

Práctica 1. Cálculo de los procesos de transmisión de calor en los cerramientos exteriores de una vivienda.

Física del Medio Ambiente.
Prof. Diego Pablo Ruiz Padillo

Material: Termómetro de infrarrojos, tablas de conductividades térmicas de materiales.

1) Realice un croquis de la distribución en planta de su vivienda. Describa y clasifique los cerramientos que den al exterior. Disponga los resultados en tablas, indicando para cada caso el grosor, la conductividad térmica de los constituyentes y la resistencia térmica de cada uno de ellos, distinguiendo entre:

Cerramientos horizontales (techo y suelo)
Cerramientos verticales (muros, ventanas y puertas).

2) *Cálculo del flujo de calor mediante conducción a través de los cerramientos exteriores de la vivienda.*

Para ello se hará la medida de temperaturas superficiales a ambos lados de los cerramientos usando el termómetro de infrarrojos. Elija una hora conveniente para efectuar la medición (de forma que se obtenga al menos un gradiente de 2 °C).

3) *Cálculo del coeficiente de transmisión superficial h interno y externo que recoge los efectos de convección y radiación.*

Este cálculo se hará para cada cerramiento a partir de la igualación de los flujos de calor. En estado estacionario,

$$J_q = \frac{(T_{\text{int muro}} - T_{\text{ext muro}})}{R_T} = h_{\text{int}} A_{\text{muro}} (T_{\text{int hab}} - T_{\text{int muro}}) = h_{\text{ext}} A_{\text{muro}} (T_{\text{ext muro}} - T_{\text{amb}})$$

4) *Cálculo del coeficiente global de transmisión K para cada cerramiento exterior (ventana, pared, puerta, etc).*

El coeficiente K se calcula a partir de su definición y de los apartados anteriores. En aquellos cerramientos en los que sea imposible efectuar la medida, use para el cálculo los coeficientes de transmisión superficial recogidos en la tabla 4.2.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{\text{ext}}}}$$

5) Evaluación de los beneficios del aislamiento térmico.

Evaluar el porcentaje de reducción de pérdidas caloríficas en los siguientes supuestos:

- a) Si los huecos acristalados de ventanas se sustituyen por ventanas y acristalamientos dobles, con una cámara de aire entre ellos de espesor adecuado.
- b) Si se introducen cambios en los materiales y los espesores de los muros, introduciendo aislantes térmicos más efectivos.

Utilice para los cálculos de este apartado las tablas de conductividades térmicas de materiales adjuntas con el guión de prácticas.

Práctica 2. Estimación de las pérdidas de energía térmica de una persona en un ambiente dado.

Física del Medio Ambiente.
Prof. Diego Pablo Ruiz Padillo

Material: Termómetro de infrarrojos.

1) *Cálculo del flujo de calor por conducción entre zapatos/suelo y entre la piel/ropa.*

Para ello se utilizará la expresión derivada de la ley de Fourier.

1.a) Flujo de calor entre zapatos y suelo:

$$J_q = \frac{(T_c - T_s)\lambda_z A_{pie}}{E_{suela}}$$

1.b) Flujo de calor entre la piel y la ropa: Consideramos el cuerpo humano como un cilindro de altura L igual a la altura total sin cabeza. El radio externo r_e se tomará como el radio medio con ropa, y el radio interno r_i como el radio medio hasta la piel.

$$J_q = \frac{(T_c - T_r)2\pi\lambda_r L}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$

2) *Cálculo del flujo de calor por convección desde la ropa al aire que rodea a la persona.*

Se considera al cuerpo humano como una superficie vertical calentada. Por lo tanto, se determina la altura a la cual comienza el régimen turbulento ($Gr = 10^9$) y en base a este valor se determina el coeficiente de convección medio, distinguiendo entre las zonas laminar y turbulenta de flujo. Los valores de h a tomar para cada régimen de flujo son:

$$h_{laminar} = 1,07 \sqrt[4]{\frac{(T_r - T_a)}{x}}; h_{turbulento} = 1,13 \sqrt[3]{(T_r - T_a)}$$

El flujo se obtendrá, por tanto, a partir de la expresión:

$$J_q = \bar{h}(T_r - T_a)A$$

Donde A es el área del cuerpo humano, que se estima mediante la fórmula de Dubois:

$$A_{cuerpo} = 0,202 M^{0,425} H^{0,725}$$

3) *Cálculo del flujo de calor por convección desde la cabeza al ambiente.*

Se utilizará la expresión

$$J_q = A_{cabeza} h(T_c - T_a) \text{ donde } h = 0,5(T_c - T_a)^{1/4}$$

Para el cálculo del área de la cabeza considerar a ésta como una esfera.

4) Cálculo del flujo de calor por radiación desde la ropa al ambiente.

Se utilizará la siguiente expresión, donde todas las magnitudes están expresadas en el S.I. y el flujo se obtiene en vatios. No olvide expresar la temperatura en grados Kelvin.

$$J_q = 0,7 A_{\text{cuerpo}} \varepsilon \sigma (T_r^4 - T_a^4)$$

La emisividad de la persona (ε) puede tomarse como 0,7.

5) Cálculo de la pérdida total de calor sensible

Se obtiene sumando los resultados obtenidos en 2), 3) y 4). Obtenga este valor y estime las pérdidas de energía en Kcal/día.

6) Estimación de la pérdida de calor latente por evaporación y respiración:

Para obtener un balance completo de las pérdidas de calor del cuerpo humano es necesario considerar la pérdida de calor latente. En reposo ésta se llega a suponer el 10% del total, pero con actividad física puede llegar a un 50% del total. Estime a partir de los resultados del apartado 5) entre qué valores fluctúa el flujo total de calor perdido por el cuerpo humano en reposo y con actividad física fuerte.

7) Discusión de resultados.

Comente los resultados obtenidos en el apartado anterior. Compare las pérdidas de calor con las necesidades calóricas diarias de una persona media. ¿Qué conclusiones puede extraer?

Nomenclatura:

T_a = Temperatura ambiente.

T_s = Temperatura de la suela de los zapatos.

T_c = Temperatura del cuerpo (piel).

T_r = Temperatura de la ropa.

λ_r = Conductividad térmica de la ropa. Un valor típico es de 0,051 kcal/hm°C.

λ_z = Conductividad térmica de la suela de los zapatos. Un valor típico es de 0,1 kcal/hm°C.

M = Masa de la persona (kg).

H = Altura de la persona (m).

Nota: Las expresiones que aparecen en este guión de prácticas incluyen coeficientes con dimensiones. Al utilizarlas use siempre el Sistema Internacional de Unidades.

TABLA 4.1 Continuación
Conductividades térmicas de materiales de construcción, (W/m°C)

Material	Peso específico (kg/m ³)	Conductividad térmica λ
LADRILLOS Y PLAQUETAS (2)		
- Fábrica de ladrillo macizo	1800	0,87
- Fábrica de ladrillo perforado	1600	0,76
- Fábrica de ladrillo hueco	1200	0,49
- Plaquetas	2000	1,05
VIDRICO (3)		
- Vidrio para acristalar	2500	0,95
METALES		
- Fundición y acero	7850	58,00
- Cobre	8900	384,00
- Bronce	8500	64,00
- Aluminio	2700	204,00
MADERA		
- Maderas frondosas	800	0,21
- Maderas de coníferas	600	0,14
- Contrachapado	600	0,14
- Tablero aglomerado de partículas	650	0,08
PLÁSTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS		
- Linóleo	1200	0,19
- Moquetas, alfombras	1000	0,05
MATERIALES BITUMINOSOS		
- Asfalto	2100	0,70
- Betún	1050	0,17
- Láminas bituminosas	1100	0,19
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS		
- Arcilla expandida	300	0,085
- Arcilla expandida	450	0,114
- Aglomerado de corcho	110	0,039
- Espuma elastomérica	60	0,034
- Fibra de vidrio		
* Tipo I	10-18	0,044
* Tipo II	19-30	0,037
* Tipo III	31-45	0,034
* Tipo IV	46-65	0,033
* Tipo V	66-90	0,033
* Tipo VI	91	0,036
- Lana mineral		
* Tipo I	30-50	0,042
* Tipo II	51-70	0,040
* Tipo III	71-90	0,038
* Tipo IV	91-120	0,038
* Tipo V	121-150	0,038
- Perilita expandida	130	0,047

(1) Los pesos específicos se refieren al bloque, no a la fábrica

(2) Véase tabla "Resistencias térmicas de muros de cerramiento de ladrillo"

(3) Véase tabla "Coeficientes de transmisión de ventanas"

TABLA 4.1
Conductividades térmicas de materiales de construcción, (W/m²C)

Material	Peso específico (kg/m ³)	Conductividad térmica λ
ROCAS Y SUELOS NATURALES		
Rocas y terrenos		
- Rocas compactas	2500-3000	3,50
- Rocas porosas	1700-2500	2,33
- Arena con humedad natural	1700	1,40
- Suelo coherente humedad natural	1800	2,10
Arcilla	2100	0,93
Materiales sueltos de relleno desecados al aire, en forjados, etc.		
- Arena	1500	0,58
- Grava rodada o de machaqueo	1700	0,81
- Escoria de carbón	1200	0,19
- Cascote de ladrillo	1300	0,41
PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES		
Revestimientos continuos		
- Morteros de cal y bastardos	1600	0,87
- Mortero de cemento	2000	1,40
- Enlucido de yeso	800	0,30
- Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
Hormigones normales y ligeros		
- Hormigón armado (normal)	2400	1,63
- Hormigón con áridos ligeros	600	0,17
Hormigón con áridos ligeros	1000	0,33
Hormigón con áridos ligeros	1400	0,55
- Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,34
Hormigón celular con áridos silíceos	1000	0,67
Hormigón celular con áridos silíceos	1400	1,09
- Hormigón celular sin áridos	305	0,09
- Hormigón en masa con grava normal		
* con áridos ligeros	1600	0,73
* con áridos ordinarios, sin vibrar	2000	1,16
* con áridos ordinarios, vibrado	2400	1,63
- Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,12
Hormigón en masa con arcilla expandida	1500	0,55
Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas (1)		
- Con ladrillos silicocalcáreos macizo	1600	0,79
- Con ladrillos silicocalcáreos perforado	2500	0,56
- Con bloques huecos de hormigón	1000	0,44
Con bloques huecos de hormigón	1200	0,49
Con bloques huecos de hormigón	1400	0,56
- Con bloques hormigón celular curado vapor	600	0,35
Con bloques hormigón celular curado vapor	800	0,41
Con bloques hormigón celular curado vapor	1000	0,47
- Con bloques hormigón celular curado aire	800	0,44
Con bloques hormigón celular curado aire	1000	0,56
Con bloques hormigón celular curado aire	1200	0,70
Placas o paneles		
- Cartón-yeso	900	0,18
- Hormigón con fibra de madera	450	0,08
- Placas de escayola	800	0,30

- (1) Los pesos específicos se refieren al bloque, no a la fábrica
(2) Véase tabla "Resistencias térmicas de muros de cerramiento de ladrillo"
(3) Véase tabla "Coeficientes de transmisión de ventanas"

Material	Peso específico (kg/m ³)	Conductividad térmica λ
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS (Continuación)		
- Poliestireno expandido UNE 53.310		
• Tipo I	10	0,057
• Tipo II	12	0,044
• Tipo III	15	0,037
• Tipo IV	20	0,034
• Tipo V	25	0,033
- Poliestireno extrusionado	33	0,033
- Polietileno reticulado	30	0,038
- Polisisocianurato, espuma de	15	0,026
- Poliuretano conformado, espuma de		
• Tipo I	32	0,023
• Tipo II	35	0,023
• Tipo III	40	0,023
• Tipo IV	80	0,040
- Poliuretano aplicado in situ, espuma de		
• Tipo I	35	0,023
• Tipo II	40	0,023
- Urea formol, espuma de	10-12	0,034
- Urea formol, espuma de	12-14	0,035
- Vermiculita expandida	120	0,035
- Vidrio celular	160	0,044

(1) Los pesos específicos se refieren al bloque, no a la fábrica

(2) Véase tabla "Resistencias térmicas de muros de cerramiento de ladrillo"

(3) Véase tabla "Coeficientes de transmisión de ventanas"

TABLA 4.2
Resistencias térmicas superficiales (m²C/W)

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación del cerramiento			
	De separación con espacio exterior o local abierto		De separación con otro local, desván o cámara de aire	
	1/h _e	1/h _s	1/h _i	1/h _e
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,11	0,06	0,11	0,11
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal < 60° y flujo ascendente	0,09	0,05	0,09	0,09
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,17	0,05	0,17	0,17

COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS DE UNA VIVIENDA

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Techo y Suelo	Bloques huecos de hormigón	0.490	0.250
	Mortero cemento	1.400	0.050
	Yeso	0.300	0.015

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Muro Exterior	Ladrillo perforado	0.760	0.160
	Aislante tipo II	0.037	0.030
	Mortero cemento	1.400	0.025
	Yeso	0.300	0.015
	Cámara de aire	0.024	0.020

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Muro Medianero	Ladrillo macizo	0.870	0.070
	Mortero cemento	1.400	0.015
	Yeso	0.300	0.015

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Tabiquería Interior	Ladrillo hueco	0.490	0.070
	Yeso	0.300	0.030

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Puerta	Madera	0.140	0.035

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Ventana	Cristal	0.950	0.005

CERRAMIENTO	Materiales	Conductividad Térmica (W/m°C)	Grosor
Doble Ventana	Cristal	0.950	0.010
	aire	0.026	0.070