





Guía técnica aplicativa de la Norma EM.110 Envolvente Térmica

PERÚ Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE

PROYECTO CEELA

Siempre con el pueblo

BICENTENARIO DEL PERÚ 2021 - 2024

Tabla de contenido

1. Conceptos básicos sobre la transferencia de calor en una edificación 4
1.1. Mecanismos de transmisión del calor 4
1.1.1. Conducción 4
1.1.2. Convección 4
1.1.3. Radiación 5
1.2. Conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica 5
1.2.1. Coeficiente de conductividad térmica (k) 5
1.2.2. Resistencia térmica (Rt) 5
1.2.3. Transmitancia térmica (U) 5
1.3. Coeficiente de ganancia solar 6
1.4. Condensación 6
1.4.1. Humedad relativa (HR) 6
1.4.2. Punto de rocío (tr) 6
1.5. Estanqueidad 6
2. Componentes de la envolvente térmica 8
2.1. Tipos de envolvente 8
2.1.1. Envolvente muro 8
2.1.2. Envolvente techo 8
2.1.3. Envolvente piso 8
2.2. Ambientes habitables y no habitables 8
2.2.1. Ambiente habitable 8
2.2.2. Ambiente no habitable 9
2.3. Elementos térmicos 9
2.3.1. Cámara de aire: 9
2.3.2. Capa (térmicamente) homogénea 9
2.3.3. Capa (térmicamente) heterogénea 9
3. Zonas bioclimáticas 10
3.1. Tabla 10
3.2. Mapa 11
4. Ejemplos resueltos de casos puntuales 12
4.1. Calculo de la resistencia termica total de elementos homogéneos y elementos heterogéneos 12
4.1.1. Elementos homogéneos 12

4.1.2. Elementos heterogéneos 14
4.2. Cálculos de envolvente con cámaras de aire 20
4.2.1. Cámara de aire sin ventilar 21
4.2.2. Cámara de aire ligeramente ventilada 26
4.2.3. Cámara de aire muy ventilada 27
4.3. Cálculo de envolvente en contacto con ambientes no habitables (salvo envolvente piso que se encuentre separada o sobre elevado del terreno natural) .. 28
4.3.1. Obtenido mediante coeficiente de reducción de temperatura (tabla 08) 28
4.3.2. Cálculo del coeficiente de reducción de temperatura (b) para el resto de espacios no contemplados en la figura 1 32
4.4. Cálculo de envolvente piso que se encuentra separado o sobre elevada del terreno natural (tabla 10), con cámara de aire al inferior 35
4.5. Cálculo de la envolvente piso en contacto con el terreno natural 38
4.5.1. Caso 1. Piso en apoyado directamente sobre el nivel del terreno natural o como máximo a 0.50 m por debajo de este. (aplicación tabla 11) 38
4.5.2. Caso 2. Piso a una profundidad superior a 0.50 m respecto del nivel del terreno.(aplicación tabla 12) 40
4.6. Muros en contacto con el terreno natural 42
4.7. Cálculo de techos enterrados o en contacto con el terreno natural 46
5. Listado de transmitancia térmica de soluciones de ventanas y cálculo de la transmitancia térmica en vanos de acceso y ventanas 49
5.1. Transmitancia térmica de marcos 49
5.2. Transmitancia térmica de vidrios 49
5.3. Cálculo de la transmitancia térmica combinada marco-vidrio 51
6. Calculo del riesgo de condensación superficial 53
6.1. Procedimiento para hallar la temperatura superficial interior 53
6.2. Procedimiento para hallar la temperatura de rocío 54
6.3. Comparación entre la temperatura superficial interior y la temperatura de rocío 56
7. Calculo para el diseño de elementos exteriores horizontales de control solar 57
8. Referencias 61

1. Conceptos básicos sobre la transferencia de calor en una edificación

1.1. Mecanismos de transmisión del calor

1.1.1. Conducción

La energía calorífica se transmite durante el contacto directo entre cuerpos (o partes de los mismos) a distintas temperaturas y tiene lugar mediante choques o acoplamientos entre las moléculas del sistema (unas en zonas más calientes, con mayor energía térmica y otras en las zonas más frías, con menor energía térmica), aunque no haya un movimiento macroscópico de las moléculas, o el material sea transparente a la radiación. Este proceso es de gran importancia en sólidos, pero de menor importancia en líquidos y gases, donde normalmente aparece combinado con la convección y es prácticamente enmascarado por ésta (Martín Domingo, 2011).

1.1.2. Convección

La energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas "calientes" de las zonas de alta temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas. Este proceso tiene gran importancia en fluidos y también es denominado conducción superficial, ya que el flujo de calor entre la superficie de un material y un fluido está relacionado con la conducción a través de una fina capa del fluido que se encuentra junto a la superficie. Además, es este proceso de conducción superficial el que provoca, en un fluido inicialmente en reposo en contacto con una superficie a distinta temperatura, una diferencia de temperaturas en el fluido, originándose diferencias de densidad en el mismo que producirán a su vez un desplazamiento físico de materia a distintas temperaturas de unas zonas a otras, teniéndose convección (en este caso natural). La transferencia de calor por convección puede ser forzada cuando está ayudada por el movimiento de las superficies en contacto con el fluido o libre (llamada también natural) cuando se produce únicamente en virtud de una diferencia de densidades causada por una diferencia de temperaturas. También puede venir acompañada de un cambio de fase, como ocurre durante la condensación o la ebullición, con unos intercambios de calor muy intensos (Martín Domingo, 2011).

1.1.3. Radiación

La energía calorífica se transmite en forma de energía de la radiación electromagnética, emitida por todos los cuerpos por el hecho de encontrarse a una temperatura T , y que se propaga a la velocidad de la luz (porque es luz de distintas longitudes de onda) y puede ser absorbida por los cuerpos, aumentando su temperatura. La radiación es el único medio de transmisión del calor cuando ésta tiene lugar a través del vacío, y puede ser muy importante para altas temperaturas (Martín Domingo, 2011).

1.2. Conductividad térmica, resistencia térmica y transmitancia térmica

1.2.1. Coeficiente de conductividad térmica (k)

Valor que mide la cantidad de calor que atraviesa, por unidad de tiempo, una unidad de superficie de una muestra plana de caras paralelas y espesor unitario, cuando se establece entre las caras una diferencia de temperatura de un grado. La conductividad térmica es una propiedad característica de cada *material*, su valor puede depender de la temperatura del medio ambiente y de una serie de factores tales como: La densidad, contenido de humedad, entre otros; el cual se expresa en vatios por metro y grado Celsius (W/m.°C) (EM.110, 2021).

1.2.2. Resistencia térmica (Rt)

Capacidad de un material para resistir el paso de flujos de calor. Es la oposición al paso del calor que presenta una capa de cierto espesor (e) de un material de construcción. Es inversamente proporcional a la conductividad térmica y aumenta con el espesor de material. Se expresa en metros cuadrados y grados Celsius por vatio (m^2.°C / W) (EM.110, 2021).

$$Rt = e/k$$

1.2.3. Transmitancia térmica (U)

Flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. Es la inversa de la resistencia térmica (R_t). Se expresa en vatios por metro cuadrado y grado Celsius (W/m^2 °C) (EM.110, 2021).

$$U = 1/Rt$$

1.3. Coeficiente de ganancia solar

Fracción de radiación solar incidente que ingresa a una edificación a través del acristalamiento como ganancia de calor, siendo esta un factor importante para determinar la carga de refrigeración para las edificaciones, especialmente ubicadas en zonas cálidas (EM.110, 2021).

Se le conoce por las siglas SHGC del término inglés *Solar Heat Gain Coefficient.*

Coeficiente de factor solar FS = SHGC/0.87

1.4. Condensación

Cambio de una sustancia que se encuentra en estado gaseoso a líquido. Este fenómeno se produce siempre que el aire descienda su temperatura hasta un nivel igual o inferior a su punto de rocío, o cuando el vapor contenido en el aire se encuentre en contacto con un envolvente u objeto cuya temperatura sea inferior al punto de rocío (EM.110, 2021).

1.4.1. Humedad relativa (HR)

Humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir, sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en porcentaje (%) (EM.110, 2021).

1.4.2. Punto de rocío (tr)

Temperatura a partir de la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire produciendo rocío, neblina, o en el caso de que la temperatura sea inferior a 0°C, escarcha. Para una masa dada de aire, con una determinada cantidad de vapor de agua (humedad absoluta), la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en relación con la necesaria para llegar al punto de saturación, expresada en porcentaje. Cuando el aire se satura (humedad relativa = 100%) se alcanza el punto de rocío (EM.110, 2021).

1.5. Estanqueidad

Se define como la capacidad de un elemento constructivo o en la unión de varios de ellos en hermetizar e impedir infiltraciones de aire no deseadas (EM.110, 2021).

Infiltración no deseada de aire:

Caudal de aire no previsto que pasa a través de las juntas de un elemento constructivo (puerta, ventana, entre otros), o en el encuentro entre dos (02) elementos constructivos (por ejemplo, el traslape entre dos (02) cubiertas).

2. Componentes de la envolvente térmica

Conjunto de elementos constructivos que separan el ambiente habitable interior de una edificación del exterior, ya sea aire, terreno natural o ambientes no habitables. La envolvente térmica del edificio se clasifica en (03) tres tipos:

2.1. Tipos de envolvente

2.1.1. Envolvente muro

- **Usualmente vertical o inclinado (desde el ángulo de 90° hasta +/- 30°).**
- **Puede estar compuesto por elementos opacos y/o elementos translúcidos o transparentes (sobrecimientos, columnas, vigas, muros, puertas, ventanas, entre otros).**
- **También se considera envolvente muro a los muros interiores de una edificación que forman patios, ductos o ambientes sin techar, entre caras paralelas o no paralelas.**

2.1.2. Envolvente techo

- **Usualmente horizontal o inclinado (hasta +/- 60°).**
- **Puede estar compuesto por elementos opacos y/o elementos translúcidos o transparentes.**
- **La cobertura de un ambiente habitable es la última capa superior del techo que separa un ambiente habitable del medio exterior.**

2.1.3. Envolvente piso

Usualmente horizontal o inclinado, hasta lo permitido por la Norma Técnica Técnica A.010 Condiciones generales de diseño del RNE.

2.2. Ambientes habitables y no habitables

2.2.1. Ambiente habitable

Recinto destinado al uso de personas, cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones térmicas y de salubridad adecuadas. Pueden ser:

a) **Dormitorios, comedores, estudios, bibliotecas, salones, entre otros ambientes que conforman viviendas y hospedajes.**

b) **Aulas, bibliotecas, oficinas, talleres, laboratorios, entre otros ambientes que conforman establecimientos de educación.**
c) **Quirófanos, consultorios, habitaciones, salas de espera, entre otros ambientes que conforman establecimientos de salud.**
d) **Oficinas, salas de reunión, entre otros ambientes que conforman edificaciones de uso administrativo.**
e) **Tiendas, salas de venta, ambientes para recreación y hacer deporte, entre otros ambientes que conforman edificaciones comerciales y de recreación en general.**
f) **Cocinas, servicios higiénicos, corredores, ambientes distribuidores, zonas comunes de circulación interior, entre otros que conforman edificaciones de cualquier uso.**
g) **Cualquier otro ambiente con un uso relacionado a los anteriores.**

2.2.2. Ambiente no habitable

Recinto que no ha sido diseñado para que las personas lo ocupen por tiempo prolongado, pueden ser: estacionamientos, tanques, cisternas, depósitos, almacenes, cuartos de máquinas, cajas de ascensor, cuartos de bombas, cuartos de equipos electromecánicos y similares.

2.3. Elementos térmicos

2.3.1. Cámara de aire:

Espacio de separación entre las capas que conforman un elemento constructivo que sirve de aislamiento térmico.

2.3.2. Capa (térmicamente) homogénea

Disposición de materiales en un mismo elemento constructivo caracterizado por ser capas paralelas y continuas al flujo de calor.

2.3.3. Capa (térmicamente) heterogénea

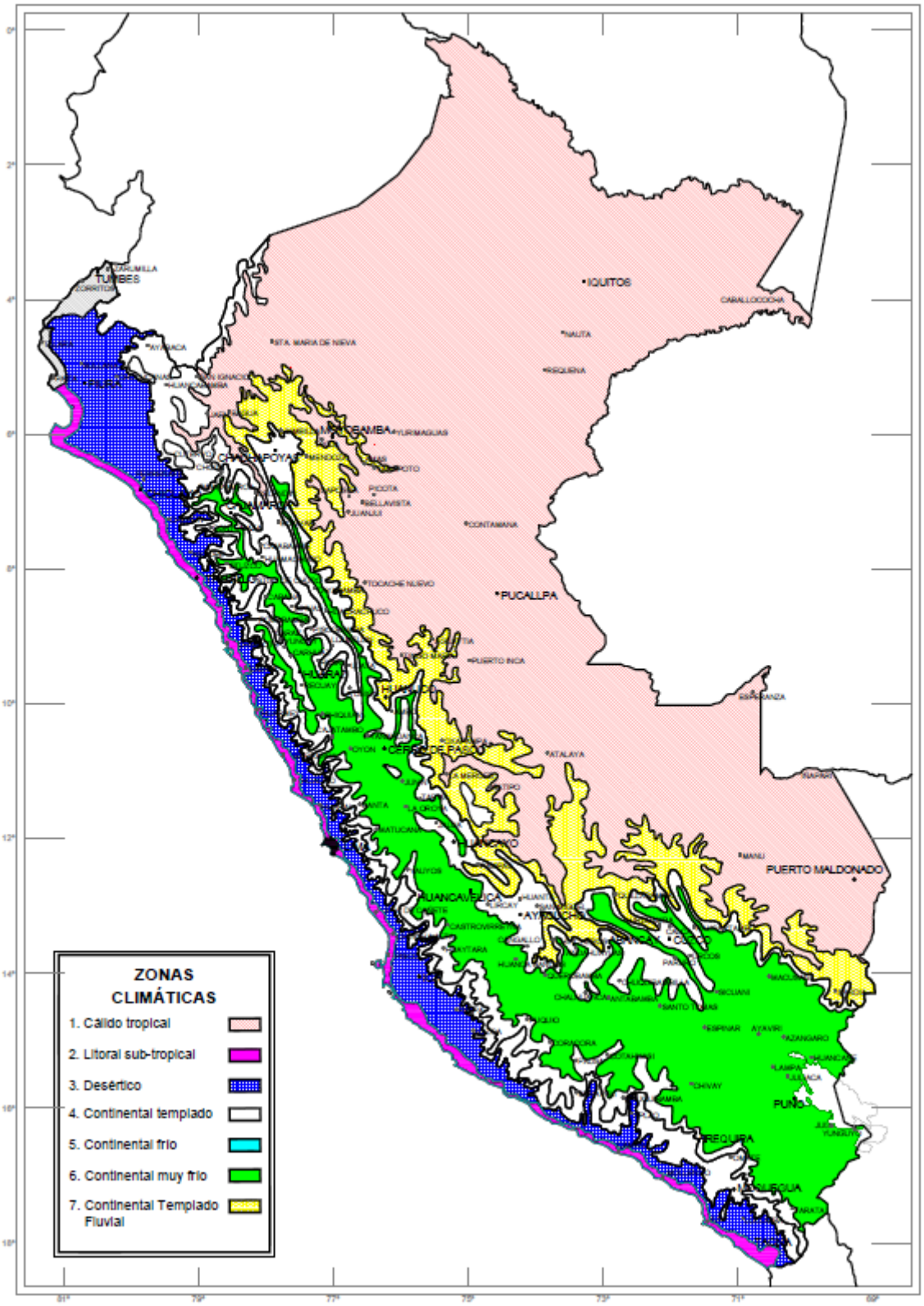
Disposición de materiales en un mismo elemento constructivo caracterizado por ser discontinuas al flujo de calor, por tanto, para realizar el cálculo de los valores límite de la resistencia superior e inferior, el elemento se divide en rebanadas horizontales y verticales de tal manera que las capas que se generan sean térmicamente homogéneas.

3. Zonas bioclimáticas

3.1. Tabla

ZONA BIOCLIMÁTICA		CRITERIO DE ZONIFICACIÓN	
		Altitud	Límites políticos o referencia geográfica
1	Cálido Tropical	Por el lado Litoral: Desde 0 m.s.n.m. hasta los 200 m.s.n.m. (Costa) Por el lado Oriental: Desde los 80 m.s.n.m. hasta los 800 m.s.n.m.	Desde la frontera con el Ecuador hasta la provincia de Paita (Piura). Abarca el área oriental del Perú, específicamente la Selva.
2	Litoral Subtropical	Desde 0 m.s.n.m. hasta los 120 m.s.n.m.	Desde la frontera Sur del distrito de Paita (Piura) hasta el distrito de Lambayeque (Lambayeque)
		Desde 0 m.s.n.m. hasta los 200 m.s.n.m.	Desde la frontera Sur del distrito de Lambayeque hasta el distrito de Cartavio (La Libertad)
		Desde 0 m.s.n.m. hasta los 500 m.s.n.m.	Desde la frontera Sur del distrito de Cartavio (La Libertad) hasta la frontera con Chile.
3	Desértico	Desde los límites de Litoral Subtropical (121 m.s.n.m., 201 m.s.n.m. o 501 m.s.n.m., según sea el caso) hasta los 1000 m.s.n.m.	Desde el límite Este de las zonas bioclimáticas Cálido Tropical (Litoral) y Litoral Subtropical hacia el lado Oeste de la cordillera de los Andes.
4	Continental Templado	Desde los 1001 m.s.n.m. hasta los 2300 m.s.n.m.	Desde el límite Este de la zona bioclimática Desértico/Cálido tropical/Litoral Subtropical hacia el lado Occidental de la cordillera de los Andes.
5	Continental Frío	Desde los 2301 m.s.n.m. hasta los 3500 m.s.n.m.	La cordillera de los Andes, a partir de la altitud definida.
6	Continental Muy Frío	Desde 3501 m.s.n.m. a más.	La cordillera de los Andes, a partir de la altitud definida.
7	Continental Templado Fluvial	Desde los 800 m.s.n.m. hasta 2300 m.s.n.m.	Lado oriental de la Cordillera de los Andes. Abarca en forma parcial las Regiones de Cajamarca, Amazonas, San Martín, Huánuco, Cerro de Pasco, Junín, Cusco, Huancavelica, Ayacucho y Puno.

3.2. Mapa


ZONAS CLIMÁTICAS
1. Cálido tropical
2. Litoral sub-tropical
3. Desértico
4. Continental templado
5. Continental frío
6. Continental muy frío
7. Continental Templado Fluvial
IQUITOS
PUCALLPA
PUERTO MALDONADO
PUNO
AREQUIPA
MOQUEGUA
TUMBES
CHACHAPOYAS
HUARAZ
HUANCAYO
HUANCAVELICA
AYACUCHO
CUSCO
CERRO DE PASCO
MOYOBAMBA
CHIVAY
SANTO TOMAS
ATALAYA
CONTAMANA
PUERTO INCA
TOCACHE NUEVO
YURIMAGUAS
NAUTA
REQUENA
CABALLOCOCHA
ESPERANZA
MANU
ESPINAR
AYAVIRI
AZANGARO
SICUANI
CASTROVIRREYNA
HUAYTARA
CORACORA
PICOTA
BELLAVISTA
JUANJUI
ST.A MARIA DE NIEVA

4. Ejemplos resueltos de casos puntuales

4.1. Calculo de la resistencia termica total de elementos homogéneos y elementos heterogéneos

4.1.1. Elementos homogéneos

Se considera capa térmicamente homogénea aquellas que en el sentido del flujo de calor presentan capa de espesor uniforme y conductividad térmica constante para cada capa.

La resistencia térmica total (m^2 K/W) se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{si} \qquad (2)$$

R_1, R_2, R_n es la resistencia térmica de cada capa que forma el elemento constructivo calculada mediante la expresión

$$R = e / k \qquad (3)$$

Siendo:

e el espesor (m)
k conductividad térmica (W/m K)

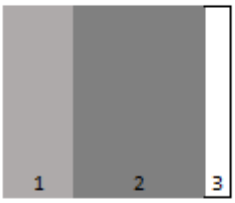
R_{si} y R_{se}, son la resistencia térmica superficial interior y exterior que se adoptan de la siguiente tabla, de acuerdo al tipo de envolvente considerada y a la zona bioclimática.

Envolvente	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.04	0.13
Techo	5 y 6	0.04	0.10
	1, 2, 3, 4 y 7	0.04	0.17
Piso	5 y 6	0.04	0.17

Tabla N° 05

Ejemplo:

Cálculo de la RT de un muro de concreto simple, mortero de cemento - arena al exterior y enlucido de yeso al interior, situado en zona bioclimática 3.



1- Mortero de cemento - arena
2- Concreto simple
3- Enlucido de yeso

Para calcularla, determinamos los espesores de cada capa según las especificaciones técnicas del proyecto.

Los datos para los elementos constituyentes de las capas se han extraído de la Norma EM110.2014 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética, colocando entre paréntesis el número del elemento).

1. **Mortero de cemento arena (27):**
   e = 0.01 m ; k = 1.40 W/m K

2. **Concreto simple (17) :**
   e = 0.20 m ; k = 1.51 W/m K

3. **Enlucido de yeso (29):**
   e= 0.005 m; k = 0.40 W/m K

De la tabla N 05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente muro (todas las zonas bioclimáticas).

Envolvente	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.04	0.13
Techo	5 y 6	0.04	0.10
	1, 2, 3, 4 y 7	0.04	0.17
Piso	5 y 6	0.04	0.17

Tabla N° 05

R_{si} = 0.13
R_{se} = 0.04

Aplicando la fórmula (2) hallamos la Resistencia térmica del elemento constructivo.

$$R_T = 0.04 + \frac{0.01}{1.40} + \frac{0.20}{1.51} + \frac{0.005}{0.40} + 0.13 = 0.32 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

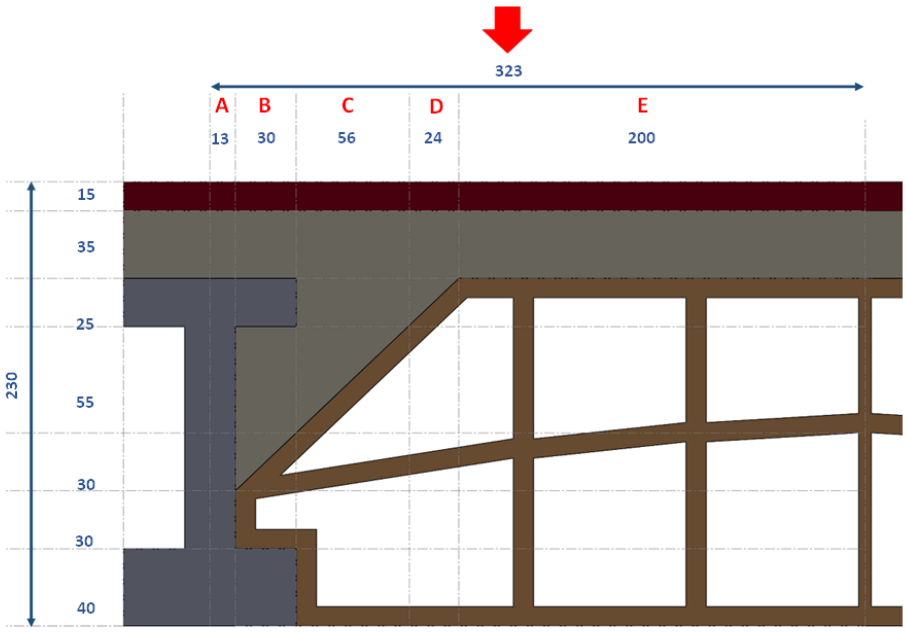
La transmitancia térmica será el inverso de la resistencia:
$U = 1/ R_T$ (W/m² K)
U = 1/0.32 = 3.10 W/m² K

4.1.2. Elementos heterogéneos

Se considera un cerramiento heterogéneo aquel que no puede subdividirse en capas de igual naturaleza y espesor en el sentido del flujo de calor. por ej un cerramiento con entramado metálico en su interior, o un forjado de bovedilla se considera como un elemento heterogéneo.

Ejemplo:

Vamos a calcular la R_T del siguiente piso de losa aligerada compuesta por vigueta de arcilla hueca, vigueta armada, concreto armado y baldosa cerámica en su superficie de acuerdo al siguiente esquema en zona bioclimática 3



Los capas y valores de los elementos que intervienen son:

Capas	d (Kg/m^3)	k (Wm/K)
79 baldosa cerámica	2000	1,00
17 concreto armado	2400	1,63
23 bovedilla arcilla hueca	600	0,35
17 vigueta armada	2400	1,63

Cálculo de la resistencia térmica R'_T

Para calcular la RT de este elemento heterogéneo, se suponemos que el flujo de calor es unidimensional y perpendicular a las superficies del componente, la fórmula aplicable es la (11) de la Norma,

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \ldots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$

Siendo:

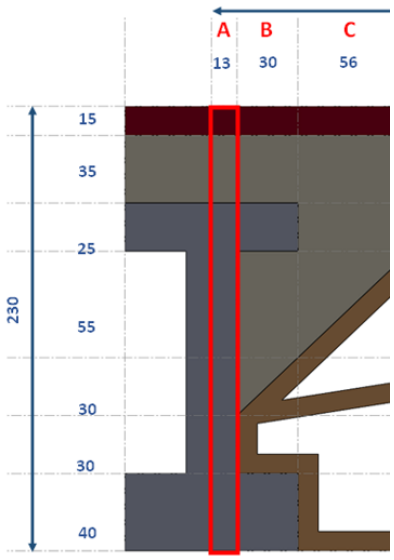
R_{Ta} ... R_{Tq} Resistencias térmicas de cada rebanada paralela al flujo de calor, fórmula (2)

f_a ... f_q areas fraccionales de cada rebanada paralela al flujo de calor

Lo primero que hacemos es determinar las áreas fraccionales de cada rebanada

SECTOR (Rebanada)	ancho (mm)	alto (mm)	Área (m^2)	f_q (área fraccional)
A	13	230	2,99E-03	**0,040**
B	30	230	6,90E-03	**0,093**
C	56	230	1,29E-02	**0,173**
D	24	230	5,52E-03	**0,074**
E	200	230	4,60E-02	**0,619**
		total	7,43E-02	1,000

Rebanada A en sentido paralelo al flujo de calor



f_A = 0.040 m^2

Calculamos la RT como si fuera un elemento homogéneo

De la tabla N°05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente Piso (zona bioclimática 3):

Envolvente	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.04	0.13
Techo	5 y 6	0.04	0.10
	1, 2, 3, 4 y 7	0.04	0.17
Piso	5 y 6	0.04	0.17

Tabla N° 05

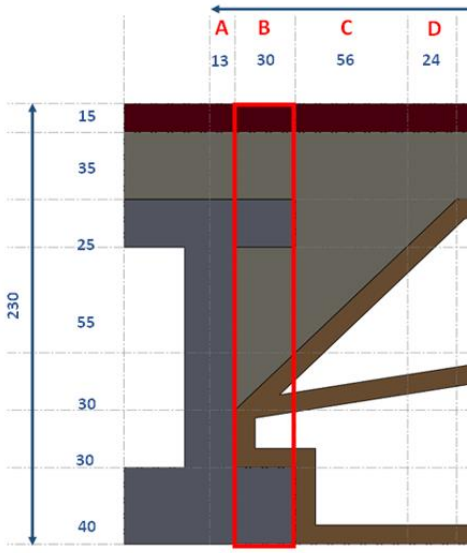
R_{si} = 0 y R_{se} = 0

Los elementos que intervienen en la rebanada A (espesores y conductividades) son:

SECTOR	e(m)	k (Wm/K)
A	0,23	
baldosa cerámica	0,015	1,00
concreto armado	0,035	1,63
vigueta armada	0,180	1,63

$$R_{TA} = \frac{0.015}{1.00} + \frac{0.035}{1.63} + \frac{0.180}{1.63} = 0.15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Rebanada B en sentido paralelo al flujo de calor



f_B = 0.093 m²

De la tabla N 05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente Piso (zona bioclimática 3):

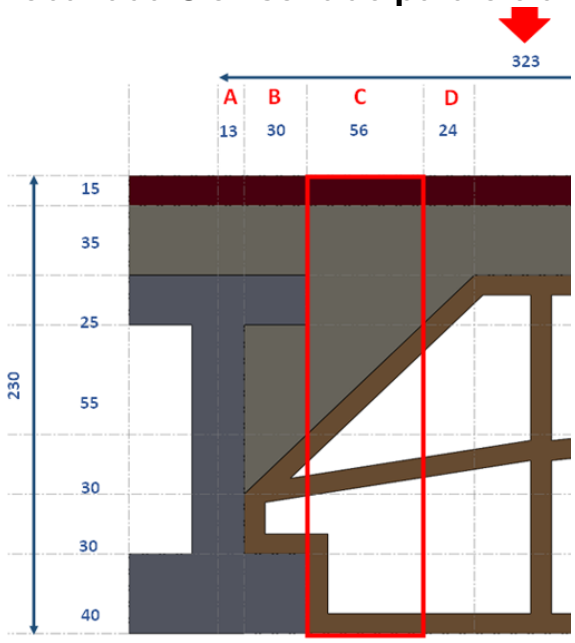
R_{si} = 0 y R_{se} = 0

Los elementos que intervienen en la rebanada B (espesores y conductividades) son:

SECTOR	e(m)	k (Wm/K)
B	0,23	
baldosa cerámica	0,015	1,00
concreto armado	0,035	1,63
vigueta armada	0,025	1,63
concreto armado	0,055	1,63
concreto armado	0,015	1,63
bovedilla arcilla hueca	0,015	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
vigueta armada	0,040	1,63

$$R_{TB} = \frac{0.015}{1.00} + \frac{0.035}{1.63} + \frac{0.025}{1.63} + \frac{0.055}{1.63} + \frac{0.015}{1.63} + \frac{0.015}{0.35} + \frac{0.030}{0.35}. + \frac{0.040}{1.63} = 0.25 \ m^2 K/W$$

Rebanada C en sentido paralelo al flujo de calor



$f_c = 0.173 \ m^2$

De la tabla N 05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente Piso (zona bioclimática 3):

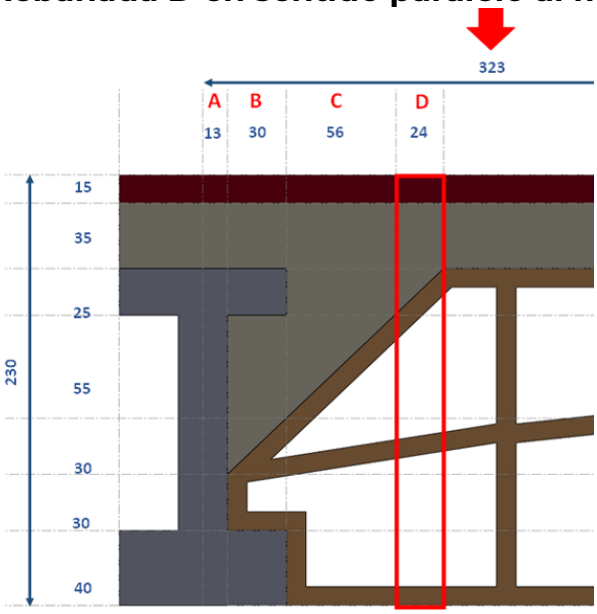
$R_{si} = 0$ y $R_{se} = 0$

Los elementos que intervienen en la rebanada C (espesores y conductividades) son:

SECTOR	e(m)	k (Wm/K)
C	0,23	
baldosa cerámica	0,015	1,00
concreto armado	0,035	1,63
concreto armado	0,025	1,63
concreto armado	0,0275	1,63
bovedilla arcilla hueca	0,0275	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,040	0,35

$$R_{TC} = \frac{0.015}{1.00} + \frac{0.035}{1.63} + \frac{0.025}{1.63} + \frac{0.0275}{1.63} + \frac{0.0275}{0.35} + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.03}{0.35}. + \frac{0.040}{1.63} = 0.43 \ m^2 K/W$$

Rebanada D en sentido paralelo al flujo de calor



$f_D = 0.074 \ m^2$

De la tabla N 05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente Piso (zona bioclimática 3):

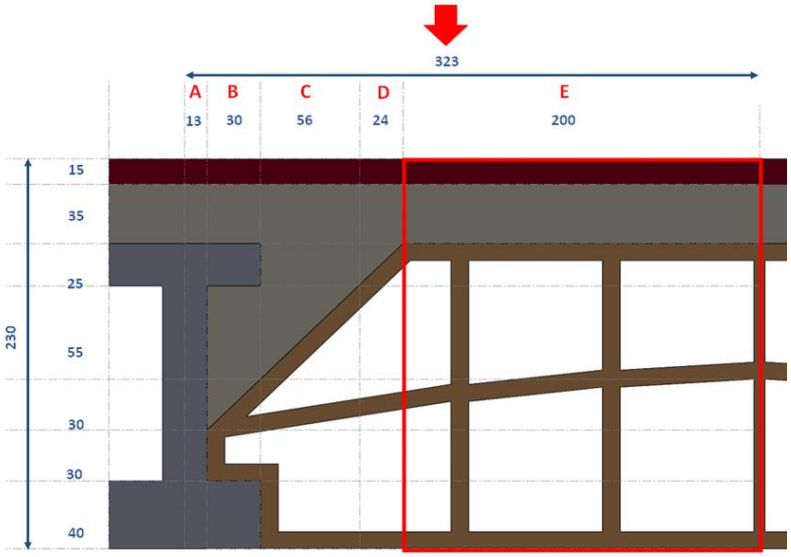
$R_{si} = 0$ y $R_{se} = 0$

Los elementos que intervienen en la rebanada D (espesores y conductividades) son:

SECTOR	e(m)	k (Wm/K)
D	0,23	
baldosa cerámica	0,015	1,00
concreto armado	0,035	1,63
concreto armado	0,0125	1,63
bovedilla arcilla hueca	0,0125	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,055	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,040	0,35

$$R_{TD} = \frac{0.015}{1.00} + \frac{0.035}{1.63} + \frac{0.0125}{1.63} + \frac{0.0125}{0.35} + \frac{0.055}{0.35} + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.03}{0.35}. + \frac{0.040}{1.63} = 0.52\ m^2\ K/W$$

Rebanada E en sentido paralelo al flujo de calor



$f_E = 0.619\ m^2$

De la tabla N 05 , se obtienen las resistencias superficiales interior y exterior, para Envolvente Piso (zona bioclimática 3):

$R_{si} = 0$ y $R_{se} = 0$

Los elementos que intervienen en la rebanada E (espesores y conductividades) son:

SECTOR	e(m)	k (Wm/K)
E	0,23	
baldosa cerámica	0,015	1,00
concreto armado	0,035	1,63
bovedilla arcilla hueca	0,025	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,055	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,030	0,35
bovedilla arcilla hueca	0,040	0,35

$$R_{TD} = \frac{0.015}{1.00} + \frac{0.035}{1.63} + \frac{0.025}{0.35} + \frac{0.055}{0.35} + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.03}{0.35}. = 0.55 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Resistencia térmica total R'_T vendrá determinada por la aplicación de la fórmula (11)

$$1/ R'_T = f_a/R_{Ta} + f_b/R_{Tb} + \ldots + f_q/R_{Tq}$$

$$1 / R'_T = = \frac{0.040}{0.15} + \frac{0.093}{0.25} + \frac{0.173}{0.43} + \frac{0.074}{0.52} + \frac{0.619}{0.55} = 2.32$$

$$R'_T = 1 / 2.32 = 0.43 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

4.2. Cálculos de envolvente con cámaras de aire

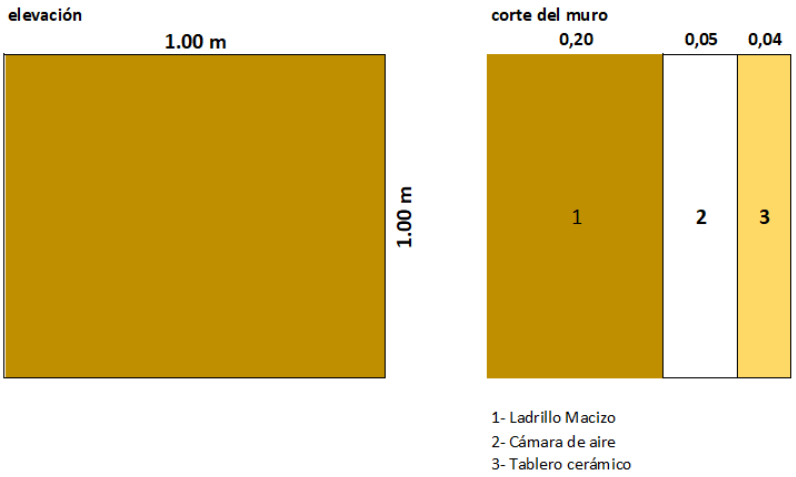
Gráficos explicativos de las cámara de aire

Existen tres tipos de cámaras de aire:

a. **Cámara de aire sin ventilar**

Es aquella que no tiene paso de aire o el mismo no supera:

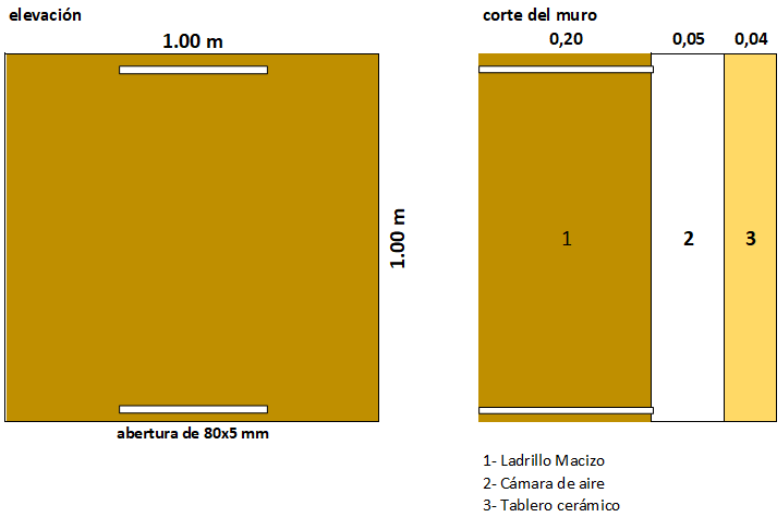
- **En Muros 500 mm² por ml de longitud contado horizontalmente**
- **En Techos/pisos 500 mm² por m² de superficie**



b. **Cámaras de aire ligeramente ventiladas**

Es aquella cuyas aberturas se encuentran en los siguientes rangos:

- **En Muros 500 a 1500 mm² por ml de longitud contado horizontalmente**
- **En Techos/pisos 500 a 1500 mm² por m² de superficie**

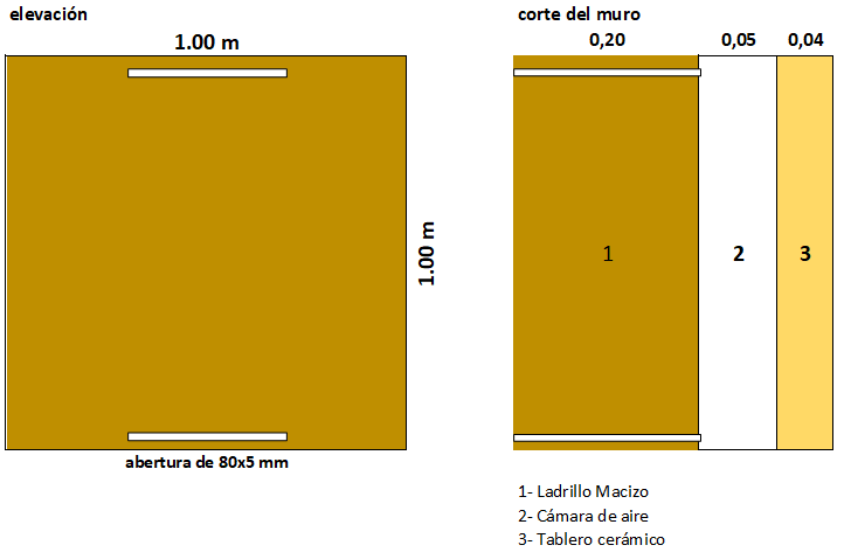


Superficies de ventilación; 80 x 5 mm x 2 = 800 mm² (entre 500 y 1500 mm²)

c. Cámaras de aire muy ventiladas

Es aquella cuyas aberturas son superiores a:

- **En Muros 1500 mm2 por ml de longitud contado horizontalmente**
- **En Techos/pisos 1500 mm2 por m2 de superficie**



Superficies de ventilación; 100 x 10 mm x 2 = 2000 mm² (mayor a 1500 mm²)

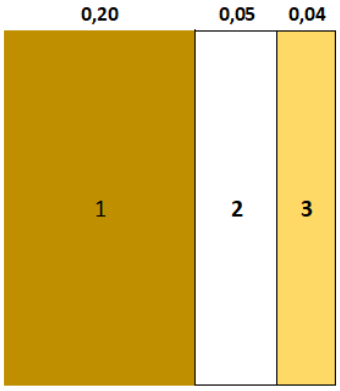
4.2.1. Cámara de aire sin ventilar

Para calcular la R_T se puede aplicar directamente los valores de la tabla N°06 de la Norma, con las siguientes condiciones:

- **Que las dos superficies que limitan la cámara de aire, son paralelas entre si, perpendiculares a la dirección del fujo de calor, y que sus emisividades son superiores a 0.8 (la mayoría de los materiales de construcción tienen emisividad superior a 0.8, se adjunta anexo con lista de materiales y emisividades)**
- **Que su espesor sea menor a 0.1 x alto de la cámara y también sea menor a 0.1 x ancho de la cámara**
- **Que su espesor sea menor a 0.30 m**

Nota: en caso de no cumplir con las condiciones anteriores, deberemos recurrir al cálculo de la cámara de aire sin ventilar mediante un programa informático especializado.

Vamos a determinar la RT del siguiente elemento constructivo con una cámara de aire sin ventilar. (Muro zona 3)



1- Bloque de arcilla. Ladrillo corriente (20)
2- Cámara de aire
3- Panel de yeso (64)

Los espesores de cada capa y su conductividad es (extremos de la lista de materiales)

1. **Bloque de arcilla (20): e = 0.20 m ; k = 0.84 W/m K**
2. **Cámara de aire: e = 0.05 m**
3. **Panel de yeso (64): e= 0.04 m; k = 0.25 W/m K**

Determinamos la R_T de la cámara de sin ventilar de 5 cm de espesor, su valor lo tomamos directamente de la tabla N°06 de la Norma, en este caso para 5 cm de espesor y posición vertical (muro) es:

R_T = 0.18 m² K/W

Espesor (cm)	Sin ventilar	
	Horizontal	Vertical
1	0.15	0.15
2	0.16	0.17

Espesor (cm)	Sin ventilar	
	Horizontal	Vertical
5 a más	0.16	0.18

Tabla N°06 de la Norma

Para el total del elemento constructivo aplicamos la fórmula 2 (calculo de la Resistencia térmica para capas térmicamente homogéneas)

De la tabla N 05 , posición muro y para zona bioclimática 3 extraemos los siguientes datos:

R_{si} = 0.13
R_{se} = 0.04

R_T = 0.04 + $\frac{0.20}{0.84}$ + 0.18 + $\frac{0.04}{0.25}$ + 0.13 = 0.51 m2 K/W

La transmitancia térmica será: U = 1/ R_T (W/m² K)

U = 1/0.53 = 1.96 W/m² K

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TÉRMICA CÁMARA DE AIRE SIN VENTILAR MEDIANTE FÓRMULA (PUNTO 2.3 DE LA NORMA)

Se consideran cámaras de aire cuando su espesor sea menor a 0.1 x alto de la cámara y también sea menor a 0.1 x ancho de la cámara.

La resistencia térmica de la cámara puede calcularse mediante la formula (15) de la Norma:

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

d el espesor del hueco en la dirección del flujo de calor
b la anchura del hueco

E factor de emisividad entre las superficies, calculado con la fórmula

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

(16)

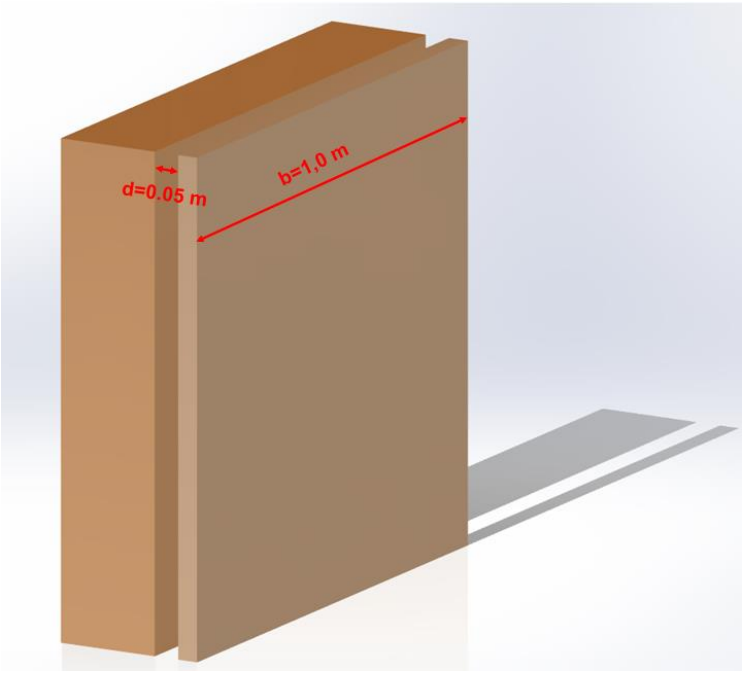
ε_1 ε_2 emisividades corregidas de las superficies que rodean al hueco

h_a coeficiente de conducción convección
para flujo de calor horizontal: mayor de 1.25 y 0.025/d (W/m² K)
flujo de calor hacia arriba mayor de 1.95 y 0.025/d (W/m² K)
flujo de calor hacia abajo mayor de 0.12 $d^{-0.44}$ y 0.025/d (W/m² K)

h_{ro} coeficiente de radiación de la siguiente tabla

Temperatura	Hro en W/m2 K
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

Ejemplo



Cálculo de la Resistencia Térmica de la cámara de aire de 0.05 m
Datos de la cámara a calcular:

d = 0.05 m
b = 1.00 m d < b/10 = 0.10 m

Cámara de aire limitada por caras paralelas de bloque de arcilla con panel de yeso, flujo de calor horizontal, t = 20 °C

Los datos de emisividad los extraemos del anexo Tabla de Emisividades

Emisividad ladrillo = 0.93
Emisividad yeso = 0.94

Vamos a calcular el factor de emisividad aplicando la fórmula 16

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{0{,}93} + \frac{1}{0{,}94} - 1$$

1/E = 1.139 E = 0.878

El valor del coeficiente de conducción para flujo de calor horizontal será el mayor de:

- **1.25**
- **0.025/0.05 = 0.50, por lo tanto**

h_a = 1.25 W/m² K

el coeficiente de radiación será (20°C) h_{ro} = 5.70 W/m² K

Finalmente aplicamos la fórmula (15)

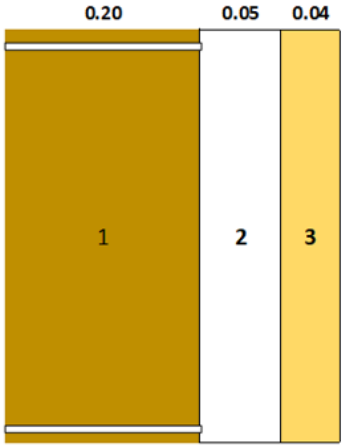
$$\mathrm{Rg} = \frac{1}{1.25 + \dfrac{5.70}{\dfrac{1}{0.878} - 1 + \dfrac{1}{1/2\left(1 + \sqrt{1 + \left(\dfrac{0.05^2}{1}\right)} - \dfrac{0.05}{1}\right)}}} =$$

R_g = 0.16 m² K/W

(es ligeramente inferior a la hallada mediante la tabla N°06 de la Norma)

4.2.2. Cámara de aire ligeramente ventilada

Vamos a determinar la R_T del siguiente elemento constructivo con una cámara de aire ligeramente ventilada.



1- Ladrillo Macizo
2- Cámara de aire
3- Tablero cerámico

Los espesores de cada capa y su conductividad es (extremos de la lista de materiales)

1. **Bloque de arcilla (20):**
   e = 0.20 m ; k = 0.84 W/m K

2. **Cámara de aire:**
   e = 0.05 m

3. **Panel de yeso (64):**
   = 0.04 m; k = 0.25 W/m K

Determinamos la R_T de la cámara de sin ventilar de 5 cm de espesor, su valor lo tomamos directamente de la tabla N°06 de la Norma, en este caso para 5 cm de espesor y posición muro es:

R_T = 0.18 m^2 K/W

Al tratarse de una cámara ligeramente ventilada adoptamos la mitad de ese valor (punto 1.1 apartado d de la Norma).

R_T = 0.09 m^2 K/W

Para el total del elemento constructivo aplicamos la fórmula 2 (cálculo de la Resistencia térmica para capas térmicamente homogéneas).

De la tabla N 05 , posición muro y para zona bioclimática 3 extraemos los siguientes datos:

R_{si} = 0.13
R_{se} = 0.04

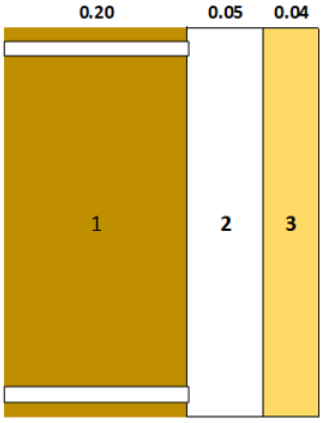
$R_T = 0.04 + \frac{0.20}{0.84} + 0.09 + \frac{0.04}{0.25} + 0.13 = 0.66\ m^2\,K/W$

La transmitancia térmica será: $U = 1/ R_T\ (W/m^2\,K)$

$U = 1 / 0.66 = 1.52\ W/m^2\,K$

4.2.3. Cámara de aire muy ventilada

Vamos a determinar la R_T del siguiente elemento constructivo con una cámara de aire muy ventilada.



1- Ladrillo Macizo
2- Cámara de aire
3- Tablero cerámico

Los espesores de cada capa y su conductividad es (extremos de la lista de materiales)

1. **Bloque de arcilla (20): e = 0.20 m ; k = 0.84 W/m K**
2. **Cámara de aire: e = 0.05 m**
3. **Panel de yeso (64): e= 0.04 m; k = 0.25 W/m K**

En este caso la RT de la cámara de aire, así como las demás capas al exterior es cero (punto 1.1 apartado c de la Norma), se desprecia la resistencia de la cámara de aire y de las demás capas al exterior, la resistencia superficial exterior se adoptará la misma que la correspondiente e la resistencia superficial interior (aire en calma).

Para el total del elemento constructivo aplicamos la fórmula 2 (cálculo de la Resistencia térmica para capas térmicamente homogéneas).

De la tabla N 05 , posición muro y para zona bioclimática 3 extraemos los siguientes datos, pero tenemos en cuenta la observación del párrafo anterior relativo al punto 1.1. apartado c de la Norma).

$R_{si} = R_{se} = 0.13$

$R_T = 0.13 + \frac{0.20}{0.84} + 0.13 = 0.50$ m2 K/W

La transmitancia térmica será: $U = 1/ R_T$ (W/m² K)

U = 1/0.50 = 2.01 W/m² K

4.3. Cálculo de envolvente en contacto con ambientes no habitables (salvo envolvente piso que se encuentre separada o sobre elevado del terreno natural)

4.3.1. Obtenido mediante coeficiente de reducción de temperatura (tabla 08)

El coeficiente de reducción de temperatura b para espacios adyacentes no habitables y espacios bajo cubierta inclinada se podrá obtener de la tabla N°08 en función de la situación del aislamiento térmico (figura 1). Para el resto de espacios no contemplado en la figura 1, deberemos aplicar la expresión definida en el apartado 4.3.2.

	A		B		C	
$A_{h\,-\,nh}/A_{nh-e}$	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
< 0,25	0,94	0,97	0,99	1,00	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,85	0,92	0,97	0,99	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,77	0,87	0,96	0,98	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,70	0,83	0,94	0,97	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,65	0,79	0,92	0,96	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,56	0,73	0,89	0,95	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,48	0,66	0,86	0,93	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,43	0,61	0,83	0,91	0,32	0,54
> 3,00	0,39	0,57	0,81	0,90	0,28	0,50

Tabla N° 08
Coeficiente de reducción de temperatura b

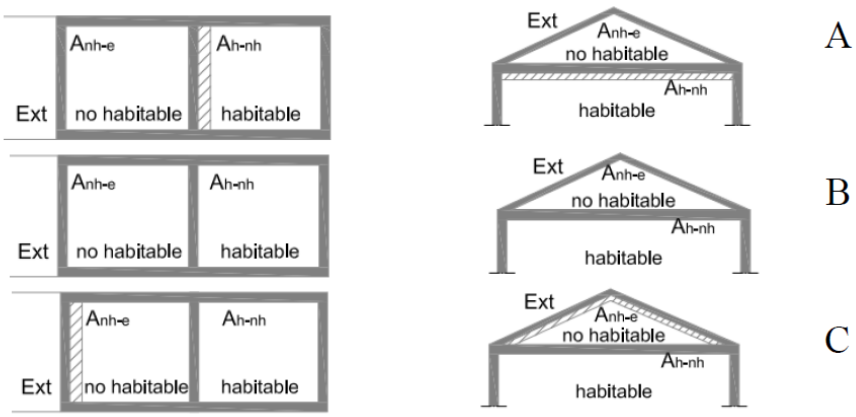


Figura 1
Ubicación del elemento constructivo para aislamiento térmico (envolvente en contacto con ambientes no habitables)

La fórmula a aplicar es

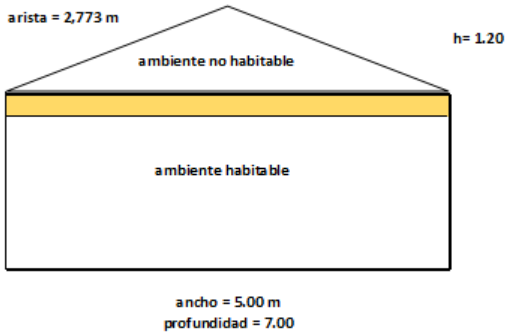
$U = U_{nh} \times b$ (4)

Donde

U_{nh} es la transmitancia térmica del elemento constructivo en contacto con el ambiente no habitable.
b es el coeficiente de reducción de temperatura.

Ejemplo:

Vamos a calcula la Transmitancia de un techo en contacto con ambiente no habitable ligeramente ventilado, en zona 5, de acuerdo al siguiente gráfico



Lo primero que haremos es calcular el coeficiente de reducción de temperatura b, para ello hallamos el área de separación del ambiente habitable con el ambiente no habitable.

$A_{h\text{-}nh}$ = 5.00 x 7.00 = 35.00 m²

Y el área de separación ambiente no habitable con el exterior

$A_{nh\text{-}e}$ = 2.773 x 7.00 x 2 = 38.82 m²

Hallamos la relación

$A_{h\text{-}nh}$ / $A_{nh\text{-}e}$ = 0.90

Entramos en la tabla N° 08 de coeficiente de reducción de temperatura b, para caso 1, con ubicación del elemento constructivo A.

La b la buscaremos en la columna A, ya que corresponde a un elemento constructivo habitable que limita con un ambiente no habitable en contacto por el exterior.

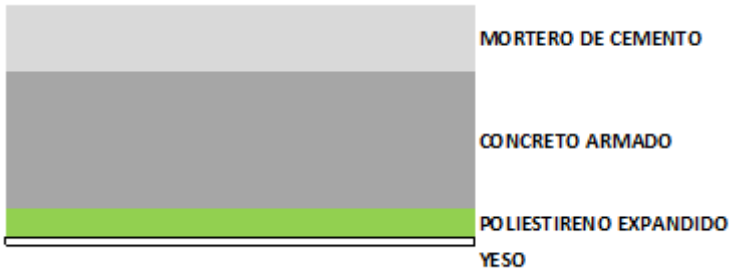
Es CASO 1: Espacio ligeramente ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 1, 2 o 3;

	A		B		C	
$A_{h\text{-}nh}/A_{nh\text{-}e}$	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
< 0,25	0,94	0,97	0,99	1,00	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,85	0,92	0,97	0,99	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,77	0,87	0,96	0,98	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,70	0,83	0,94	0,97	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,65	0,79	0,92	0,96	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,56	0,73	0,89	0,95	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,48	0,66	0,86	0,93	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,43	0,61	0,83	0,91	0,32	0,54
> 3,00	0,39	0,57	0,81	0,90	0,28	0,50

El valor 0.90 corresponde a la fila 0,75 <= 1.00, por lo tanto el valor b será:

b = 0.70

Ahora procedemos a hallar la U del elemento constructivo techo, de la siguiente composición



Mortero cemento arena (27) **e=8 cm ; k = 1.40 W/mK**
Concreto armado (17) **e=18 cm ; k = 1.63 W/mK**
Poliestireno expandido (114) **e= 5 cm ; k = 0.033 W/mK**
Panel de yeso (64) **e= 1 cm; k = 0.25 W/mk**

Aplicamos la fórmula 2 de esta guía, resistencia térmica de elemento constructivo homogéneo.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} \qquad (2)$$

Hallamos las resistencias térmicas superficiales de la tabla N°07 de la Norma

Elemento constructivo	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.13	0.13
Techo	5 y 6	0.10	0.10
Piso	5 y 6	0.17	0.17

Tabla N° 07

Elemento constructivo techo y para zona bioclimática 5 extraemos los siguientes datos:

$R_{si} = 0.10$
$R_{se} = 0.10$

Aplicando la fórmula (2) hallamos la Resistencia térmica del elemento

$$R_T = 0.10 + \frac{0.08}{1.40} + \frac{0.18}{1.63} + \frac{0.05}{0.33} + \frac{0.01}{0.25} + 0.10 = 0.56 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La transmitancia térmica del elemento será: $U = 1/ R_T$ ($W/m^2 K$)
$U_{nh} = 1/0.56 = 1.79 \text{ W/m}^2\text{K}$

La transmitancia térmica de la envolvente en contacto con ambientes no habitables será

$U = U_{nh} \times b = 1.79 \times 0.70 = 1.25 \text{ W/m}^2\text{K}$

4.3.2. Cálculo del coeficiente de reducción de temperatura (b) para el resto de espacios no contemplados en la figura 1

Calcularemos el coeficiente de reducción de temperatura (b) aplicando la expresión:

$$b = (H_{nh-e} / (H_{h-nh} + H_{nh-e}) \quad (5)$$

siendo,

H_{nh-e} es el coeficiente de perdida del ambiente no habitable hacia el exterior
H_{h-nh} es el coeficiente de perdida del ambiente no habitable hacia el ambiente habitable

Se calculan de la siguiente manera:

$$H_{nh-e} = \sum U_{nh-e} A_{nh-e} + 0.34 Q_{e-nh} \quad (6)$$
$$H_{h-nh} = \sum U_{h-nh} A_{h-nh} + 0.34 Q_{h-nh} \quad (7)$$

- **U_{nh-e} transmitancia térmica del ambiente no habitable en contacto con el exterior (formula 1)**
- **A_{nh-e} área del cerramiento no habitable con el ambiente exterior**
- **U_{h-nh} transmitancia térmica del ambiente habitable en contacto con el no habitable (fórmula 1)**
- **A_{h-nh} área del cerramiento habitable en contacto con el no habitable**
- **Q_{e-nh} caudal de aire entre el ambiente exterior y el ambiente no habitable**
- **Q_{h-nh} caudal de aire entre el ambiente no habitable y el ambiente habitable**

Vamos a calcular el coeficiente de reducción de temperatura b de un piso en contacto con un estacionamiento inferior, ubicado en zona bioclimática 5, la composición del elemento constructivo piso es la siguiente:

capas		espesor (m)	d (Kg/m3)	cond k (W/mK)
1	baldosa cerámica (79)	0,003	2000	1,00
2	Cemento pulido (19)	0,005		0,53
3	Concreto armado (17)	0,250	2300	1,63
	Total	**0,258**		

Hallamos las resistencias térmicas superficiales en la tabla N°07 zona bioclimática 5:

Elemento constructivo	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.13	0.13
Techo	5 y 6	0.10	0.10
Piso	5 y 6	0.17	0.17

Tabla N° 07

Rsi = 0.17
Rse = 0.17

$$R_T = 0.17 + \frac{0.003}{1.00} + \frac{0.005}{0.53} + \frac{0.25}{1.63} + 0.17 = 0.51 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

La transmitancia térmica será: $U = 1/ R_T$ ($W/m^2 K$)

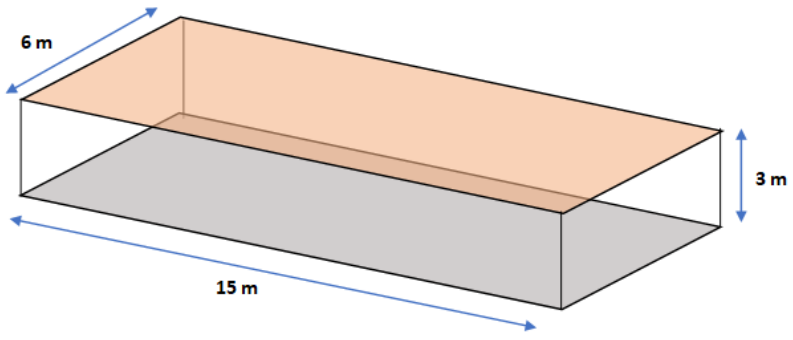
$U_{h\text{-}nh} = 1/0.51 = 1.98 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Esta es la transmitancia del ambiente habitable piso al ambiente no habitable estacionamiento.

La fórmula 6 nos exige calcular la transmitancia U del ambiente no habitable al exterior, es decir de los muros del estacionamiento en contacto con terreno natural, este ejemplo de cálculo se desarrolla más adelante, para no complicar la explicación vamos a dar un valor a esa transmitancia, cuyo cálculo se desarrollará más adelante. Así pues determinamos que;

$U_{nh\text{-}e} = 0.46 \text{ W/m}^2\text{K}$

El croquis del piso y del estacionamiento es el siguiente:



Calculamos el área del cerramiento habitable en contacto con el no habitable, que será:

$A_{h\text{-}nh} = 15 \times 6 = 90 \text{ m}^2$

Calculamos el área del cerramiento no habitable con el ambiente exterior, que será:

$A_{nh-e} = 15 \times 6 + 15 \times 3 \times 2 + 6 \times 3 \times 2 = 216\ m^2$

Para aplicar las fórmulas 5 y 6 solo nos queda calcular el caudal de aire, para lo cual usaremos la tabla N°09 de la Norma

Nivel de estanqueidad	h^{-1}
1. Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
2. Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0.5
3. Todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación	1
4. Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
5. Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

Tabla N° 09
Tasa de renovación de aire entre ambientes no habitables y el exterior

En referencia al piso en contacto con el ambiente no habitable, es un elemento con nivel de estánqueidad 1 ya que no contiene aberturas de ventilación, por lo que la tasa de renovación de aire en una hora es de $h^{-1} = 0$

En lo que respecta al muro del estacionamiento en contacto con el exterior su nivel de estanqueidad es 2, componentes sellados sin aberturas de ventilación, por lo que su tasa de renovación de aire en una hora es de $h^{-1} = 0.5$

Tenemos todos los datos, con lo que vamos a empezar aplicando la fórmula 6 de la Norma para obtener el coeficiente de pérdida del ambiente no habitable hacia el exterior.

$$H_{nh-e} = \sum U_{nh-e} A_{nh-e} + 0.34\ Q_{e-nh} \qquad (6)$$

Sustituyendo

$H_{nh-e} = 0.46 \times 216 + 0.34 \times 10.5 = 61.53\ W/m$

Q_{e-nh} se calcula multiplicando el volumen del ambiente no habitable por su tasa de renovación de aire, desarrollado a continuación.

El volumen del ambiente no habitable es

$V_{nh} = 15 \times 6 \times 3 = 270\ m^3$

$Q_{e-nh} = 0.5 \times 21 = 10.5\ m^3/h$

Continuamos aplicando la fórmula 7 de la Norma para obtener el coeficiente de pérdida del ambiente habitable con el no habitable.

$$H_{h\text{-}nh} = \sum U_{h\text{-}nh} A_{h\text{-}nh} + 0.34\, Q_{h\text{-}nh} \qquad (7)$$

Sustituyendo

$$H_{h\text{-}nh} = 1.98 \times 90 + 0.34 \times 0 = 178.20\ W/m$$

Finalmente determinamos el valor b

$$b = (H_{nh\text{-}e} / (H_{h\text{-}nh} + H_{nh\text{-}e}) = 61.53 / (178.20 + 61.53) = 0.26$$

Por último aplicamos el coefiente de reducción de temperatura a la trasmitancia del elemento piso

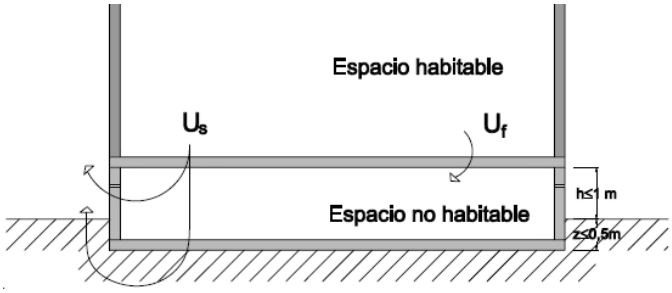
$$U = U_{h\text{-}nh} \times b = 1.98 \times 0.26 = 0.51\ W/m^2 K$$

4.4. Cálculo de envolvente piso que se encuentra separado o sobre elevada del terreno natural (tabla 10), con cámara de aire al inferior

Aplicable para pisos con cámara de aire ventiladas en la parte inferior y en contacto con terreno natural.

La cámara de aire debe cumplir en simultaneo:

- **h <= 1.00 m**
- **z <= 0.50 m**



- **En caso de ser h > 1.00 m, la transmitancia del piso se calculará mediante la formula (2) desarrollada en el apartado 4.1.1.**

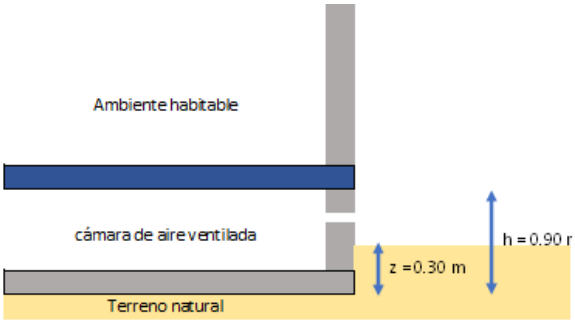
$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{si} \quad (2)$$

- **En caso de ser z > 0.5 m, la transmitancia se calculará aplicando la formula (4) del apartado 4.3.1. de esta Guia**

$U = U_{nh} \times b$ (4)

Ejemplo:

Vamos a calcular la transmitancia térmica de un piso, de 5,00 m de ancho por 7,00 m de fondo, a 0.90 m de altura sobre el terreno ubicado en zona bioclimática 3 en contacto con una cámara de aire, a profundidad 0.30 m.



Vemos que es un caso que cumple con las dos condiciones para poder efectuar el cálculo con la tabla 10.

- **Hallamos el coeficiente B' para poder entrar en la tabla N°10, es el cociente entre la superficie del suelo y la longitud del semiperímetro expuesto, de acuerdo a la expresión**

B' = A / 0.5 P = 5.00 x 7.00 / (5+7+7+5) = 1.46

- **Para obtener Us, debemos calcular la Rf del piso, en este caso despreciando las resistencias térmicas superficiales (asi debe hacerse independientemente de la zona bioclimática, apartado 1.2 b de la Norma)**

Las capas del piso son las siguientes

Madera Conífera liviana (44) e=8 cm ; k = 0.13 W/mK
Concreto armado (17) e=18 cm ; k= 1.63 W/mK



Aplicamos la fórmula 2 de esta guía, resistencia térmica de elemento constructivo homogéneo.

$R_f = R_1 + R_2 + \ldots + R_{n\ i}$ (2)

$R_f = \frac{0.08}{0.13} + \frac{0.18}{1.63}$ = 0.73 m² K/W

Para hallar la transmitancia de este tipo de piso no aplicamos la inversa de la resistencia Rf, sino que utilizamos las tabla N°10 de la Norma, considerando los valores previamente obtenidos B' y Rf, de la siguiente manera:

B' = 1.46
R_f = 0.73 m2 K/W

	Rf (m2°C/W)						
B'	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,25
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,25
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,30	0,25
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24
26	0,92	0,63	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,24
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
≥36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23

Tabla N° 10
Transmitancia térmica Us en W/m2.°C

Interpolamos para R_f

1.65 – ((1.65 – 0.90)/(1.0 – 0.5) x (0.73 – 0.50)) = 1.31
Interpolamos para B'

1.65 – ((1.65-1.46) / (2 – 1) x (1.46 - 1.00)) = 1.56

Así pues,
Us = (1.31 + 1,56) / 2 = 1.44 W/m² K

4.5. Cálculo de la envolvente piso en contacto con el terreno natural

4.5.1. Caso 1. Piso en apoyado directamente sobre el nivel del terreno natural o como máximo a 0.50 m por debajo de este. (aplicación tabla 11)

La transmitancia térmica U_s se obtiene de la tabla 11, entrando con los siguientes parámetros:

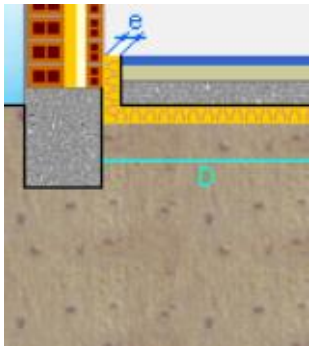
- **D Ancho de banda de aislamiento perimétrico (m)**
- **Ra Resistencia térmica de la banda de aislamiento (m2 K/W)**
- **B' Longitud característica de la losa, es la superficie del piso y la longitud del semiperímetro expuesto.**

La banda de aislamiento perimétrico, consiste en una banda de material aislante cuya finalidad es minimizar la transferencia de calor a través del terreno. Normalmente se usa poliestireno extrusionado o expandido.

En caso de no usar aislamiento perimétrico, entraremos en la tabla con el valor $R_a = 0$

Ejemplo:

Calcularemos la U_s de un piso apoyado directamente sobre el terreno, de 5 x 3 m de área, y tiene una banda aislante perimetral horizontal de 1 m de ancho por 3 cm de espesor de poliestireno extrusionado (k = 0.028 W/mK).



Nota: A efectos de cálculo, no se tiene en cuenta la composición del piso, sino que el cálculo se centra en las pérdidas por el borde de la misma.

Vamos a determinar las variables de entrada a la tabla,

D = 1.00 m

Se calcula la resistencia térmica mediante la expresión (3)

R_a = e / k_a = 0.03 / 0.028 = 1.07 m2 K/W

Notas:

- **En caso de que no se tenga banda de aislamiento perimetral, el valor de R_a se considera 0, y se entra en la tabla por la columna 0.**
- **Para pisos con aislamiento continuo en toda su superficie se tomarán los valores de la columna D>=1.5 m.**

B' = a / 0.5 P = 5.00 x 3.00 / ((5+3+5+3) /2) = 1.88 m
Con estos datos entraremos en la tabla N°11

Nota: En caso de que la banda de aislamiento sea un valor distinto a los contemplados en la tabla, se tomará el inmediato inferior, por ejemplo, D= 0.80 m, se entrará en la tabla en la columna D= 0.50m.

Buscamos la columna con la D perteneciente a D = 1.0 m, en ese grupo de columnas buscamos la R_a = 1.07 m^2 K/W, vamos a interpolar entre 1,00 y 1.50.

Interpolamos para B' = 1.88 m
1.01 – ((1.01 – 0.89) x (1.88 - 1.00)) = 0.90

Interpolamos para R_a = 1.07 m^2 K/W
1.01 – ((1.01 – 0.80)/0.5 x (1.07 – 1.00)) = 0.98
U_s = (0.90+0.98)/2 = 0.94 W / m^2 K

		D = 0.5 m Ra (m2.°C/W)					D = 1.0 m Ra (m2.°C/W)					D ≥ 1.5 m Ra (m2.°C/W)				
B'	Ra 0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Tabla N° 11
Transmitancia térmica Us en W/m2.°C, para CASO 1

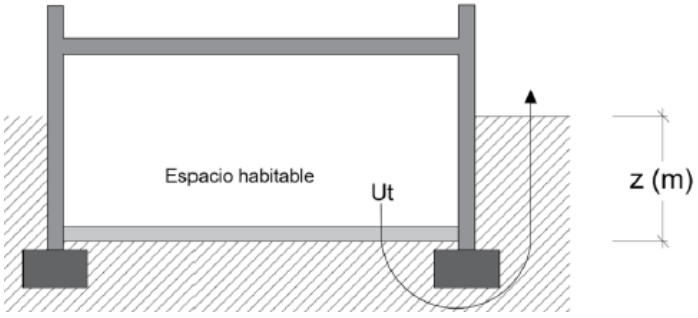
4.5.2. Caso 2. Piso a una profundidad superior a 0.50 m respecto del nivel del terreno.(aplicación tabla 12)

La transmitancia térmica U_f se obtiene de la tabla 12, entrando con los siguientes parámetros:

- **z Profundidad de la losa respecto al nivel del terreno (m)**
- **R_f Resistencia térmica de la losa según la fórmula (2)**

$R_f = R_{se} + R_1 + R_2 + ... + R_n + R_{si}$ despreciando las resistencias térmicas superficiales para cualquier zona bioclimática.

- **B' Longitud característica de la losa, es la superficie del piso y la longitud del semiperímetro expuesto.**



Ejemplo:

Calcularemos la U_t de un piso a profundidad z = 2.50 m bajo el nivel del terreno, de 5 x 3 m de área, y conformado por las siguientes capas:

Cemento pulido (19) e = 6 cm k = 0.53 W/m K
Concreto armado (17) e = 10 cm k = 1.63 W/m K
Poliestireno expandido (114) e = 2.54 cm k = 0.033 W/m K

Determinamos la R_f de la losa :

$$R_f = \frac{0.06}{0.53} + \frac{0.10}{1.63} + \frac{0.0254}{0.033} = 0.94 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

Calculamos la B'

B' = a / 0.5 P = 5.00 x 3.00 / (0.5 x (5+3) x 2) = 1.88 m

La z es 2.50 m

Con estas variables entramos en la tabla, interpolando

- **Debido a que z = 2.50 m se ubica en la tercera columna (2.0 m < z < 3.0 m)**
- **Debido a que B' = 1.88 se ubica entre primera y segunda fila.**

Interpolamos para el valor de R_f =0.94 m^2 K/W
0.65 – ((0.65 – 0.56)/0.5) x (0.94 - 0.50) = 0.57

Se interpola para obtener el valor B' = 1.88
0.65 - ((0.65 - 0.54) x (1.88 - 1) = 0.55
U_f = (0.57+0.55) / 2 = 0.56 W /m^2 K

	0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m				2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3,0 m			
	Rf (m2.°C/W)				Rf (m2.°C/W)				Rf (m2.°C/W)				Rf (m2.°C/W)			
B'	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,225	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

Tabla N° 12
Transmitancia térmica Us en W/m2.°C, para CASO 2

4.6. Muros en contacto con el terreno natural

La transmitancia térmica de los muros en contacto con el terreno natural se obtiene de la tabla N13, en función de la profundidad z y de la Resistencia Térmica del muro R_m despreciando las resistencias térmicas superficiales.

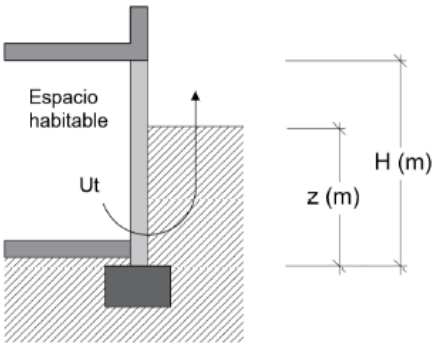


Figura 5.
Muro en contacto con el terreno

Ejemplo.
Vamos a calcular la transmitancia térmica de un muro en contacto con el terreno natural a una profundidad de z = 4 metros, el muro tiene por composición las siguientes capas:

Mortero de cemento (27) e = 1 cm k = 1.40 W/m K
Ladrillo Kin Kong (21) e = 12.5 cm k = 0.47 W/m K
Mortero de cemento (27) e = 1 cm k = 1.40 W/m K

Vamos a calcular la resistencia térmica del muro R_m

$$R_m = \frac{0.01}{1.40} + \frac{0.125}{0.47} + \frac{0.01}{1.40} = 0.28\ m^2\,K/W$$

Se desprecian las resistencias térmicas superficiales (punto 1.3 de la Norma, apartado a, caso2)

Con esas variables entramos en la tabla 13

Debido a que z = 4 m se ubica la columna "profundidad z de la parte enterrada del muro (m), correspondiente al valor 4, en caso de que z sea un valor intermedio de los de la tabla interpolaríamos para ese valor.

Rm (m2 K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 5
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,08	0,85	0,72	0,58
0,30	1,55	1,25	0,93	0,78	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,58	0,49	0,39
0,80	0,87	0,78	0,61	0,52	0,48	0,38
0,90	0,80	0,70	0,58	0,49	0,44	0,36
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,10	0,69	0,61	0,51	0,45	0,40	0,33
1,20	0,64	0,58	0,49	0,42	0,38	0,32
1,30	0,60	0,55	0,46	0,41	0,38	0,30
1,40	0,57	0,52	0,44	0,39	0,35	0,29
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
1,60	0,51	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28
1,70	0,49	0,45	0,39	0,35	0,31	0,27
1,80	0,45	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
1,90	0,44	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

Tabla N° 13
Transmitancia térmica de muros o estructuras permanentes de sostenimiento, en contacto con el terreno natural U_t en W/m2K

Debido a que R_m = 0.28 m^2 K/W se ubica entre la fila 0.20 y la 0.30, interpolamos para ese valor

U_t = 0.72 – ((0.72 – 0.65)/(0.3 - 0.2)) x (0.28 – 0.20) = 0.66 W/m^2 K

En el caso que el muro tenga capas diferentes en función de la profundidad (figura 6) , aplicaremos la siguiente expresión:

U_t = ((U_1 x z_1) + (U_2 x z_2) – (U_{12} x z_1)) / z_2 (9)

z_1 y z_2	profundidad de cada tramo (m)
U_1	transmitancia térmica del primer tramo obtenida de la tabla 13 para $z=z_1$ y $Rm=R_1$
U_2	transmitancia térmica del segundo tramo obtenida de la tabla 13 para $z=z_2$ y $Rm=R_2$
U_{12}	tramsmitancia térmica obtenida de la tabla 13 de un muro hipotético de $z=z_1$ y $Rm=R_2$

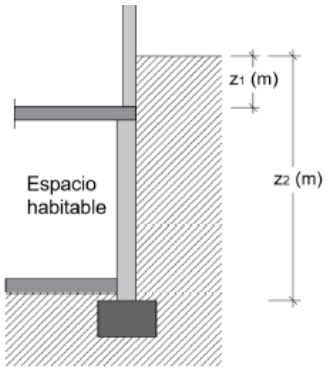


Figura 6.
Muro enterrado

Ejemplo,

Vamos a calcular la transmitancia térmica de un un muro enterrado con las siguientes composiciones:

Muro 1: (NIVEL SUPERIOR)

Mortero de cemento (27)	**e = 1 cm**	**k = 1.40 W/m K**
Ladrillo Kin Kong (21)	**e = 12.5 cm**	**k = 0.47 W/m K**
Mortero de cemento (27)	**e = 1 cm**	**k = 1.40 W/m K**

Profundidad z_1 = 1.0 m

Muro 2: (NIVEL INFERIOR)

Ladrillo Kin Kong (21)	**e = 12.5 cm**	**k = 0.47 W/m K**
Mortero de cemento (27)	**e = 1 cm**	**k = 1.40 W/m K**

Profundidad z_2 = 5.0 m

Calculamos la R_1

No se incluyen las resistencias térmicas superficiales (punto 1.3 apartado b de la Norma)

$$R_1 = \frac{0.01}{1.40} + \frac{0.125}{0.47} + \frac{0.01}{1.40} = 0.28\ m^2\,K/W$$

Calculamos la R_2

No se incluyen las resistencias térmicas superficiales (punto 1.3 apartado b de la Norma)

$$R_2 = \frac{0.125}{0.47} + \frac{0.01}{1.40} = 0.27\ m^2\,K/W$$

Vamos a determinar U_1, U_2 y U_{12} mediante la tabla 13

U_1

Debido a que z_1 = 1.0 m, se ubica la columna "profundidad z de la parte enterrada del muro (m) correspondientes al valor 1.

Debido a que R_m se ubica en la columna Rm de la tabla, entre 0.20 y 0.30 interpolamos para R_m = 0.28 m^2 K/W.

Rm (m2 K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 5
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,08	0,85	0,72	0,58
0,30	1,55	1,25	0,93	0,78	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,58	0,49	0,39

Interpolamos
U_1 = 1.45 – ((1.45 – 1.25)/(0.3 - 0.2)) x (0.28 – 0.20) = 1.29 W/m^2 K

U_2
Debido a que z_2 = 5.0 m, se ubica la columna "profundidad z de la parte enterrada del muro (m) correspondientes al valor >=5.

Debido a que R_m se ubica en la columna Rm de la tabla, entre 0.20 y 0.30 interpolamos para R_m = 0.27 m^2 K/W

Entramos en la tabla con z_2 = 5.0 m y R_2 = 0.27 m^2 K/W

Rm (m2 K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 5
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,08	0,85	0,72	0,58
0,30	1,55	1,25	0,93	0,78	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42

Interpolamos
U_2 = 0.58 – ((0.58 – 0.51)/(0.2 - 0.1) x (0.27 – 0.20) = 0.53 W/m² K

U_{12}
Este es el valor de la transmitancia térmica obtenida de la tabla 13 de un muro hipotético de $z=z_1$ y $R_m=R_2$

Entramos en la tabla con z_1 = 1.0 m y R_2 = 0.27 m² K/W

Rm (m2 K/W)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 5
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,08	0,85	0,72	0,58
0,30	1,55	1,25	0,93	0,78	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44

Interpolamos
U_{12} = 1.45 – ((1.45 – 1.25)/(0.3 - 0.2) x (0.27 – 0.20) = 1.31 W/m² K

Aplicamos la fórmula (9)

$$U_t = ((U_1 \times z_1) + (U_2 \times z_2) - (U_{12} \times z_1)) / z_2$$

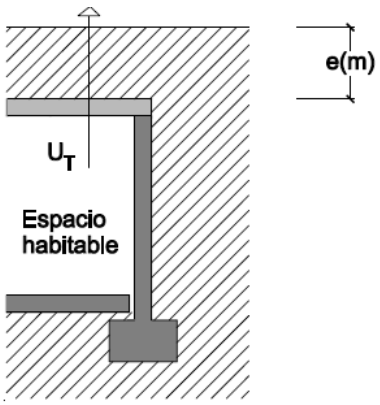
$$U_t = ((1.29 \times 1.00) + (0.53 \times 5.00) - (1.31 \times 1.00)) / 5.00 = 0.53 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

4.7. Cálculo de techos enterrados o en contacto con el terreno natural

La transmitancia de un techo enterrado o en contacto con el terreno natural se obtiene mediante la fórmula (2)

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{si}$$

Considerando al terreno natural como otra capa térmicamente homogénea de conductividad térmica k = 2.00 W/m K y de espesor la distancia entre el techo y el aire exterior



Ejemplo.

Cálculo de un techo entrerrado a una profundidad de e = 80cm compuesto de las siguientes capas en zona 5

Cemento pulido (19) **e = 0.06 m k = 0.53 W/m K**
Concreto armado (17) **e = 0.20 m k = 1.63 W/m K**



Consideramos para la capa de terreno natural e = 0.60 m k = 2.00 W/m K

Hallamos las resistencias térmicas superficiales de la tabla N°05, para Zona bioclimática 5 y envolvente techo.

Envolvente	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.04	0.13
Techo	5 y 6	0.04	0.10
	1, 2, 3, 4 y 7	0.04	0.17
Piso	5 y 6	0.04	0.17

Tabla N° 05

R_{se} = 0.04 m² K/W
R_{si} = 0.10 m² K/W

Aplicamos la fórmula (2)

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{si}$$

$$R_T = 0.04 + \frac{0.60}{2.00} + \frac{0.06}{0.53} + \frac{0.20}{1.63} + 0.10 = 0.68 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$U_T = 1 / 0.68 = 1.48 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

5. Listado de transmitancia térmica de soluciones de ventanas y cálculo de la transmitancia térmica en vanos de acceso y ventanas

5.1. Transmitancia térmica de marcos

Se adoptan los siguientes valores de transmitancia térmica de los marcos perimetrales a un cerramiento de vidrio:

Transmitancia térmica de los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1

Material del perfil	Transmitancia térmica U (W/m^2K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4mm ≤ d< 12 mm)	4
Metálico RPT d ≥ 12 mm	3,2
Madera dura (ρ = 700 Kg/m^3 y 60 mm de espesor)	2,2
Madera blanda (ρ = 500 Kg/m^3 y 60 mm de espesor)	2
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

Tabla a

Fuente: EN ISO 10077-1 Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica.

5.2. Transmitancia térmica de vidrios

Tipo de Vidrio	U (W/m^2 K)	Factor Solar (g)
Monolítico 4 mm	**5.7**	**0.85**
Monolítico 6 mm	**5.7**	**0.83**
Laminar 33.1	**5.6**	**0.80**
Laminar 44.1	**5.6**	**0.77**
Laminar 55.1	**5.5**	**0.75**
Laminar 66.1	**5.4**	**0.74**
Insulado 4-6-4	**3.3**	**0.76**
Insulado 4-6-6	**3.3**	**0.76**
Insulado 4-6-33.1	**3.2**	**0.73**
Insulado 4-6-44.1	**3.2**	**0.73**
Insulado 4-6-55.1	**3.2**	**0.73**
Insulado 4-6-66.1	**3.2**	**0.73**
Insulado 4-12-4	**2.8**	**0.76**
Insulado 4-12-6	**2.8**	**0.76**
Insulado 4-12-33.1	**2.8**	**0.73**
Insulado 4-12-44.1	**2.8**	**0.73**
Insulado 4-12-55.1	**2.8**	**0.73**

Tipo de Vidrio	U ($W/m^2 K$)	Factor Solar (g)
Insulado 4-12-66.1	2.8	0.73
Insulado 4-15-4	2.7	0.76
Insulado 4-15-6	2.7	0.76
Insulado 4-15-33.1	2.7	0.73
Insulado 4-15-44.1	2.7	0.73
Insulado 4-15-55.1	2.7	0.73
Insulado 4-15-66.1	2.7	0.73
Insulado 4-6-4 capa bajo emisiva	2.7	0.63
Insulado 4-6-6 capa bajo emisiva	2.7	0.63
Insulado 4-6-33.1 capa bajo emisiva	2.7	0.55
Insulado 4-6-44.1 capa bajo emisiva	2.7	0.55
Insulado 4-6-55.1 capa bajo emisiva	2.7	0.55
Insulado 4-6-66.1 capa bajo emisiva	2.6	0.55
Insulado 4-12-4 capa bajo emisiva	2.0	0.63
Insulado 4-12-6 capa bajo emisiva	2.0	0.63
Insulado 4-12-33.1 capa bajo emisiva	2.0	0.55
Insulado 4-12-44.1 capa bajo emisiva	2.0	0.55
Insulado 4-12-55.1 capa bajo emisiva	2.0	0.55
Insulado 4-12-66.1 capa bajo emisiva	2.0	0.55
Insulado 4-15-4 capa bajo emisiva	1.8	0.63
Insulado 4-15-6 capa bajo emisiva	1.8	0.63
Insulado 4-15-33.1 capa bajo emisiva	1.8	0.55
Insulado 4-15-44.1 capa bajo emisiva	1.8	0.55
Insulado 4-15-55.1 capa bajo emisiva	1.8	0.55
Insulado 4-15-66.1 capa bajo emisiva	1.8	0.55

Tabla b

Fuente: Software CEX v2.3. Herramienta para cumplientar el procedimiento simplificado para la certificación energética, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, Gobierno de España.

Nota: Los fabricantes de vidrio poseen fichas técnicas de todos los vidrios de la gama que producen, en ellas están relacionados los datos de transmitancia térmica y control solar con precisión para cada vidrio. Muchos de estos fabricantes tienen desarrollados software para poder configurar vidrios y obtener sus datos, los datos de las fichas técnicas de los fabricantes son más amplios y precisos que esta tabla genérica anterior.

Enlace para descargar Fichas Técnicas de Vidrios de Saint Gobain Glass (SGG), herramienta on line de uso público y gratuito.
https://calumenlive.com

5.3. Cálculo de la transmitancia térmica combinada marco-vidrio

Se halla aplicando la siguiente fórmula:

$$U_V = \frac{(A_a \times U_a) + (A_m \times U_m) + (I_{am} \times \Psi_{am}) + (A_{vp} \times U_{vp}) + (I_p \times \Psi_p)}{(A_a + A_m + A_{vp})}$$

Siendo,

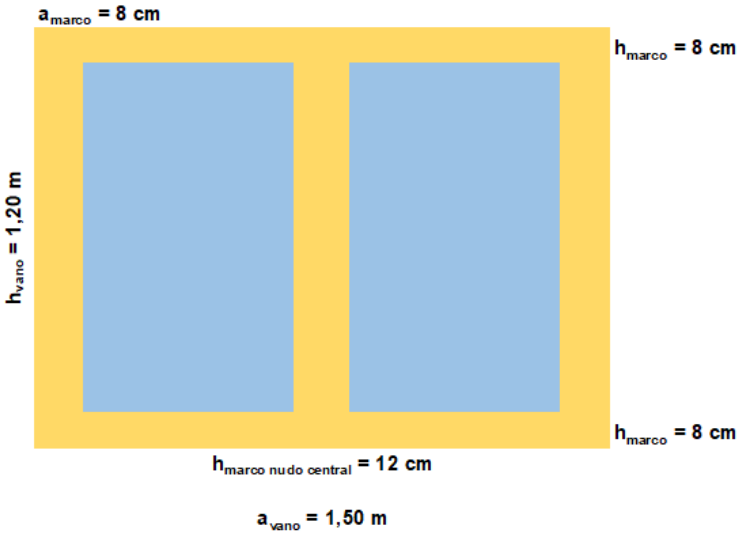
A_a **área que ocupa el acristalamiento (m^2)**
U_a **transmitancia térmica del acristalamiento (W/m^2 K)**
A_m **área que ocupa el marco (m^2)**
U_m **transmitancia térmica del marco (W/m^2 K)**
I_{am} **longitud de contacto entre acristalamiento y marco (m)**
Ψ_{am} **transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento (W/m K)**
Avp **área de la parte con panel opaco (si es el caso) (m^2)**
Uvp **transmitancia térmica del panel opaco (W/m^2 K)**
lp **longitud de contacto entre marco y paneles opacos (m)**
Ψ_p **transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos (W/m K)**

Los valores de la transmitancias térmicas lineales los tomaremos de la tabla N°14 de la Norma

Material del marco	Superficie transparente o traslúcida		
	Una hoja de vidrio (primario o secundario	Vidrio Insulado	Vidrio insulado bajo emisivo
Madera y plastico	0.00	0.06	0.08
Metálico con rotura de puente térmico	0.00	0.08	0.11
Metálico sin rotura de puente térmico	0.00	0.02	0.05

Tabla N°14
Transmitancia térmica lineal en vanos cubiertos por acristalamientos

Ejemplo,
Vamos a calcular la transmitancia térmica de un cerramiento de aluminio sin rotura de puente térmico y acristalamiento insulado 4-12-33.1, de dimensiones 1.50 x 1.20 m, graficado a continuación.



Vamos a hallar las áreas:

Área total
A_t = 1.50 x 1.20 = 1.80 m^2

Área del marco
A_m = 0.08 x 1.50 x 2 + (1.20 – 0.08 x 2) x 0.08 x 2 + (1.20 – 0.08 x 2) x 0.12 = 0.53 m^2

Área acristalada
$A_a = A_t - A_m$ = 1.27 m^2

Vamos a hallar la longitud de contacto del acristalamiento con el marco
l_{am} = (1.50- 0.08 – 0.12 – 0.08) x 2 + (1.20 – 0.08 – 0.08) x 4 = 6.60 m

Vamos a definir las transmitancias térmicas

Marco
U_m = 5.70 W/m^2 K (extraído del punto 5.1)

Vidrio
U_a = 2.80 W/m^2 K (extraído del punto 5.2)

Contacto acristalamiento marco
Ψ_{am} = 0.02 W/m K

Aplicamos la fórmula general

U_v = ((1.27 x 2.80) + (0.53 x 5.70) + (6.60 x 0.02)) / (1.27 + 0.53) = 3.73 W/m^2 K

6. Calculo del riesgo de condensación superficial

Para garantizar que no se produzca condensación superficial se debe cumplir la siguiente relación:

$T_{si} > T_R$

Donde:
T_{si} **= Temperatura superficial interior (°C)**
T_R **= Temperatura de rocío (°C)**

6.1. Procedimiento para hallar la temperatura superficial interior

Obtenemos la temperatura superficial interior, mediante la expresión:

$T_{si} = T_i - T$ **(17)**

Siendo,

T_i **temperatura interior de diseño de la edificación (°C) según lo indicado en el numeral 9.3.3. de la Norma.**
T la disminución de la temperatura entre el interior y el exterior (°C) que se obtiene de la siguiente fórmula:

$T = R_{si} \times (Ti - Te) / R_T$ **(18)**

Siendo,

R_{si} **resistencia superficial interior (m2 K/W) según lo indicado en la tabla N°07 de la Norma.**
T_i **temperatura interior de diseño de la edificación (°C) según lo indicado en el numeral 9.3.3. de la Norma.**
T_e **temperatura exterior de diseño (°C), según lo indicado en la tabla N°04 de la Norma.**
R_T **resistencia térmica total del elemento constructivo (m2 K/W) calculada según lo indicado en el numeral 2 (capas homogéneas y heterogéneas)**

Ejemplo,

Vamos a ver el riesgo de condensación superficial utilizando el ejemplo desarrollado en el puntos 4.1.2 elementos heterogéneos, techo de losa aligerada compuesta por vigueta de concreto armado

y bovedilla con poliestireno extruido debajo de la vigueta, corresponde al techo en zona bioclimática 3 y se trata de una vivienda.

Como vimos, el valor de la resistencia térmica total del elemento constructivo considerado es,

R_T = 3.40 m² K/W

Calcularemos la disminución de la temperatura entre el interior y el exterior de acuerdo a la fórmula (18)

$T = R_{si} \times (T_i - T_e) / R_T$

La R_{si} se obtiene de la tabla N°05 de la Norma

Envolvente	Zona bioclimática	Resistencia Térmica Superficial Exterior (R_{se})	Resistencia Térmica Superficial Interior (R_{si})
Muro	Todas	0.04	0.13
Techo	5 y 6	0.04	0.10
	1, 2, 3, 4 y 7	0.04	0.17
Piso	5 y 6	0.04	0.17

Tabla N° 05
Resistencias térmicas superficiales de envolvente en contacto con el aire exterior en m²·K/W Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor

En este caso al corresponder al elemento constructivo techo en zona bioclimática 3,

R_{si} = 0.17

T_i = 18°C (punto 9.3.3 de la Norma)
T_e = 14.1 (Tabla N°04 de la Norma)

$T = R_{si} \times (T_i - T_e) / R_T = 0.17 \times (18 - 14.1) / 3.40 = 0.20°C$

Hallamos por último la temperatura superficial interior

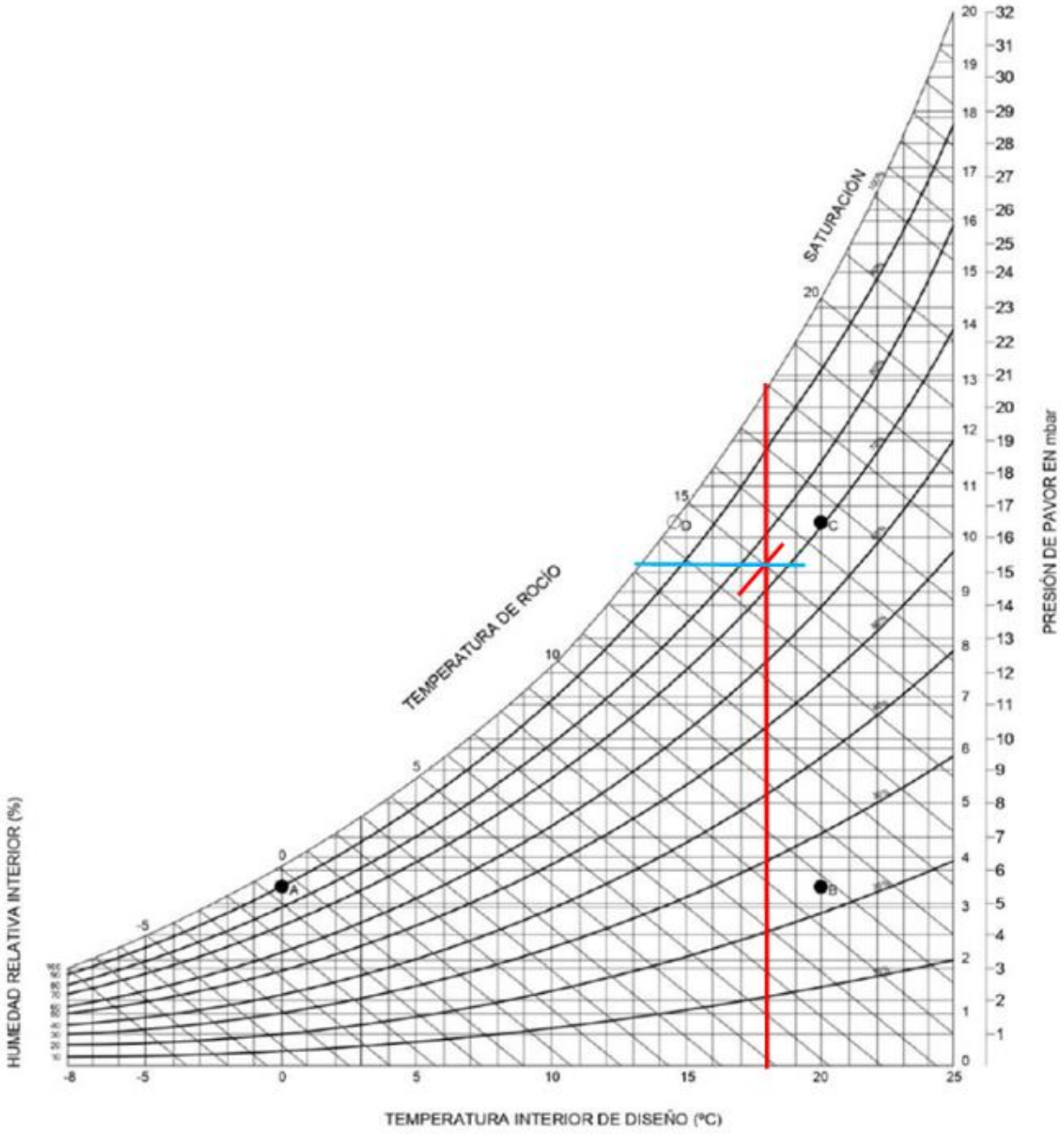
$T_{si} = T_i - T = 18 - 0.20 = 17.8°C$

6.2. Procedimiento para hallar la temperatura de rocío

Se halla en la figura 8. Diagrama psicrométrico, entrado con

- **Se ubica en el eje "x" del Diagrama, la temperatura interior de diseño, Ti = 18°C.**

- **Se ubica en el eje "y" del Diagrama, la humedad relativa interior de diseño (%) que se obtiene de la tabla N°04, para nuestro caso es 75%.**
- **Se traza una línea vertical ascendente desde la temperatura interior de diseño (18°C) hasta su intersección con la línea curva de la humedad relativa interior de diseño (75%).**
- **Desde la intersección entre ambas, se traza una línea horizontal hacia la izquierda, de manera que se intercepte con la última línea curva que equivale a la Temperatura de Rocío.**
- **A partir del procedimiento indicado, la Temperatura de Rocío resultante es 13.2°C**



6.3. Comparación entre la temperatura superficial interior y la temperatura de rocío

Para que no exista condensaciones se debe cumplir lo establecido en la norma:

$T_{si} > T_R$

T_{si} = 17.8°C T_R = 13.2°C

Por lo tanto se cumple que Tsi es mayor a TR, y consecuentemente sí se cumple la Norma al no producirse condensación.

7. Calculo para el diseño de elementos exteriores horizontales de control solar

Vamos a proceder directamente con un ejemplo de cálculo de elementos horizontales de control solar, seguiremos los siguientes pasos:

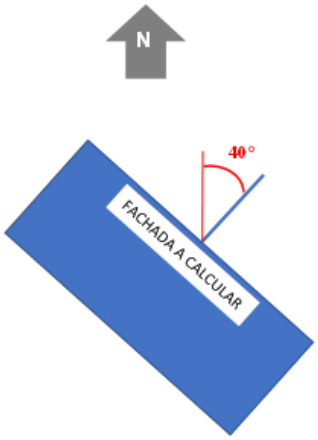
Paso 1:

Determinamos la ubicación del proyecto

Zona bioclimática, se ubica en zona bioclimática N°3
Latitud, es la siguiente: l = 10°S

Paso 2:

Determinamos la fachada a calcular y su orientación con respecto al Norte. En este caso está orientada 40° (gráfico adjunto)



Siendo la zona bioclimática la N°3, la tabla a utilizar es la N°16 correspondiente a las zonas bioclimáticas 1, 3, 4 y 7.

Entraremos en la columna latitud 10°S, que es la cuarta columna, valores entre 9°00'01" y 12°

Y en la fila "orientación desde el Norte (+ o -)

Tabla N° 16
Ángulos para diseño de elemento exterior de control solar en zonas bioclimáticas 1, 3, 4 y 7

LATITUD 0° a < 3°		LATITUD 3°00''01' < x < 6°		LATITUD 6°00''01' < x < 9°		LATITUD 9°00''01' < x < 12°		LATITUD 12°00''01' < x < 15°		LATITUD 15°00''01' < x < 18°		LATITUD 18°00''01' a más	
Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño	Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño
0	66	0	63.00	0	60.00	0	57.00	0	54.00	0	51.00	0	48.00
5	63	5	60.29	5	57.58	5	54.87	5	52.16	5	49.45	5	46.74
10	60	10	57.58	10	55.16	10	52.74	10	50.32	10	47.90	10	45.48
15	56	15	53.97	15	51.94	15	49.90	15	47.87	15	45.84	15	43.81
20	53	20	51.26	20	49.52	20	47.77	20	46.03	20	44.29	20	42.55
25	50	25	48.55	25	47.10	25	45.65	25	44.19	25	42.74	25	41.29
30	48	30	46.74	30	45.48	30	44.23	30	42.97	30	41.71	30	40.45
35	45	35	44.03	35	43.06	35	42.10	35	41.13	35	40.16	35	39.19
40	43	40	42.23	40	41.45	40	40.68	40	39.90	40	39.13	40	38.35
45	42	45	41.32	45	40.65	45	39.97	45	39.29	45	38.61	45	37.94
50	41	50	40.42	50	39.84	50	39.26	50	38.68	50	38.10	50	37.52
55	40	55	39.52	55	39.03	55	38.55	55	38.06	55	37.58	55	37.10
60	40	60	39.52	60	39.03	60	38.55	60	38.06	60	37.58	60	37.10
65	40	65	39.52	65	39.03	65	38.55	65	38.06	65	37.58	65	37.10
70	39	70	38.61	70	38.23	70	37.84	70	37.45	70	37.06	70	36.68
75	38	75	37.71	75	37.42	75	37.13	75	36.84	75	36.55	75	36.26
80	37	80	36.81	80	36.61	80	36.42	80	36.23	80	36.03	80	35.84
85	36	85	35.90	85	35.81	85	35.71	85	35.61	85	35.52	85	35.42
90	35	90	35.00	90	35.00	90	35.00	90	35.00	90	35.00	90	35.00
95	36	95	36.06	95	36.13	95	36.19	95	36.26	95	36.32	95	36.39

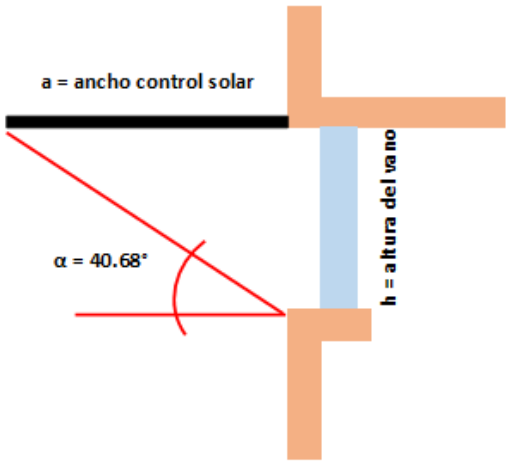
Ampliando esa parte de la tabla:

Tabla N° 16
o exterior de control sol

LATITUD 9°00''01' < x < 12°	
Orientacion desde el Norte (+ ó -)	Ángulo de diseño
0	57.00
5	54.87
10	52.74
15	49.90
20	47.77
25	45.65
30	44.23
35	42.10
40	40.68
45	39.97
50	39.26
55	38.55

El ángulos de diseño resultante de la tabla es 40.68°

La cuantificación de la medida de la visera de control solar horizontal es (gráfico siguiente)



$$\mathbf{a} = \frac{h}{\text{tg}\,(\alpha)}$$

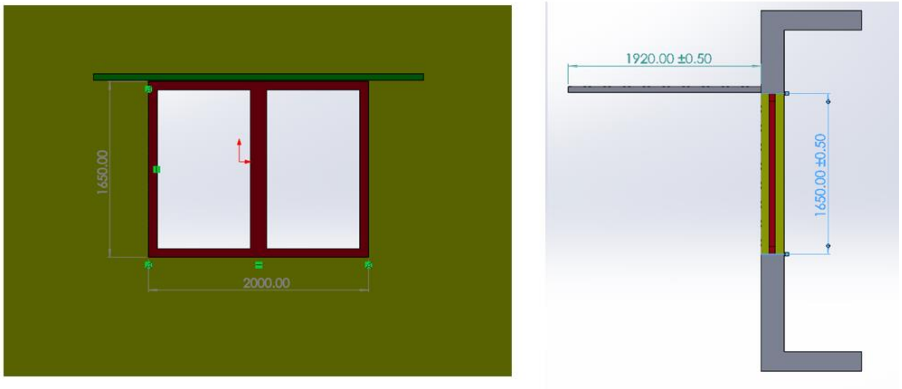
siendo,

a **medida horizontal del control solar (m)**
h **la altura del vano (m)**
α **ángulo de diseño en grados calculado en tablas (16 y 17)**

en nuestro caso y como ejemplo, si la altura de la ventana es de 1.65 m, la medida horizontal del control solara será:

$$\mathbf{a} = \frac{h}{\text{tg}\,(\alpha)} = \frac{1.65}{\text{tg}\,40.68^\circ} = \mathbf{1.92\ m},$$

El esquema gráfico de este elemento resuelto es:



Cabe precisar que el valor de 1.92 m, es la profundidad de un solo alero horizontal que genere sombra en toda la altura de la ventana. Depende del proyectista la forma y el número de aleros a fin de reducir la profundidad de dicho elemento de control solar. Por ejemplo, de esta otra manera.

8. Referencias

EM.110. (2021). *Norma Técnica EM.110, Envolvente térmica.* Obtenido de https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-modifica-la-denominacion-de-la-norma-tec-decreto-supremo-n-001-2022-vivienda-2047136-4/

Martín Domingo, A. (2011). *Apuntes de transmisión del calor .* Universidad Politécnica de Madrid.

PERÚ | Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Av. República de Panamá 3650,
San Isidro - Lima - Perú
(511) 211 - 7930

ViviendaPeru viviendaperu MVCSPrensa

viviendaperu MinisterioVivienda

www.gob.pe/vivienda