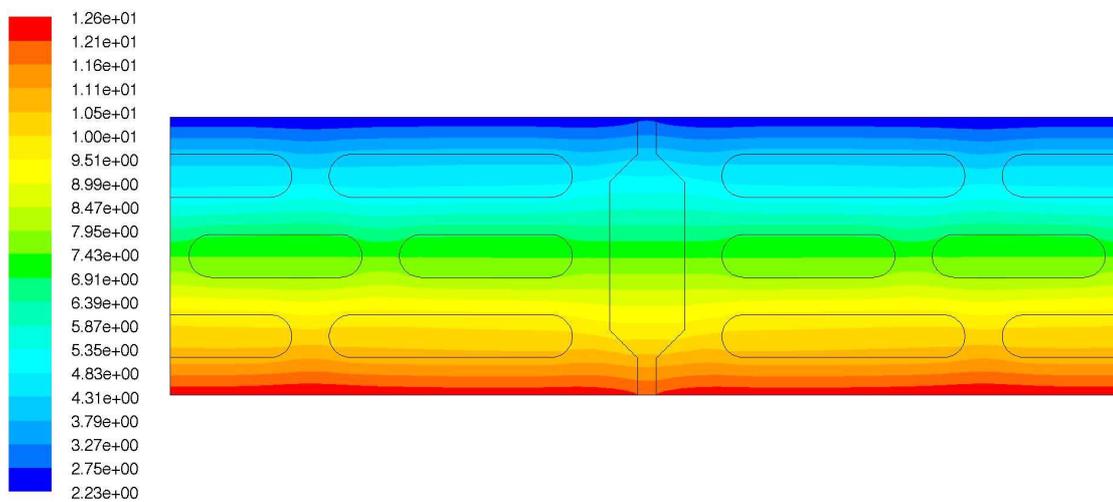


Tabla 9. Valor calculado para R_2 a partir del flujo obtenido en la simulación

Superficie	Flujo de Calor Obtenido Q_2 [W]	$R_2 = \frac{10,2}{Q_2} - 0,17$ [m ² ·K/W]
Pared interior	29.4452	0,1764
Pared exterior	-29.4452	



Contours of Static Temperature (c)

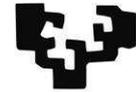
Figura 17. Contorno de temperaturas en el modelo para R_4 [°C].



3.6. Valores de resistencia térmica de revestimientos.

Para el cálculo de la resistencia térmica con revestimientos se han considerado un muro de una sola hoja con un revestimiento interior de yeso convencional de espesor 1,5 cm, y revestimiento exterior de mortero de espesor 1,5 cm.

Como valor por defecto, los revestimientos de mortero tienen una conductividad térmica de 1,3 W/m·K. y los de yeso tienen un valor de conductividad térmica de 0,57 W/m·K.



4. RESULTADOS.

Cliente: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Referencia de la Muestra: TS-0000-0. Bloque de Hormigón Aligerado con referencia del Fabricante: "BG5015TX". Determinación de las propiedades térmicas de un bloque de hormigón aligerado mediante simulación con software de Dinámica de Fluidos Computacional, según normas UNE-EN 1745:2013, UNE-EN ISO 6946:2012, UNE-EN ISO 10456:2012 y el reglamento de cálculo RP 34.14 del marcado AENOR.

Pieza Original	Modelo Simulado	Tipo de Montaje: Vertical con juntas continuas de mortero de cemento de anchura ó altura y penetración en bloque de 10 mm

4.1. TRANSMITANCIA TERMICA DEL MURO SIN REVESTIR

R_1 [m ² ·K / W]	R_2 [m ² ·K / W]	R_2 [m ² ·K / W]	R_3 [m ² ·K / W]	R_{sr} [m ² ·K / W]				U_{sr} [W / m ² ·K]
Resistencia térmica de la sección hormigón-aire-junta vertical obtenida por simulación	Resistencia térmica de la sección de "tapa inferior" del bloque hormigón-mortero, obtenida por simulación	Resistencia térmica de la sección arcilla-aire-penetración de mortero, obtenida por simulación	Resistencia térmica de la sección hormigón - penetración de mortero, obtenida por simulación	Resistencia térmica del muro sin revestir $R_{sr} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{\frac{h_1}{R_1} + \frac{h_2}{R_2} + \frac{h_3}{R_3} + \frac{h_4}{R_4}} + R_{se} + R_{si}$				
	λ_m Conductividad del mortero en junta vertical [W/m·K]	h_1 altura de bloque hormigón - aire [mm]	h_2 altura de "tapa inferior" [mm]	h_3 altura de junta horizontal [mm]	h_4 altura penetración mortero [mm]	R_{se} ambiente exterior [m ² ·K / W]	R_{si} ambiente interior [m ² ·K / W]	Transmitancia térmica del muro sin revestir
	1,3	180	10	10	10	0,13	0,04	
1,5407	0,2000	0,1154	0,1764	0,97				1,03

4.2. TRANSMITANCIA TERMICA DEL MURO CON REVESTIMIENTOS

R_{sr} [m ² ·K / W]	R_{ri} [m ² ·K / W]		R_{re} [m ² ·K / W]		R [m ² ·K / W]	U [W / m ² ·K]
	λ_{ri} Conductividad del yeso [W/m·K]	e_{ri} espesor [cm]	λ_{ri} Conductividad del mortero [W/m·K]	e_{ri} espesor [cm]		
	0,57	1,5	1,3	1,5	Resistencia térmica del muro. $R = R_{sr} + R_{ri} + R_{re}$	Transmitancia térmica del muro con revestimiento
0,9741		0,0263		0,0115	1,02	0,99

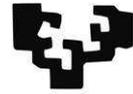
En Vitoria-Gasteiz, a XX de XXXX de XXXX.

Carlos García Gáfar
Técnico de ensayos



Iván Flores
Director Técnico

Este documento no debe reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio.



**ANEXO A: VALIDACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO SEGÚN
PROCEDIMIENTO RECOGIDO EN EL ANEXO D DE LA
NORMA UNE-EN 1745:2013: CASO 1**

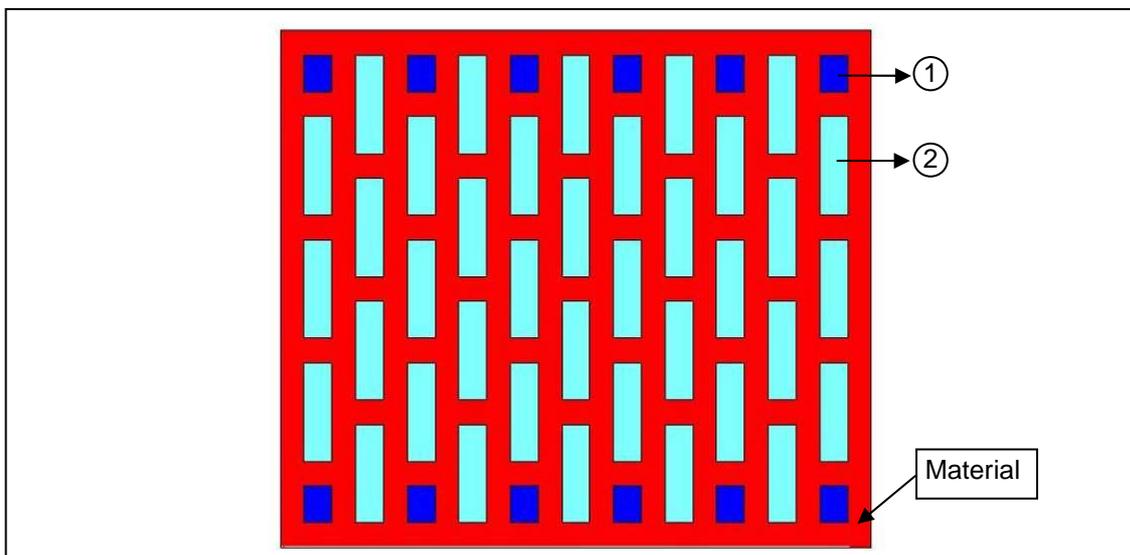


Figura A.1 - Geometría del bloque de la norma

Dicho bloque tiene un ancho de 250 mm (b) por 300,2 mm (d) de espesor. Las conductividades térmicas que establece la norma son:

Tabla A.1 - Conductividades de los materiales de la norma

	λ [W/m·K.]
Material	0,350
Cavidad tipo 1	0,082
Cavidad tipo 2	0,074

El problema ha sido resuelto utilizando una malla Pave no estructurada y cuadrilateral con grado de discretización de 1.5 mm, generando un total de 32.633 elementos.

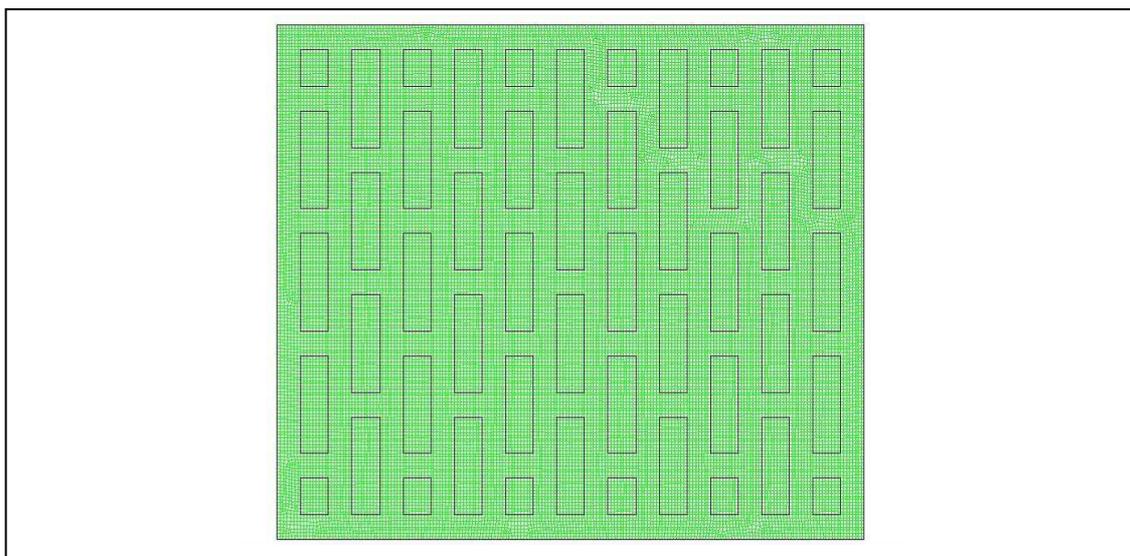


Figura A.2 - Malla del bloque de la norma

Aplicando un salto térmico de 20 °C entre el ambiente exterior y el ambiente interior, el flujo de calor por unidad de profundidad que resuelve el programa resulta:

Tabla A.2 - Flujos de calor calculados por FLUENT

	Ambiente Exterior	Ambiente Interior
q_{FLUENT} [W/m]	-2,8286	2,8284

Con este dato se pueden obtener el resto de las magnitudes térmicas de interés para compararlas con los resultados de la norma calculados analíticamente.

Tabla A.2 - Resultados y comparación con la norma

Magnitudes	Valores UNE-EN 1745	Valores FLUENT	Desviación [%]
U [W/m ² K]	0,5656	0,5657	0,018
R _T aire-aire [m ² K/W]	1,7680	1,7677	0,016
R _t superficie-superficie [m ² K/W]	1,598	1,5977	0,017
λ equivalente [W/mK]	0,188	0,188	0,057

La norma UNE-EN 1745 permite una desviación del 2% en el cálculo en la conductividad térmica, por lo tanto el software utilizado (FLUENT) es válido al presentar una desviación máxima del 0,057%.

En definitiva, el cumplimiento de esta norma asegura que para el cálculo de la resistencia térmica y la conductividad térmica el procedimiento realizado con el programa FLUENT es correcto.

A continuación se representan las distribuciones de temperatura a lo largo del bloque de la norma:

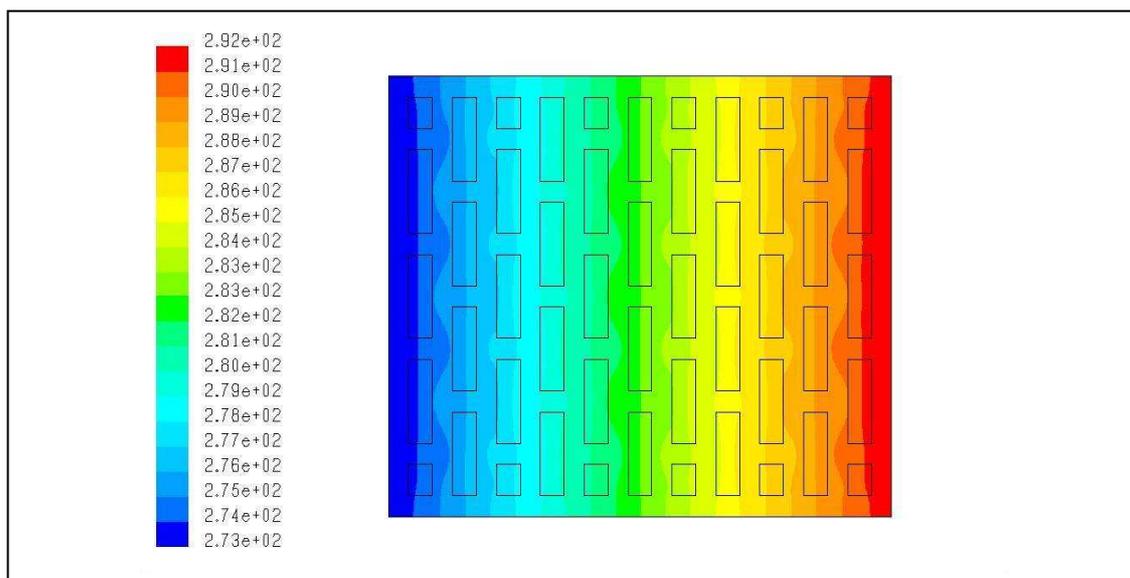


Figura A.3 - Contorno de temperaturas del bloque de la Norma UNE-EN 1745:2013