

TRABAJO PRACTICO Nº4
DISEÑO AMBIENTALMENTE CONSCIENTE
Calidad higrotérmica de cerramientos verticales y horizontales

Preparado por: Arq. Analía Gómez - PA ; Arq. Jorge Czajkowski - PT; Arq. Carlos Ferreyro JTP

CONDUCCIÓN TÉRMICA: La conducción térmica es una de las formas de transferencia de calor que tiene lugar cuando la diferencia de temperaturas entre dos porciones contiguas de un sólido opaco y en reposo o de dos sólidos en contacto provoca el pasaje de calor de una zona a otra en el sentido de las temperaturas decrecientes.

Este proceso está asociado a una de las propiedades físicas de los materiales denominada *conductividad térmica* (λ) Esta depende de la temperatura, la presión y la naturaleza del material. La podemos definir como:

$\lambda = [W / m \text{ } ^\circ C]$ La propiedad de un material que determina el flujo de calor que se transmite en régimen estacionario, en la unidad de tiempo, a través de una unidad de espesor de una unidad de área cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es la unidad.

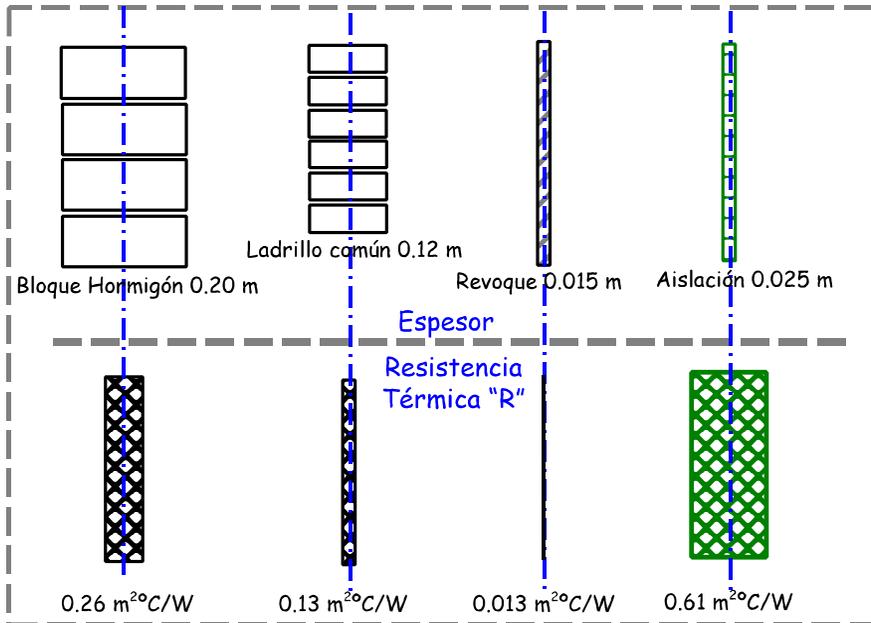
El flujo de calor depende, además de la conductividad térmica, del espesor del elemento que estemos considerando. La relación entre ambas variables es el *coeficiente de transmitancia térmica K*, al que podemos definir como:

$K = \lambda / e [W / m^2 \text{ } ^\circ C]$ La cantidad de calor que se transmite en régimen estacionario, en la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie por un material o elemento constructivo de cierto espesor, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es la unidad.

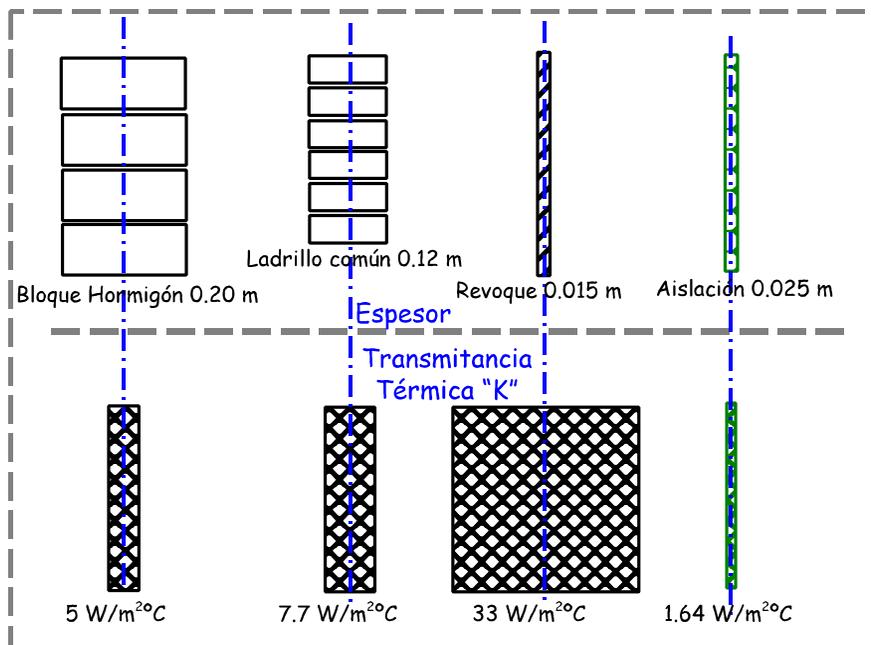
Como podemos apreciar la transmitancia térmica es inversamente proporcional al espesor, por lo tanto a mayor espesor el flujo de calor es menor y a mayor conductividad térmica habrá un mayor flujo de calor.

La propiedad inversa de la transmitancia térmica es la *resistencia térmica R*.

$R = e / \lambda [m^2 \text{ } ^\circ C / W]$ La resistencia térmica de un elemento constructivo está determinada por la suma de las resistencias de las capas uniformes y homogéneas de conductividad y espesor, que constituyen el elemento considerado, más las resistencias térmicas superficiales (interior y exterior) que es la resistencia al flujo de calor por convección y radiación.



La figura muestra la comparación de las resistencias térmica "R" para distintos espesores de muros de bloques de hormigón, ladrillos común, revoque y aislación térmica.



La figura muestra la comparación de la transmitancia térmica "K" para distintos espesores de muros de bloques de hormigón, ladrillos común, revoque y aislación térmica.

Verificación de la *calidad térmica edilicia* en los componentes tecnológico-constructivos de la envolvente.

- a. Calcular el coeficiente "K" para las soluciones de muros y techos indicadas por el docente.
- b. Verificar el cumplimiento de la Norma IRAM 11605: 1996 sintetizada en las Tablas. Para las situaciones de invierno y verano
- c. En caso de no verificar las condiciones de aislación mínima propuestas por la Norma IRAM, mejorar la aislación de la solución constructiva analizada y rehacer el cálculo.
- d. Discutir sobre la conveniencia de usar los niveles de calidad térmica A y B

CONDICIONES DE INVIERNO

La actualización de la Norma IRAM 11 605 contempla un profundo cambio en la manera de verificar los valores admisibles ya que se deja de utilizar la zona bioambiental, la masa y la orientación como variables de referencia y se pasa a utilizar la temperatura de diseño. Además se consideran tres condiciones diferentes de confort interior correspondiendo la condición **C** a 18°, la condición **B** a 20° y la condición **A** a 22°. Por otra parte y para lograr ese confort la superficie interior del cerramiento (muro o techo) no debe superar un cierto salto en la temperatura. Así para la condición **C** la diferencia de temperatura admisible entre la superficie interior del cerramiento y la temperatura del ambiente interior tomada a 1.50m sobre el nivel del suelo y en el centro de la habitación no superará los 4°C; este salto será de 2.5°C para el nivel **B** y 1°C para el nivel **A**.

Esta diferencia en el modo de determinar los valores admisibles respecto de valores anteriores en la norma se basa en la necesidad de priorizar el confort térmico y evitar la condensación superficial en el interior en los cerramientos. Para esto se utiliza la temperatura resultante que se obtiene con la siguiente expresión: $T_{res} = (T_{int} + T_{rad}) / 2$, donde T_{res} es la temperatura resultante, T_{int} es la temperatura de bulbo seco del aire interior y T_{rad} es la temperatura radiante media interior. Tendremos así tres niveles establecidos que serán 21°C, 18.8°C y 16°C.

Como todo cambio siempre arrastra ventajas y desventajas. Entre las ventajas podemos mencionar que es responsabilidad del diseñador buscar los datos climáticos de la localidad donde va a hacer su obra y decidir el nivel de confort que le quiere dar a la misma. Desde ya que existe un marco de referencia dado por la Norma IRAM 11 603, que brinda valores para un centenar de localidades argentinas y en la misma se incorporan valores de corrección para microclimas y cambios sobre la altura sobre el nivel del mar. Por otra parte los tres niveles de confort implican un mayor gasto en aislación térmica que puede convertirse en una buena inversión en el corto plazo ya que este sobrecosto se recupera en 2/4/6 años para los niveles **C/B/A**, respectivamente, para la región de Gran Buenos Aires donde existe una tarifa homogénea en el gas natural. De calefaccionarse con otros combustibles, de mayor costo, el retorno de la inversión es mucho mas rápido.

Temperatura exterior de diseño (T_{ed}) [°C]	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
-15	0,23	0,20	0,60	0,52	1,01	1,00
-14	0,23	0,20	0,61	0,53	1,04	1,00
-13	0,24	0,21	0,63	0,55	1,08	1,00
-12	0,25	0,21	0,65	0,56	1,11	1,00
-11	0,25	0,22	0,67	0,58	1,15	1,00
-10	0,26	0,23	0,69	0,60	1,19	1,00
-9	0,27	0,23	0,72	0,61	1,23	1,00
-8	0,28	0,24	0,74	0,63	1,28	1,00
-7	0,29	0,25	0,77	0,65	1,33	1,00
-6	0,30	0,26	0,80	0,67	1,39	1,00
-5	0,31	0,27	0,83	0,69	1,45	1,00
-4	0,32	0,28	0,87	0,72	1,52	1,00
-3	0,33	0,29	0,91	0,74	1,59	1,00
-2	0,35	0,30	0,95	0,77	1,67	1,00
-1	0,36	0,31	0,99	0,80	1,75	1,00
0	0,38	0,32	1,00	0,83	1,85	1,00

La temperatura mínima de diseño se obtiene, de manera simplificada, restando 4,5° a la temperatura mínima media de la localidad. Esto se corresponde a una frecuencia de 4 días de ocurrencia de cierta temperatura en 5 años.

Tabla 1: Valores de $K_{MAX ADM}$ para condición de invierno en $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Para valores intermedios interpolar linealmente.

CONDICIONES DE VERANO

En la verificación del confort térmico de verano se mantienen los tres niveles mencionados: **A** (recomendado), **B** (medio) **C** (mínimo). Estos niveles de aislación térmica surgen de considerar como temperaturas de confort interior: 30°C para la Zona Bioambiental I, 29°C para la zona II, 28°C para la III y 27°C para la IV, con temperaturas exteriores de diseño de 38°C, 36°C 34°C y 32°C respectivamente. Se consideran también la diferencia entre la temperatura superficial interior y la temperatura ambiente interior con valores de 1°C, 2.5°C y 4°C para los niveles **A**, **B** y **C** respectivamente. Esto quiere decir que mediante el uso de aislantes térmicos se busca que las paredes y techos no irradien calor al ambiente interior aumentando la sensación de desconfort. Puede verse que para el nivel mínimo “**C**” la pared o techo interior podría llegar a estar a 34°C en la Zona I o 32°C en nuestra zona bioclimática.

Se utilizó un valor de radiación solar homogéneo para todas las zonas de 900 W/m² en techos y 400 W/m² en paredes, con un coeficiente de absorción de la radiación solar de 0.7 que corresponde a los materiales mas usuales en la región (ladrillo a la vista, tejas, hormigón visto y colores medios).

En la discusión en IRAM se noto que los valores admisibles que se iban obteniendo para cada nivel de confort (**A-B-C**), eran semejantes con lo cual se utilizó como variable de referencias las Zonas Bioambientales. De esta forma se obtuvieron los valores admisibles de verano.

Zona Bioambiental de IRAM 11.603	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
I y II	0,45	1,8	1,10	0,45	1,80	0,72
III y IV	0,50	0,19	1,25	0,48	2,00	0,76

La temperatura máxima de diseño se obtiene, de manera simplificada, sumando 3,5° a la temperatura máxima media de la localidad. Esto se corresponde a una frecuencia de 4 días de ocurrencia de cierta temperatura en 5 años.

Tabla 2: Valores de K_{MAX ADM} para condición de verano en W/m² °C.

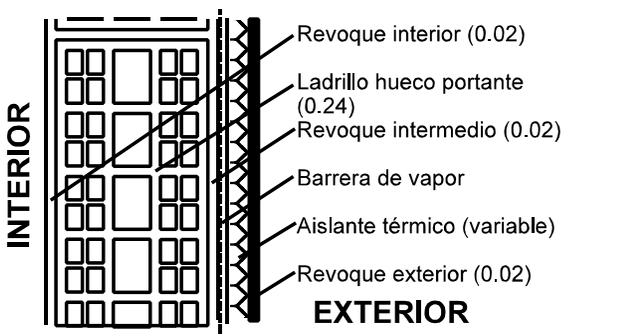
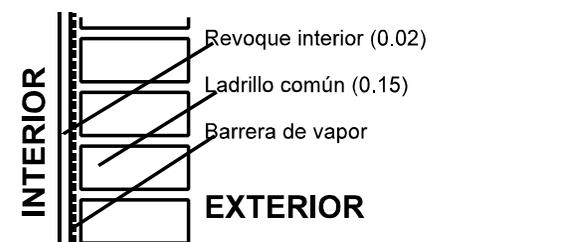
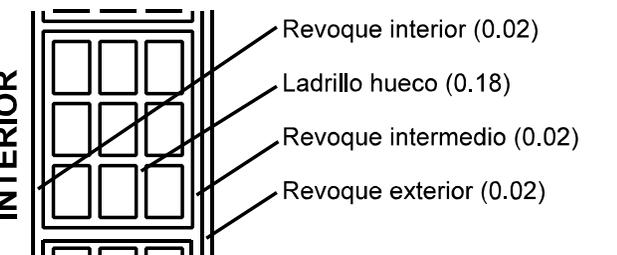
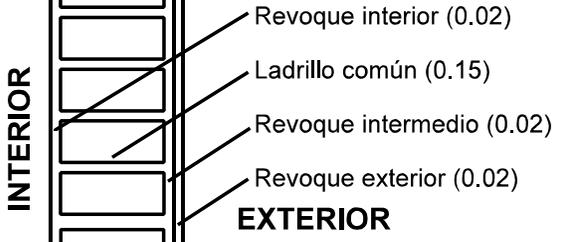
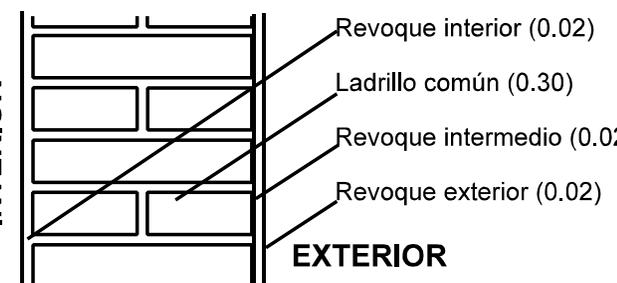
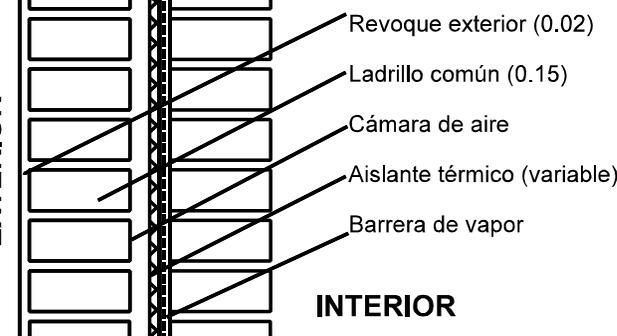
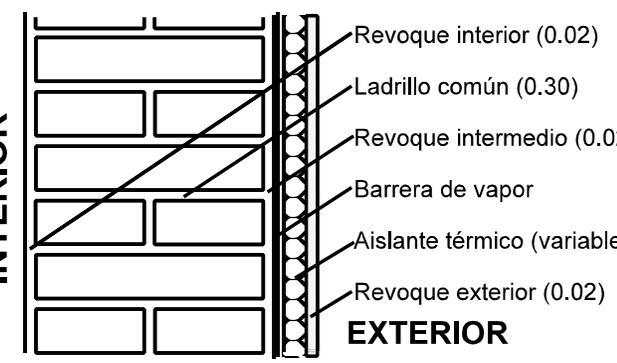
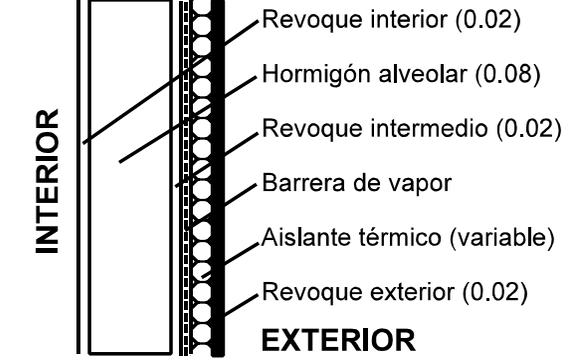
Los valores admisibles establecidos en la Tabla 2 corresponden a elementos de cerramientos (muros y techos) cuya superficie exterior presente un coeficiente de absorción de la radiación solar de 0.7 ± 0.1

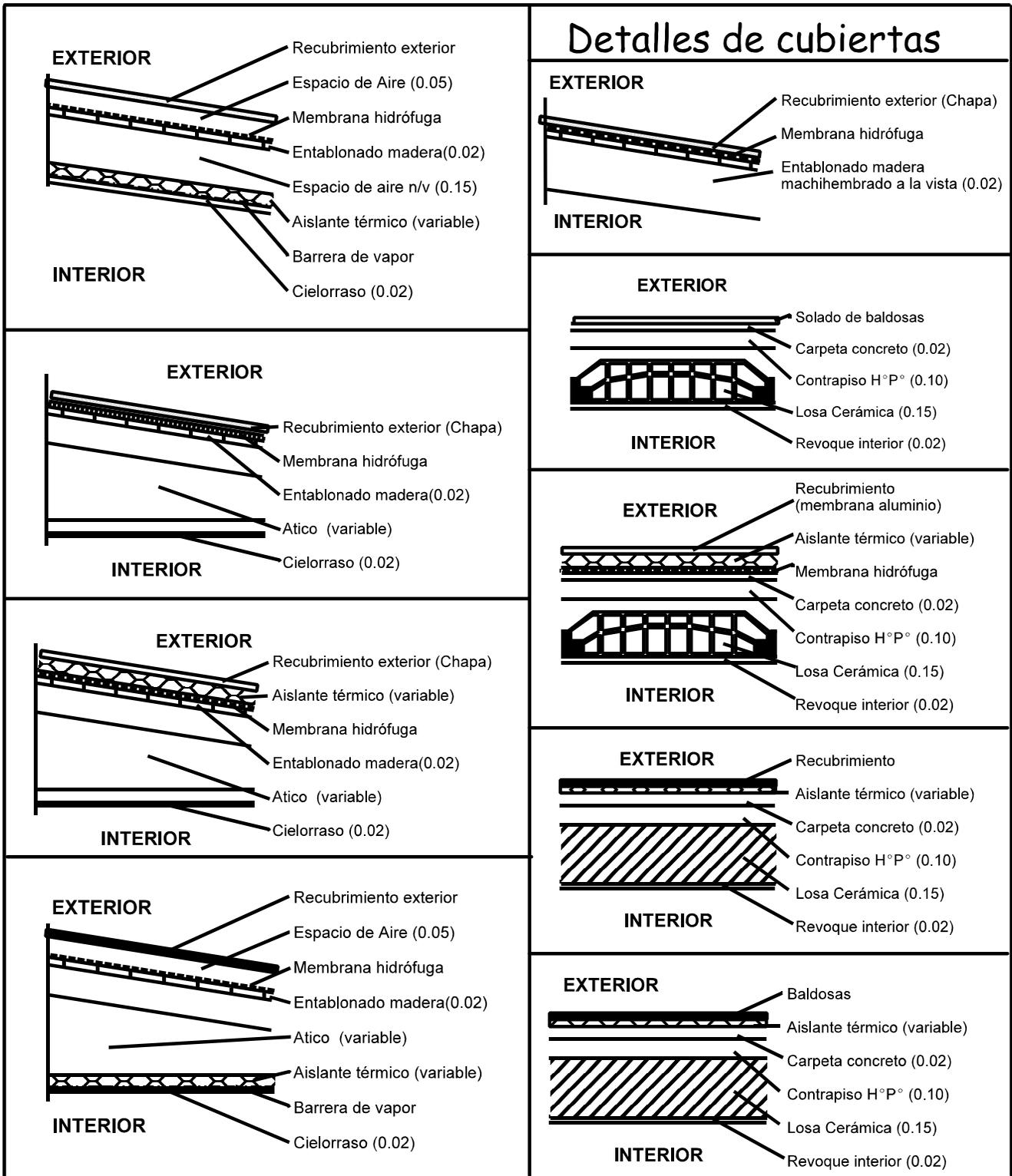
Para coeficientes de absorción menores que 0.6 se deben incrementar los valores de transmitancia térmica admisible en los siguientes porcentajes: muros un 20%, techos un 30%.

Para coeficientes de absorción mayores que 0.8 se deben disminuir los valores de transmitancia térmica admisible en los siguientes porcentajes: muros un 15%, techos un 20%.

MATERIALES	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN	PINTURA	Claro	Mediano	Oscuro
		amarillo	0.30	0.50	0.70
Ladrillo común	0.7	castaño claro (beige)	0.35	0.55	0.90
Ladrillos negros u oscuros	0.75 a 0.85	castaño	0.45	0.75	0.98
Ladrillos rojos claros	0.50 a 0.60	rojo	0.65	0.80	0.90
Hormigón a la vista	0.70	verde	0.40	0.70	0.85
Hormigón a la vista texturado	0.80	azul	0.40	0.75	0.90
Hormigón con agregado de cemento blanco	0.50	gris	0.45	0.65	0.75
Revoque	0.55	anaranjado	0.40	0.60	0.75
Revoque claro	0.40	rosa	0.45	0.55	0.70
Marfil blanco	0.40 a 0.50	púrpura	0.60	0.80	0.90
Baldosas rojas	0.85	aluminio puro	---	0.45	---
Fibrocemento	0.60	negro	---	---	0.95
Aluminio anodizado (natural)	0.45	Tabla 3: Valores de absorción de la radiación solar para materiales y colores de pintura usuales			
Aluminio envejecido	0.80				
Chapa galvanizada	0.50				

Detalles de muros

 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo hueco portante (0.24) Revoque intermedio (0.02) Barrera de vapor Aislante térmico (variable) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>	 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo común (0.15) Barrera de vapor</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>
 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo hueco (0.18) Revoque intermedio (0.02) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>	 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo común (0.15) Revoque intermedio (0.02) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>
 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo común (0.30) Revoque intermedio (0.02) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>	 <p>Revoque exterior (0.02) Ladrillo común (0.15) Cámara de aire Aislante térmico (variable) Barrera de vapor</p> <p>EXTERIOR INTERIOR</p>
 <p>Revoque interior (0.02) Ladrillo común (0.30) Revoque intermedio (0.02) Barrera de vapor Aislante térmico (variable) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>	 <p>Revoque interior (0.02) Hormigón alveolar (0.08) Revoque intermedio (0.02) Barrera de vapor Aislante térmico (variable) Revoque exterior (0.02)</p> <p>INTERIOR EXTERIOR</p>



MATERIAL	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica W / m.K			
ROCAS Y SUELOS NATURALES					
Rocas y terrenos	1200	0,31			
* Toba (Pumicita)	1400	0,38			
* Caliza porosa	1700	0,93			
* Caliza compacta	2000	1,16			
* Piedra pómez	600	0,19 a 0,31			
	800	0,27 a 0,41			
	1000	0,35 a 0,46			
	1400	0,58 a 0,66			
* Mármol	2500 a 2800	2,1 a 3,5			
* Onix		2,7			
* Granito	2600 a 2900	2,9 a 4,1			
* Cuarzita	2800	6,0			
* Basalto	2800 a 3000	1,3 a 3,7			
* Arcilla	1200	0,37			
* Suelo Natural ⁽¹⁾ (dependiendo de la composición del grado de compactación y de la humedad)	1600 a 1900	0,28 a 2,8			
MATERIALES PARA RELLENO DE SUELOS DESECADOS AL AIRE, EN FORJADOS, ET					
* Arena	seca	1500	0,3		
	húmeda 2%	1500	0,58		
	de río	húmeda 10%		0,93	
		húmeda 20%		1,33	
		saturada		1,88	
	de mar	seca		0,31	
		humedad 10%		1,24	
		humedad 20%		1,75	
		saturada		2,44	
	* Arenisca	2200	1,40		
	2400	2,10			
* Escorias porosas	800	0,24			
	1000	0,29			
	1200	0,33			
	1400	0,41			
* Grava	1500 a 1800	0,93			
MORTEROS Y YESO					
Revestimientos continuos	* Morteros de revoque y juntas (exterior)	1800 a 2000	1,16		
	* Morteros de revoque y juntas (interior)	1900	0,93		
	Mortero de cemento y arena	0,044	humedad 0%	1900	0,89
			humedad 6%	2000	1,13
			humedad 10%	2100	1,30
	Mortero con perlita	0,044	humedad 0%	1950	0,92
			humedad 5%	2000	1,10
	* Mortero de yeso y arena		1500	0,65	
	* Mortero de cal y yeso		1400	0,70	
	* Enlucido de yeso		800	0,40	
		1000	0,49		
		1200	0,64		
		600	0,31		
Paneles o placas	* de yeso		800	0,37	
			1000	0,44	
			1200	0,51	
			600	0,15	
			700	0,26	
			800	0,3	
	* de fibrocemento		1200	0,39	
			1300	0,45	
			1400	0,51	
			1500	0,58	
			1700	0,7	
			1800	0,87	
			1800 a 2200	0,95	
HORMIGONES NORMALES Y LIVIANOS					
* Hormigón normal con agregados pétreos		1800	0,97		
		1900	1,09		
		2000	1,16		
		2200	1,4		
		2400	1,63		
		2500	1,74		
* Hormigón de ladrillos triturado		1600	0,76		
		1800	0,93		
* Hormigón normal con escoria de alto horno		2200 a 2400	1,4		
* Hormigón de arcilla expandida		700	0,22		
		800	0,29		
		900	0,35		
		1000	0,42		
* Hormigón de vermiculita		1400	0,57		
		1800	0,89		
		500	0,14		
* Hormigón celular (incluye Hormigones gaseosos hormigones espumosos)		600	0,16		
		800	0,22		
		1000	0,30		
		1200	0,40		
		1400	0,50		
		500	0,14		
* Hormigón con vermiculita		600	0,16		
		1100	0,37		
		1300	0,45		
		1600	0,63		
* Hormigón con cáscara de arroz y canto rodado		2000	1,09		
		300	0,09		
		500	0,15		
		1000	0,26		
* Hormigón con poliestireno expandido		1300	0,35		
		300	0,09		
		400	0,14		
		2100	1,11		
* Hormigón con fibra de vidrio)resistente a los alkalis)		900	0,18		
* Hormigón refractario		600	0,13		
* Hormigón con carbón		400	0,14		
* Hormigón con viruta de madera		500	0,16		
LADRILLOS Y BLOQUES					
* Ladrillos cerámicos macizos		1600	0,81		
		1800	0,91		
		2000	1,10		
		1500	0,32		
* Bloque de suelo cemento macizos					
VIDRIOS					
* Vidrio para ventanas	2400 a 3200	0,58 a 1,05			
* Vidrio armado con malla metálica	2700	1,05			
* Vidrio resistente al calor	2200	1,00 a 1,15			
PLÁSTICOS RÍGIDOS EN PLANCHAS					
* Resina acrílica	1140	0,2			
* Policarbonato	1150	0,23			
* Polietileno	baja densidad	920	0,35		
	alta densidad	960	0,5		
* Polipropileno	915	0,24			
* Poliestireno	1050	0,17			
* Policloruro de vinilo, rígido	1350	0,16			

MATERIAL	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica W / m.K	
METALES			
* Acero de construcción	7800	58	
* Fundición	7200	50	
* Aluminio	2700	204	
* Cobre	8900	384	
* Latón	8800	110	
* Bronce	8800	42	
* Acero inoxidable	8100 a 9000	14,5 a 20,9	
MADERAS			
* Fresno	Paralelo a las fibras	740	0,3
	Perpendicular a las fibras	740	0,17
* Haya	Paralelo a las fibras	700 A 900	0,95 A 0,37
	Perpendicular a las fibras		0,21 A 0,27
* Abedul	Perpendicular a las fibras	880	0,13
* Alerce	Perpendicular a las fibras	600	0,14
* Balsa	Perpendicular a las fibras	100 A 200	0,047 A 0,088
		200 A 300	0,081 A 0,110
* Caoba	Paralelo a las fibras	700	0,31
	Perpendicular a las fibras		0,15
* Arce	Paralelo a las fibras	700	0,42
	Perpendicular a las fibras		0,16
* Roble		650	0,24
* Pino spruce, abeto	Paralelo a las fibras	400 A 600	0,28
	Perpendicular a las fibras		0,13 A 0,19
* Teca	Paralelo a las fibras	720	0,16
	Perpendicular a las fibras		0,14
* Nogal		700	0,27
* Madera dura		1200 a 1400	0,34
* Madera terciada		600	0,11
* Madera enchapada		600	0,15
		200	0,06
		300	0,069
		400	0,078
		500	0,087
* Tablero de partículas aglomeradas en general		600	0,09
		700	0,11
		800	0,13
		900	0,15
		1000	0,17
		300	0,073
* Tableros de partículas aglomeradas de lino		400	0,081
		500	0,11
		600	0,012
		700	0,15
* Tableros de fibras de madera aglomeradas		200	0,047
		300	0,054
		350	0,056
* Tableros lignocelulósicos de partículas mediante resinas sintéticas (con o sin impregnación con aceite)		100	0,24
* Laminado plástico decorativo	en una cara	1400	0,49
	en ambas caras	1400	0,44
PISOS			
* Baldosas	cerámicas		0,70
	de hormigón	2100	1,15
	de plástico	1000	0,51
	de corcho	530	0,08
* Caucho		800	0,11
		1300	0,13
		1500	0,19
* Parquet		500	0,17
		700	0,23
CUBIERTAS			
* Techado y fieltro asfáltico	1100 a 1200	0,17	
* Asfalto (espesor mín. 7mm y membrana asfáltica)	2000	0,7	
* Chapa metálica	7800	58	
* Tejas curvas		0,7	
* Tejas planas		0,76	
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS			
* Lana de vidrio		8 - 10	0,045
		11 - 14	0,043
		15 - 18	0,04
		19 - 30	0,037
		31 - 45	0,034
		46 - 100	0,033
* Lana de vidrio		30 - 50	0,042
		51 - 70	0,04
		71 - 150	0,038
		30 - 130	0,054
* Perlita	Suelta (granulado volcánico expandido mortero de perlita con yeso)	400	0,1
		500	0,12
		600	0,14
	mortero de perlita con cemento	700	0,18
		300	0,088
		400	0,093
* Poliestireno expandido	en planchas	15	0,037
		20	0,035
		25	0,033
		30	0,032
* Poliuretano (espuma rígida)	entre chapas o placas que hacen de barrera de vapor	30 - 60	0,022 - 0,024
	placas aislantes sin protección	30 - 60	0,027
	proyectadas in situ, protegidas entre barreras de vapor	30 - 60	0,022
	proyectadas in situ, protegidas entre frenos de vapor	30 - 60	0,024
* Vermiculita	suelta	80 a 130	0,07
	con cemento	400	0,11
		500	0,13
		600	0,17
		700	0,2
	y yeso (placa o revoque)	800	0,24
		200	0,11
		400	0,13
		500	0,15
		600	0,19
700		0,22	
		800	0,26
		900	0,29
		1000	0,34
MATERIALES VARIOS			
* Hielo	917	2,21	
* Nieve		150	0,12
		300	0,23
		500	0,47

⁽¹⁾ De no disponerse de datos sobre el tipo de suelo, se adoptará $\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$ según IRAM 11604

	Bloque cerámico				
e	0.08	0.18	0.18	0.12	0.15
h	0.15	0.08	0.18	0.18	0.18
l	0.25	0.25	0.40	0.33	0.33
masa	69	168	142	96	106
R	0.21	0.35	0.31	0.36	0.40

	Bloque cerámico				
e	0.18	0.12	0.18	0.18	0.12
h	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
l	0.33	0.33	0.33	0.25	0.25
masa	1.25	104	1.40	122	80
R	0.31	0.43	0.43	0.50	0.39

	Bloque hormigón				
e	0.10	0.20	0.195	0.19	0.19
h	0.19	0.20	0.195	0.19	0.19
l	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39
masa	130	234	200	188	160
R	0.17	0.20	0.19	0.21	0.22

	Losa cerámica				
e	----	----	----	----	----
h	0.12	0.16	0.20	0.20	0.20
l	0.50 a 0.70				
masa	210	220	270	310	360
R	↑ 0.29 ↓ 0.36	↑ 0.31 ↓ 0.37	↑ 0.27 ↓ 0.41	↑ 0.39 ↓ 0.48	↑ 0.41 ↓ 0.50

Resistencias térmicas de bloques cerámicos, cementicios y losas cerámicas (IRAM 11 601/87)

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES

Se tomaran valores de **RSI (resistencia superficial interna)** de acuerdo al elemento. Muros 0,12 m² °C / W , Techos para invierno 0,16 m² °C / W y para verano 0,11 m² °C / W.

Para la **RSE (resistencia superficial externa)** se tomará un valor de 0,04 m² °C / W ,tanto para muros como par cubiertas.

Para **cámaras de aire en muros** se tomará como valor de resistencia térmica superficial 0,15 m² °C / W.

Para espacios de aire **áticos**, se tomaran los siguientes valores:

Cubierta de tejas 0,23 m² °C / W para invierno y 0,17 m² °C / W para verano
 Cubierta de chapa 0,35 m² °C / W para invierno y 0,22 m² °C / W para verano