



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21

28003 MADRID

Tf. 91 336 69 64

e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME Nº CT-070502

Página 1 de 13

MODELIZACIÓN TÉRMICA DE UNA FÁBRICA DE BLOQUE DE ARCILLA ALIGERADA PARA DISTINTOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL MORTERO SEGÚN UNE-EN 1745:2002 Y UNE-EN ISO 10211:1995

FABRICANTE: CERANOR, S.A.
Polígono Industrial "El Tesoro" s/n
24200 Valencia de Don Juan - León

PRODUCTO: Bloque cerámico de arcilla aligerada y junta vertical seca perfeccionado
de 310 mm x 310 mm x 190 mm

1. DESCRIPCIÓN DE LA FÁBRICA

Se trata de una fábrica con tendel de junta discontinua de 50 mm de espesor en la dirección del flujo de calor. El mortero penetra en las perforaciones del bloque 10 mm por encima y 10 mm por debajo del tendel, excepto en aquellas perforaciones que coinciden con la cámara de discontinuidad y las correspondientes a cada una de las dos filas adyacentes a éstas.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Dado que la fábrica se compone de tres secciones bien diferenciadas (bloque con perforaciones rellenas de aire, bloque con parte de las perforaciones rellenas de mortero y el resto de aire y, finalmente, tendel constituido por mortero y aire) se determinan las conductividades equivalentes de cada sección, las dos primeras mediante modelización por elementos finitos en dos dimensiones y la del tendel, por indicación del fabricante, aplicando las expresiones del apartado E.1.1 del Documento Básico HE 1, Apéndice E, del Código Técnico de la Edificación.

Una vez obtenidas las conductividades equivalentes de las secciones citadas, se realiza una modelización en tres dimensiones de la unidad de fábrica que se repite, constituida por capas homogéneas cuyas conductividades equivalentes son las calculadas.

Las conductividades de todas las cámaras de aire se han determinado según el apartado B.3 de la Norma UNE-EN ISO 6946:1996.

El procedimiento se repite para cada uno de los tipos de mortero solicitados, es decir, morteros de conductividad térmica de diseño de 1,30; 1,00; 0,78; 0,55; 0,35 y 0,13 W/mK respectivamente.





INFORME Nº CT-070502

Página 2 de 13

3. CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL BLOQUE

La sección perpendicular a la dirección de extrusión del bloque está representada en la figura 1.
Las distribuciones de temperatura y de flujo de calor obtenidas se representan en las figuras 3 y 4.

DATOS DE ENTRADA:

Conductividad térmica de diseño de la arcilla	0,45 W/mK
Método de cálculo	Elementos finitos
Número de elementos	28784
Temperatura exterior	0 °C
Temperatura interior	20 °C
Resistencia superficial exterior	R_{se} 0,04 m ² K/W
Resistencia superficial interior	R_{si} 0,13 m ² K/W

RESULTADOS:

Temperatura superficial mínima (exterior)	T_{min} 0,19 °C
Temperatura superficial máxima (interior)	T_{max} 19,27 °C
Coficiente de unión térmica	L^{2D} 0,136 W/mK
Transmitancia térmica	U 0,438 W/m ² K
Resistencia térmica total	R_T 2,285 m ² K/W
Resistencia térmica ($R_T - R_{se} - R_{si}$)	R_t 2,115 m ² K/W
Conductividad térmica equivalente del bloque	λ_{equ} 0,146 W/mK





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21

28003 MADRID

Tf. 91 336 69 64

e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME N° CT-070502

Página 3 de 13

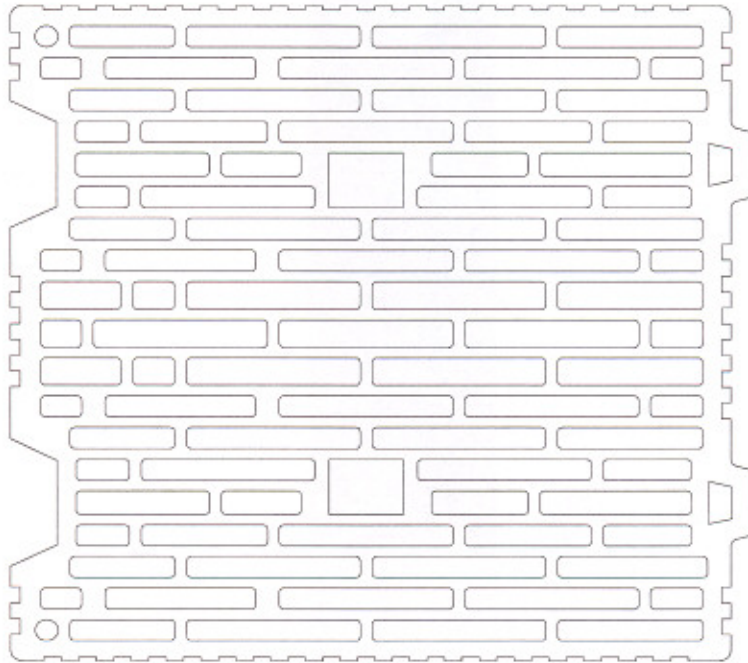


Fig. 1. Geometría de la pieza

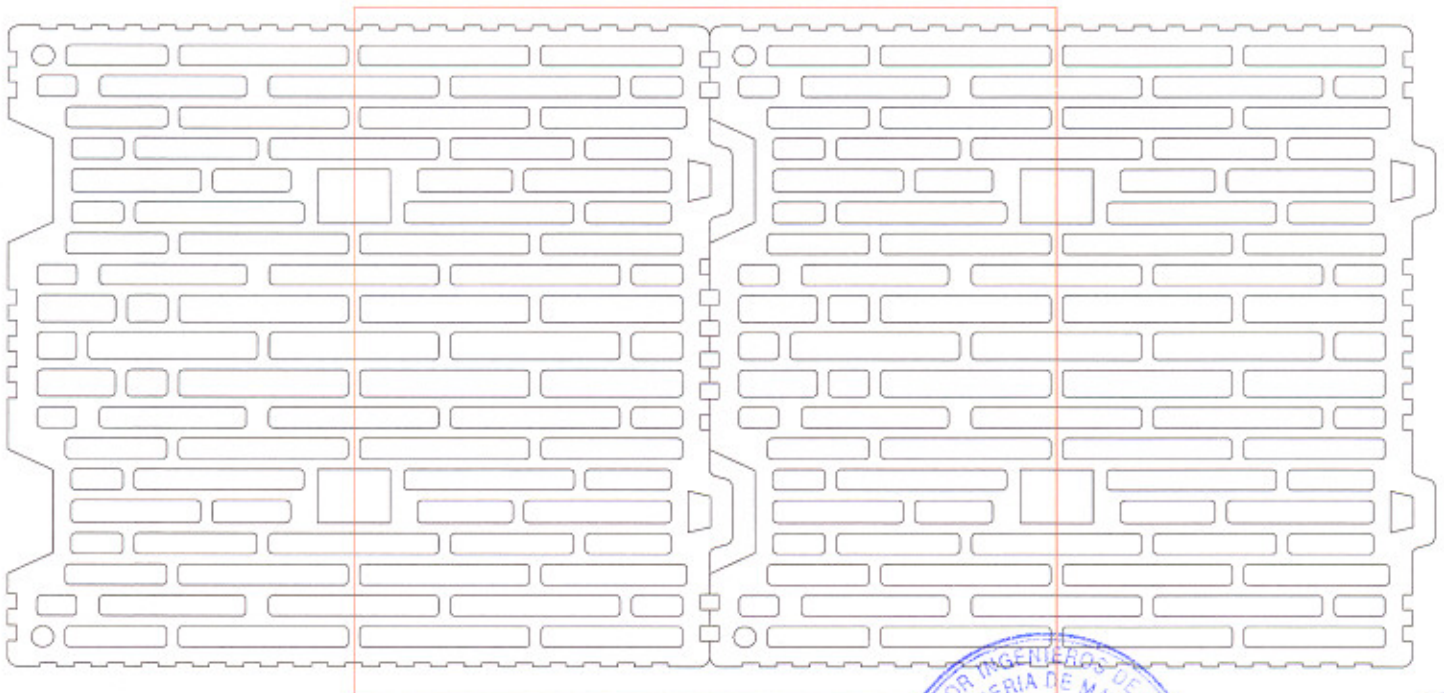


Fig. 2. Unidad modelizada





NT11

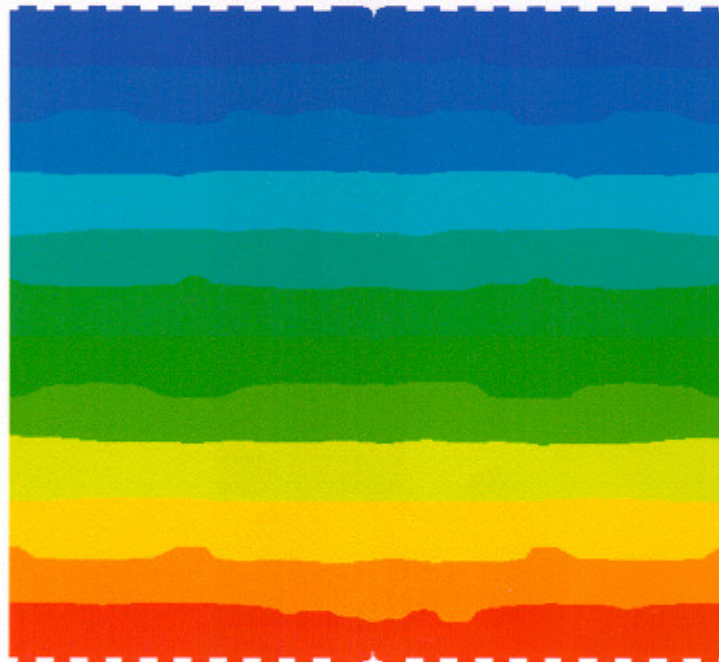
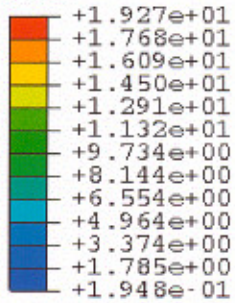


Fig. 3. Distribución de temperaturas (°C)

HFL, HFL2
(Avg: 75%)

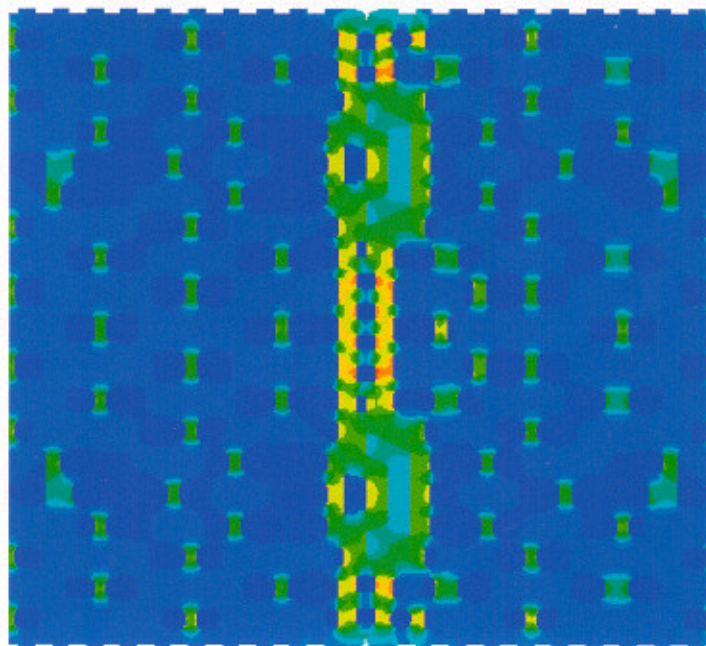
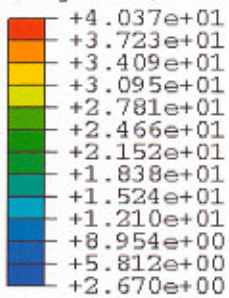


Fig. 4. Distribución de flujo de calor (W/m²)





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21

28003 MADRID

Tf. 91 336 69 64

e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME N° CT-070502

Página 5 de 13

4. CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL BLOQUE CON PERFORACIONES RELLENAS DE MORTERO

Se consideran ocupadas por mortero todas las perforaciones a excepción de las cinco filas centrales, determinándose en éstas su conductividad según lo indicado en el apartado 2.

Las distribuciones de temperatura y de flujo de calor obtenidas se representan en las figuras 5 y 6.

DATOS DE ENTRADA:

Conductividad térmica de diseño de la arcilla	0,45 W/mK
Conductividad térmica del mortero	1,3 W/mK
Método de cálculo	Elementos finitos
Número de elementos	28784
Temperatura exterior	0 °C
Temperatura interior	20 °C
Resistencia superficial exterior	R_{se} 0,04 m ² K/W
Resistencia superficial interior	R_{si} 0,13 m ² K/W

RESULTADOS:

Temperatura superficial mínima (exterior)	T_{min} 0,52 °C
Temperatura superficial máxima (interior)	T_{max} 18,15 °C
Coeficiente de unión térmica	L^{2D} 0,290 W/mK
Transmitancia térmica	U 0,936 W/m ² K
Resistencia térmica total	R_T 1,068 m ² K/W
Resistencia térmica ($R_T - R_{se} - R_{si}$)	R_t 0,898 m ² K/W
Conductividad térmica equivalente del bloque con las perforaciones rellenas de mortero	λ_{equ} 0,343 W/mK

5. CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL TENDEL

La conductividad equivalente de esta sección, según lo indicado en el apartado 2, es 0,641 W/mK.





NT11

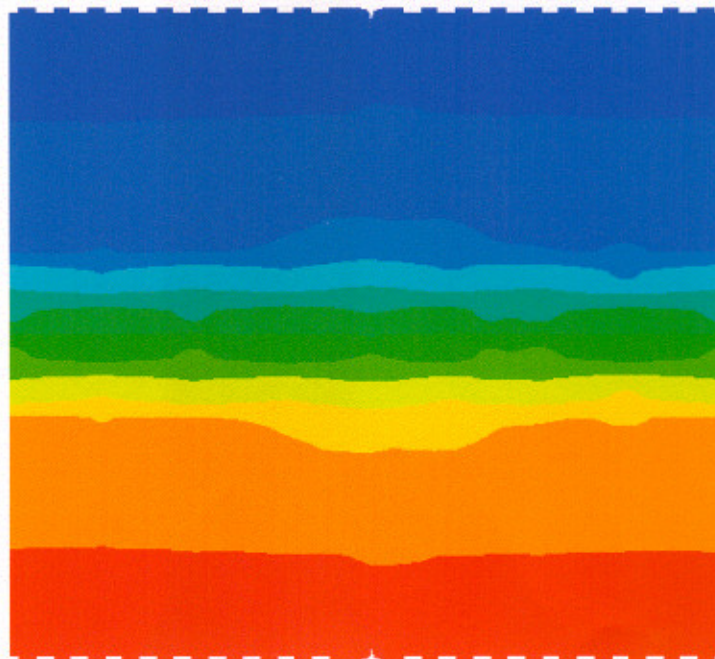
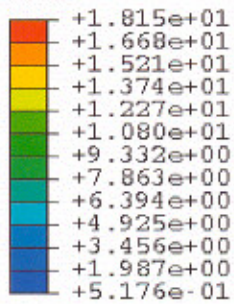


Fig. 5. Distribución de temperaturas (°C) en el bloque con mortero en las perforaciones

HFL, HFL2
(Avg: 75%)

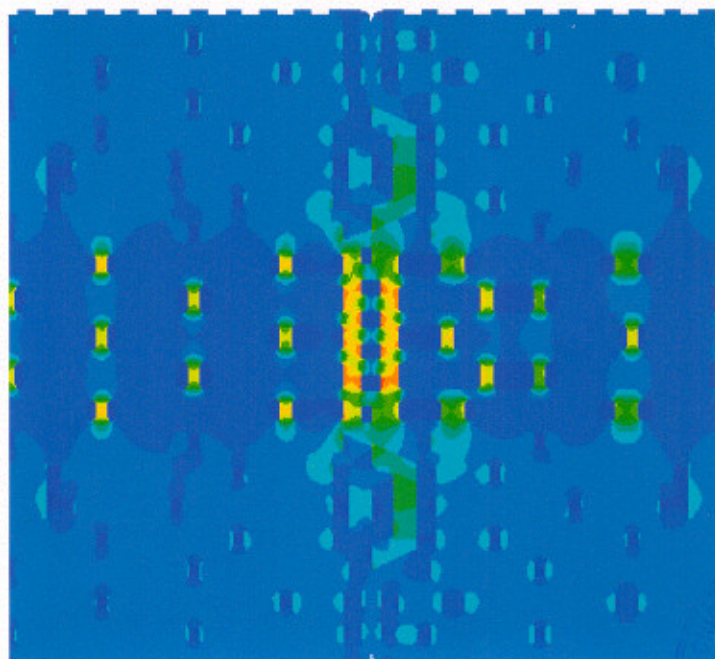
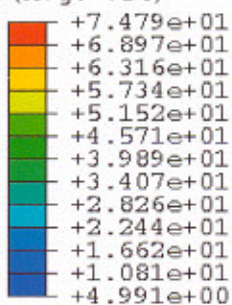


Fig. 6. Distribución de flujo de calor (W/m²) en el bloque con mortero en las perforaciones





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21

28003 MADRID

Tf. 91 336 69 64

e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME N° CT-070502

Página 7 de 13

6. MODELIZACIÓN TÉRMICA DE LA FÁBRICA SIN REVESTIR

Como se ha descrito en el apartado 1, se trata de una fábrica con tendel de junta discontinua de 50 mm de espesor en la dirección del flujo de calor.

El mortero penetra en las perforaciones del bloque 10 mm por encima y 10 mm por debajo del tendel, excepto en las perforaciones que coinciden con la cámara de discontinuidad y en las de cada una de las dos filas adyacentes a éstas.

El análisis se ha realizado mediante modelización en tres dimensiones de la unidad que se repite.

El flujo de calor es horizontal y perpendicular a la superficie del muro.

Las superficies perimetrales paralelas al flujo de calor se consideran adiabáticas.

Las distribuciones de temperatura y de flujo de calor obtenidas se representan en las figuras 7 y 8.

DATOS DE ENTRADA:

Conductividad equivalente del bloque	0,146 W/mK
Conductividad equivalente del bloque con mortero en las perforaciones	0,343 W/mK
Conductividad equivalente del tendel	0,641 W/mK
Conductividad térmica de diseño del mortero	1,3 W/mK
Espesor del tendel	10 mm
Penetración de mortero en las perforaciones sobre el tendel	10 mm
Penetración de mortero en las perforaciones bajo el tendel	10 mm
Espesor de la cámara de discontinuidad de la junta	50 mm
Método de cálculo	Elementos finitos
Número de elementos	153760
Temperatura exterior	0 °C
Temperatura interior	20 °C
Resistencia superficial exterior	R_{se} 0,04 m ² K/W
Resistencia superficial interior	R_{si} 0,13 m ² K/W

RESULTADOS:

Temperatura superficial mínima (exterior)	T_{min} 0,35 °C
Temperatura superficial máxima (interior)	T_{max} 18,78 °C
Coefficiente de unión térmica	L^{3D} 0,034 W/K
Transmitancia térmica total de la fábrica	U 0,553 W/m²K
Resistencia térmica total de la fábrica	R_T 1,809 m²K/W
Resistencia térmica interna ($R_T - R_{se} - R_{si}$)	R_t 1,639 m²K/W
Conductividad térmica equivalente	λ_{equ} 0,188 W/mK



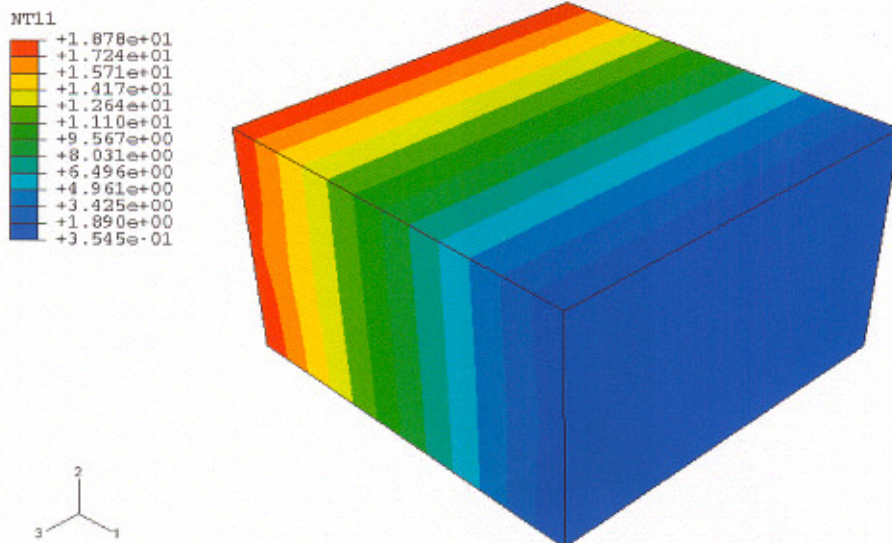


Fig. 7. Distribución de temperaturas (°C)

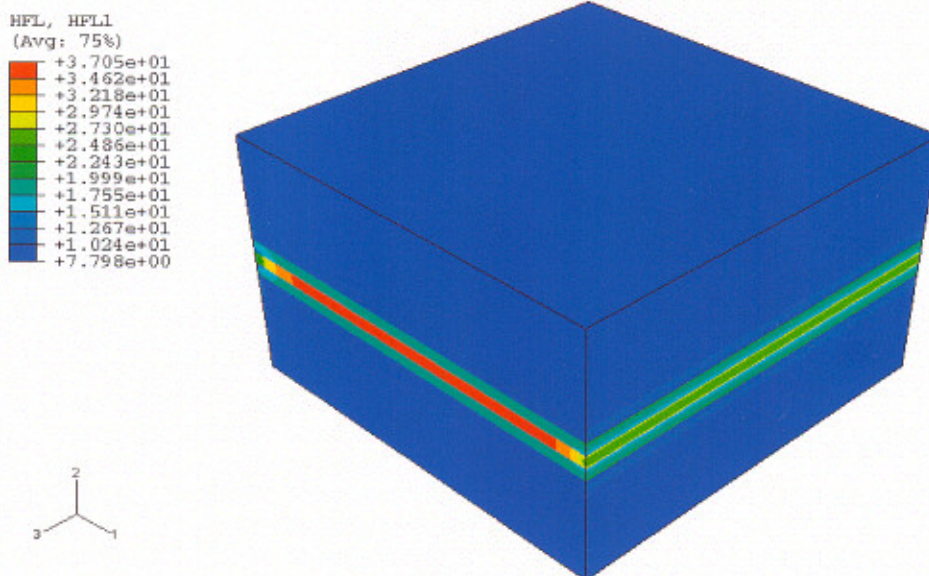


Fig. 8. Distribución de flujo de calor (W/m²)





7. TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LA FÁBRICA SIN REVESTIR CON DISTINTOS TIPOS DE MORTERO

La metodología, geometría y resto de datos de entrada descritos en los apartados anteriores son los utilizados para las restantes fábricas modelizadas. La única variación entre ellas es el tipo de mortero empleado y, por tanto, la conductividad térmica de éste.

En la tabla I se indican los datos de entrada para cada tipo de mortero.

En la tabla II se recogen los resultados relativos a cada uno de los casos para fábrica sin revestir.

Conductividad térmica de diseño del mortero (W/mK)	1,30	1,00	0,78	0,55	0,35	0,13
Conductividad equivalente del bloque (W/mK)	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
Conductividad equivalente del bloque con mortero (W/mK)	0,343	0,331	0,317	0,296	0,264	0,189
Conductividad equivalente del tendel (W/mK)	0,641	0,570	0,502	0,410	0,302	0,136

Tabla I. Datos de entrada para los distintos tipos de mortero

Conductividad térmica de diseño del mortero (W/mK)	1,30	1,00	0,78	0,55	0,35	0,13
Temperatura superficial mínima (°C)	0,355	0,354	0,354	0,353	0,352	0,351
Temperatura superficial máxima (°C)	18,78	18,79	18,80	18,81	18,83	18,85
Coefficiente de unión térmica (W/K)	0,0343	0,0336	0,0328	0,0318	0,0305	0,0278
Transmitancia térmica total de la fábrica U (W/m²K)	0,553	0,541	0,530	0,513	0,491	0,449
Resistencia térmica (m²K/W)	1,809	1,847	1,888	1,949	2,036	2,227
Resistencia térmica interna (m²K/W)	1,639	1,677	1,718	1,779	1,866	2,057
Conductividad térmica equivalente (W/mK)	0,188	0,184	0,179	0,173	0,165	0,150

Tabla II. Resultados de la fábrica sin revestir para los distintos tipos de mortero



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, puede caracterizarse la función $U_{\text{Fábrica}} = \varphi(\lambda_{\text{mortero}})$, representada en la figura 9.

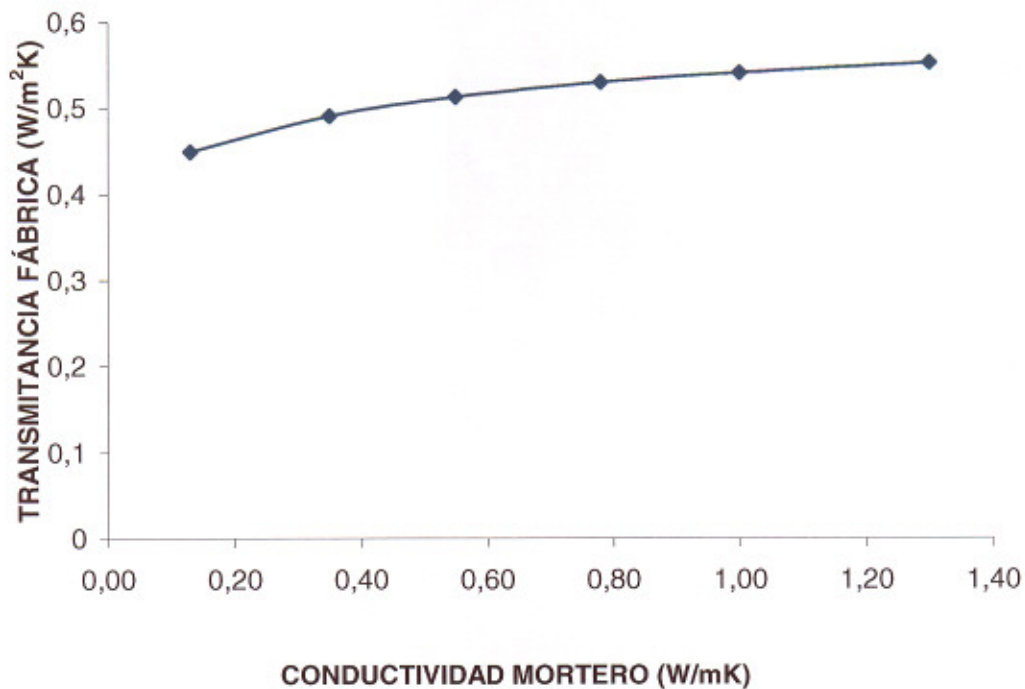


Fig. 9. Transmitancia de la fábrica en función de la conductividad del mortero

donde:

$$y = -0,0603x^4 + 0,2441x^3 - 0,3901x^2 + 0,3361x + 0,4114 \quad \text{con } R^2 = 1$$

siendo x la conductividad del mortero e y la transmitancia de la fábrica en las unidades indicadas.





8. FÁBRICA CON REVESTIMIENTO

Los resultados térmicos obtenidos en el apartado anterior sirven de base para el cálculo de los valores térmicos de la fábrica con cualquier tipo de revestimiento. Para ello se aplica lo indicado en el apartado E.1.1 del Documento Básico HE 1, Apéndice E, del Código Técnico de la Edificación.

Considerando el caso de la fábrica revestida según:

Enlucido de yeso de espesor $e_y = 15$ mm

Enfoscado de mortero monocapa de espesor $e_m = 15$ mm

Conductividad de diseño del yeso $\lambda_y = 0,3$ W/mK

Conductividad de diseño del mortero monocapa $\lambda_m = 0,63$ W/mK

Resistencia superficial interior $R_{si} = 0,13$ m²K/W

Resistencia superficial exterior $R_{se} = 0,04$ m²K/W

La resistencia total de la fábrica revestida viene dada por:

$$R_T = R_{si} + \frac{e_y}{\lambda_y} + R_t + \frac{e_m}{\lambda_m} + R_{se}$$

La transmitancia de la fábrica revestida será:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Los resultados obtenidos para los distintos tipos de mortero considerados se recogen en la tabla III.





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21

28003 MADRID

Tf. 91 336 69 64

e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME Nº CT-070502

Página 12 de 13

Conductividad térmica de diseño del mortero (W/mK)	1,30	1,00	0,78	0,55	0,35	0,13
Resistencia térmica (m ² K/W)	1,883	1,921	1,962	2,023	2,110	2,301
Transmitancia térmica total de la fábrica U (W/m ² K)	0,531	0,521	0,510	0,494	0,474	0,435

Tabla III. Resultados de la fábrica con revestimiento para los distintos tipos de mortero

De forma análoga al apartado anterior, puede caracterizarse la función $U_{\text{fábrica}} = \varphi(\lambda_{\text{mortero}})$, representada en la figura 10.

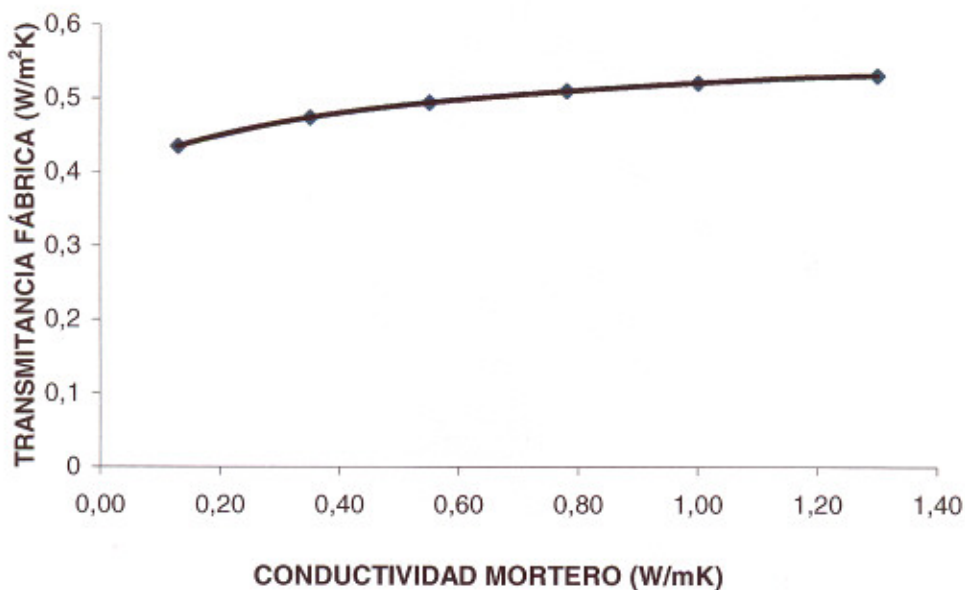


Fig. 10. Transmitancia de la fábrica con revestimientos en función de la conductividad del mortero

donde:

$$y = -0,0812x^4 + 0,2916x^3 - 0,4155x^2 + 0,3273x + 0,3989 \quad \text{con } R^2 = 1$$

siendo x la conductividad del mortero e y la transmitancia de la fábrica en las unidades indicadas.





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES
ÁREA DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS

C/ RÍOS ROSAS, 21
28003 MADRID
Tf. 91 336 69 64
e-mail: felix.mayoral@upm.es

INFORME Nº CT-070502

Página 13 de 13

9. OBSERVACIONES

En el estriado del bloque se ha considerado el espesor medio.
La geometría del bloque ha sido suministrada por el fabricante.
Las respectivas conductividades de los materiales son las indicadas por el fabricante.
El programa utilizado en la modelización ha sido validado según las normas UNE-EN 1745:2002 y UNE-EN ISO 10211:1995.

Madrid, 3 de Mayo de 2007



Fdo.: Félix Mayoral González
Profesor Titular de Universidad
Universidad Politécnica de Madrid