



Universidad de Chile

DIPLOMA DE POSTÍTULO

DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

DISEÑO DE ENVOLVENTE DE ALTA EFICIENCIA

Miguel Bustamante S.
miguel.bustamante@idiem.cl



CONFORT

CALEFACCIÓN ECONÓMICA

- a) Costo del combustible por unidad térmica de calefacción.
- b) Rendimiento de utilización del combustible.
- c) Costo, incluido intereses y depreciación de los aparatos utilizados.
- d) Costo de la mano de obra y de los materiales empleados en la limpieza, mantenimiento y reparación de los aparatos.
- e) Costo extra de limpieza cuando se utilizan aparatos que producen suciedad.



BALANCE DE ENERGÍA

PRINCIPALES FUENTES DE GANANCIAS DE CALOR

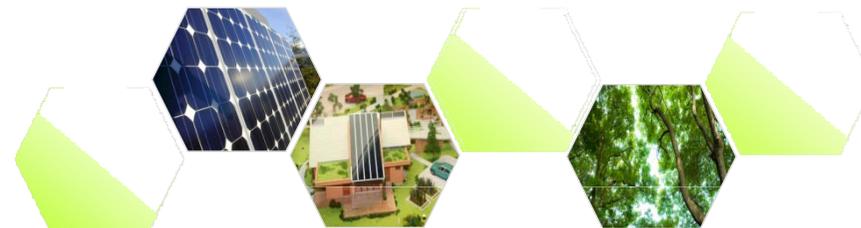
- a. Calor útil suministrado por el aparato de calefacción**
- b. Calor suministrado por lámparas eléctricas, cocinas, calor producido y disipado por motores eléctricos de la maquinaria doméstica, tal como refrigeradores, aspiradoras de polvo y otras.**
- c. Calor irradiado por los ocupantes. Este es especialmente apreciable en lugares donde se congrega gran número de personas en un espacio limitado, cerrado.**
- d. Ganancias de calor de radiación a través de los cristales de las ventanas. Es apreciable incluso en invierno.**
- e. Ganancias de calor de radiación a través de las paredes. Este nos es tan apreciable como el recibido a través de las ventanas.**



BALANCE DE ENERGÍA

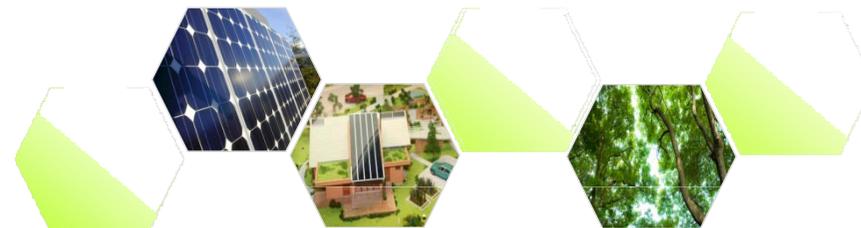
PRINCIPALES CAUSAS DE PÉRDIDAS DE CALOR

- f. Pérdida de calor debido a la ventilación. El aire del interior de la casa que ha sido calentado, se pierde al exterior a través de las aberturas de puertas y ventanas, a través de las puertas y ventanas cuando se abren, por los ventiladores, etc. En el caso de aparatos de combustión cuyas chimeneas están en conexión con el aire interior de la casa, se pierde por esta causa grandes cantidades de aire caliente.**
- g. Por conducción a través del techo**
- h. Por conducción a través del suelo**
- i. Por conducción a través de las paredes**
- j. Por conducción y radiación a través de las ventanas**
- k. Por el desagüe del agua caliente**



PRODUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA ,g/h

ACTIVIDAD (PERSONAS)	TEMPERATURA AMBIENTE			
	10°C	15°C	20°C	25°C
REPOSO	36	36	45	66
TRABAJO LIGERO	54	72	110	175
TRABAJO NORMAL	66	120	170	205
TRABAJO MUY PESADO	155	215	300	350



RENOVACIONES DE AIRE CONSIDERADAS EN RECINTOS DE VIVIENDAS

TIPO DE RECINTO	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA
Baño con WC	2 - 3
Baño con ducha	5 - 8
Cocina	3 - 4
Lavado y secado de ropa	6- 8
Estar, comedor	1 - 1,5
Dormitorio (1 cama)	1
Dormitorio (2 camas)	1 - 1,5
Dormitorio (3 o 4 camas)	1,5 - 2



DIPLOMA DE POSTÍTULO



DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES



SI RELIZAMOS UN ADECUADO BALANCE TÉRMICO PODEMOS ENUCIAR QUE:

GANANCIA TOTAL CALORÍFICA = PÉRDIDA TOTAL CALORÍFICA



$$\dot{\phi} = U \times S \times \Delta T$$

$$\dot{\phi}_v = n \times C_{ev} \times V \times \Delta T$$

$$\dot{\phi}_p = K_l \times P \times \Delta T$$

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$$R_t = R_{si} + \sum R_m + R_{se}$$

$$R_t = R_{si} + R_g + \sum R_m + R_{se}$$



“Conductividad Térmica, λ “

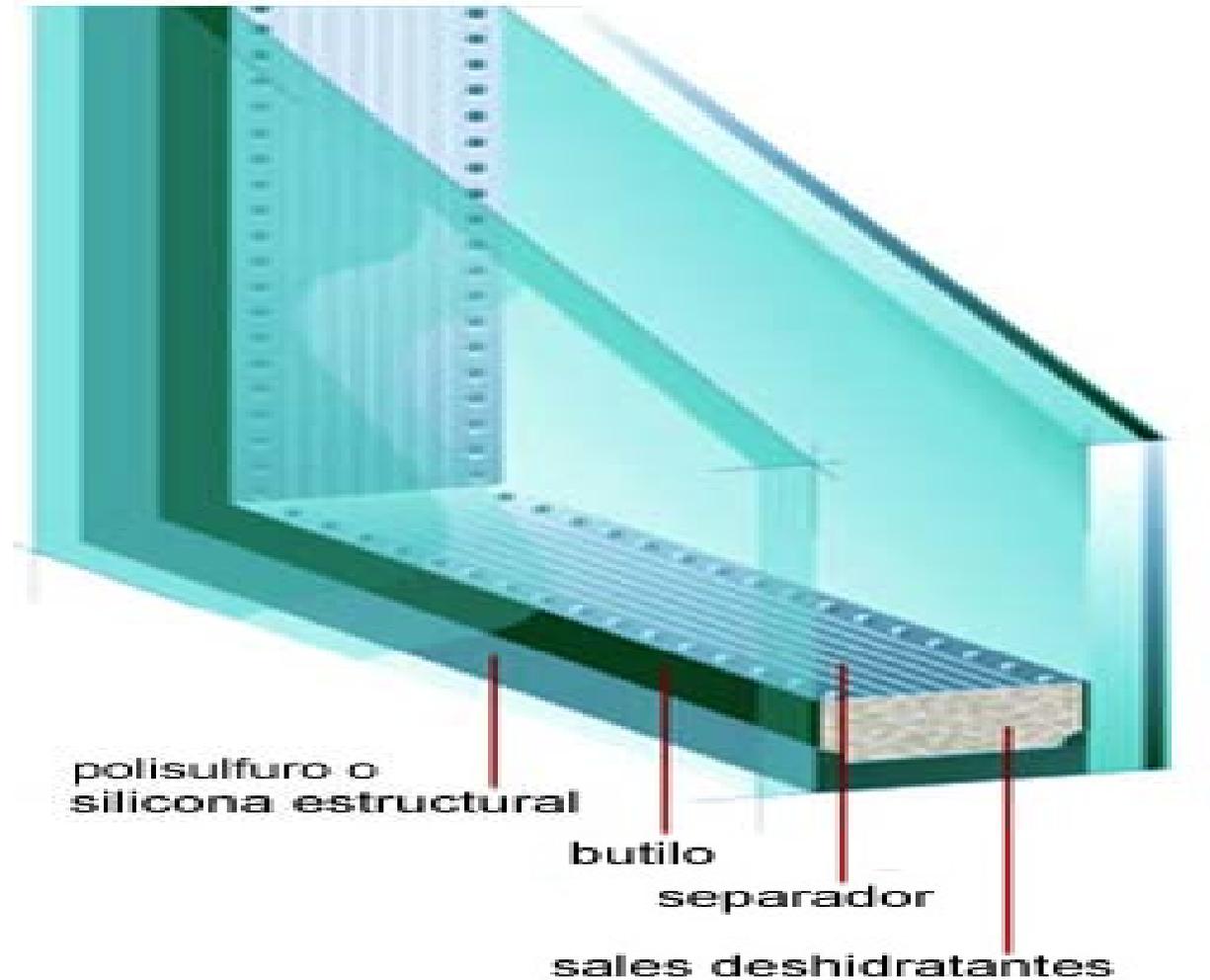
λ

→ **DENSIDAD**

→ **TEMPERATURA**

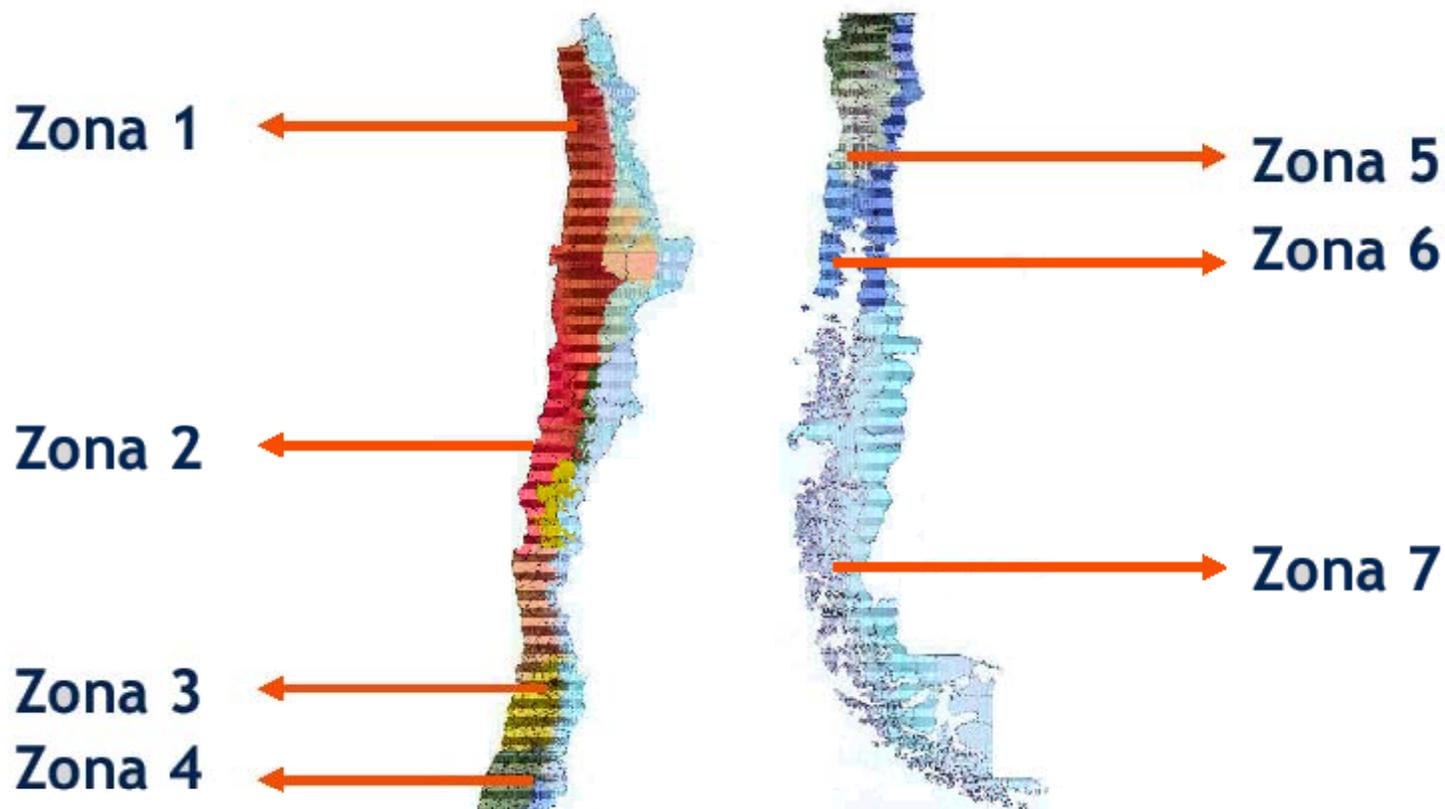
→ **HUMEDAD**

DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES





Zonificación Térmica



REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

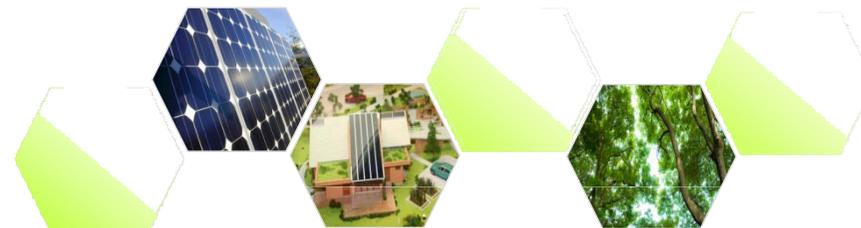


ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13



ALTERNATIVAS PARA CUMPLIR LAS EXIGENCIAS TÉRMICAS

1. Mediante la incorporación de un material aislante térmico etiquetado con el R100. NCh 2251.
2. Mediante certificado de ensaye otorgado por un Laboratorio Oficial de Control Técnico de Calidad de la Construcción.
 1. Mediante cálculo, el que deberá ser realizado de acuerdo a lo señalado en la norma NCh 853.
 2. Soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones , confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.



NCh 2251 - R100

ZONA	TECHUMBRE R100	MUROS R100	PISOS VENTILADOS R100
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

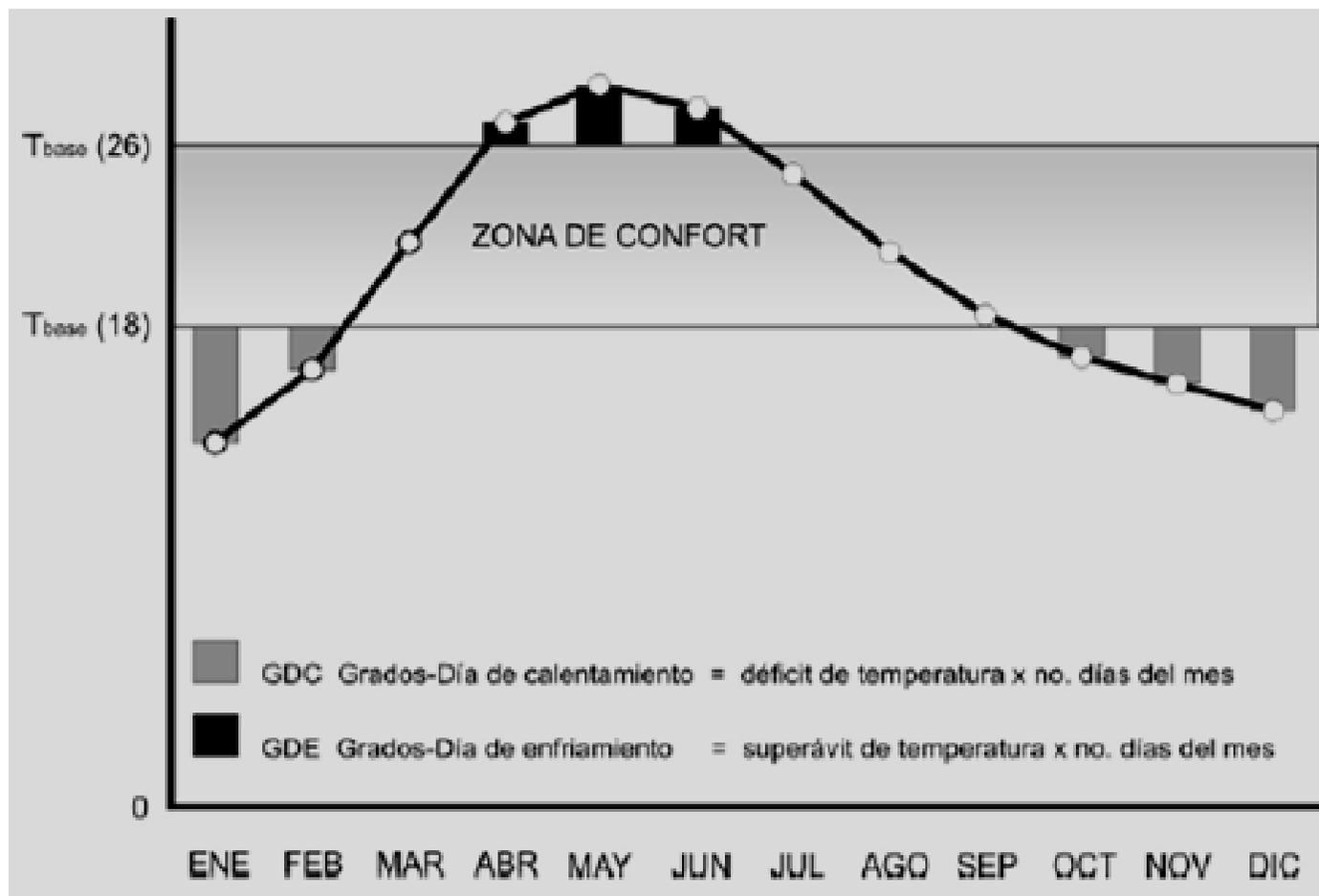
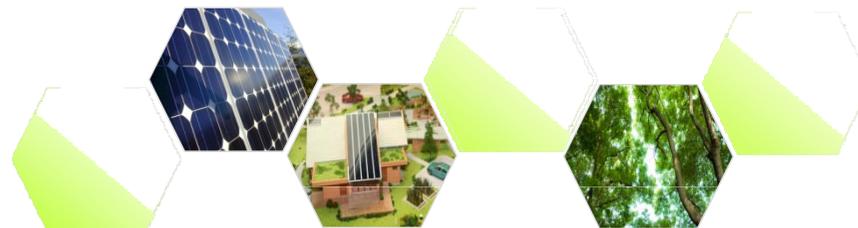


GRADOS - DÍAS

Los grados días se pueden definir como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento (en grados centígrados o Kelvin), necesarios para alcanzar la zona de confort, acumulados en un cierto periodo de tiempo (generalmente un mes)

Definición

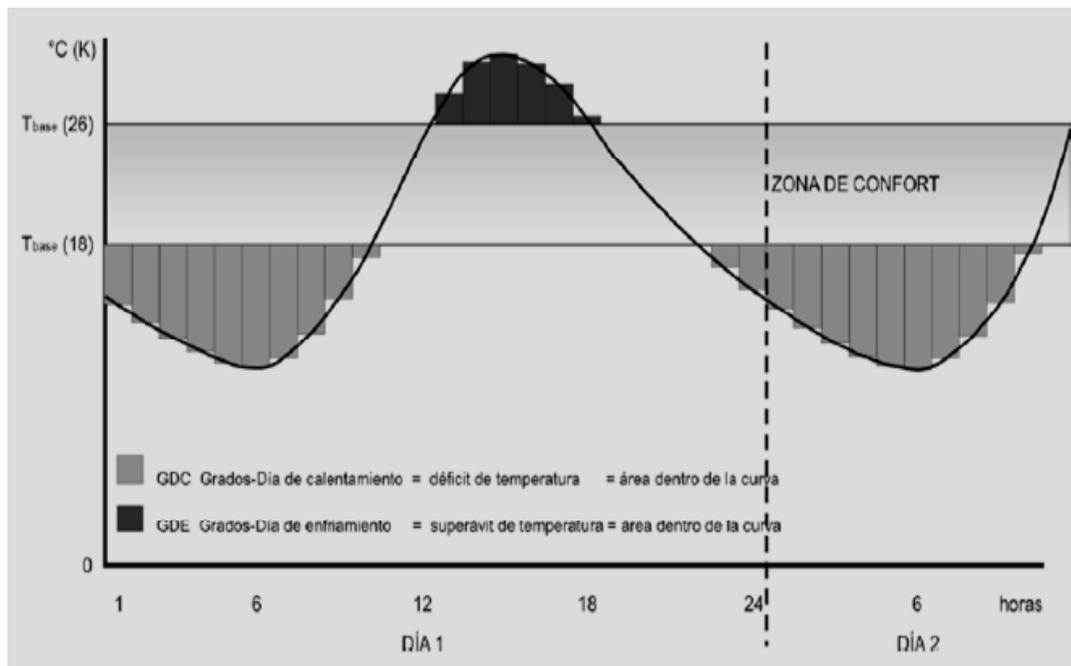
Grado-día es, para un periodo determinado de tiempo, igual a la suma, para todos los días de este periodo, de la diferencia entre una temperatura fija o base y la temperatura media del día, cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base. Si es superior o igual se computa como cero.





GRADOS DÍA EN ARQUITECTURA

Estrictamente hablando, los grados día se refieren al déficit o superávit acumulado de los 365 días del año, es decir, es un indicador climático.



$$GD = \sum_1^{365} (T - T_{base})$$

donde

T = Temperatura media diaria, °C

T_{base} = Temperatura base (límite de referencia, inferior o superior de confort, °C)



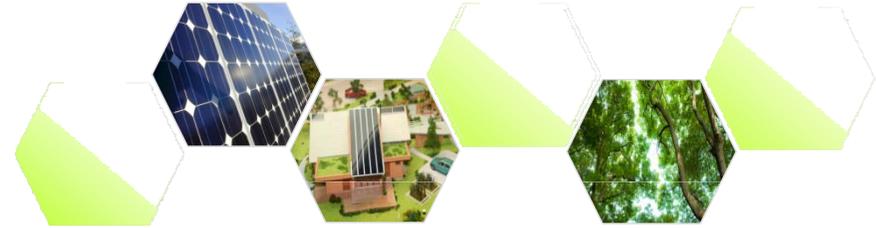
LOCALIDADES	GRADOS DÍAS/AÑO
Calama	1116
Copiapó	348
La Serena	696
Ovalle	600
Los Andes	1122
Valparaíso	687
Santiago –Quinta Normal	1260
Santiago- Cerrillos	1230
Talca	1221
Concepción	1656
Temuco	1776
Puerto Montt	2020
Puerto Aysen	2979
Punta Arenas	4065



Los grados día es un concepto "rudimentario" de evaluación de la severidad climática, ya que solo toma consideración la temperatura (sus diferencias) sin considerar otras variables climáticas principalmente la radiación solar, por tanto sólo es valido para aproximaciones "groseras" para calcular la demanda.

Pero el concepto sigue existiendo y con las limitaciones antes mencionadas, puede usarse.

De hecho los métodos mensuales o estacionales, de la norma EN 13790 utilizan este concepto introduciendo además la radiación solar y el efecto dinámico del edificio mediante un factor útil (para tratar de soslayar sus insuficiencias). En estas circunstancias puede usarse este concepto para cálculos aproximados y rápidos.



$$G_{v1} = \frac{\sum U \cdot S}{V} \left[\frac{W}{m^3 \text{ } ^\circ C} \right]$$

$$G_{v1} = \frac{\sum U_m \cdot S_m + U_v \cdot S_v + \sum U_c \cdot S_c + \sum U_p \cdot S_p}{V}$$



$$G_{v2} = \frac{\sum U \cdot S}{V} + 0,35 n \frac{W}{m^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$G_{v2} = \frac{\sum U_m \cdot S_m + U_v \cdot S_v + \sum U_c \cdot S_c + \sum U_p \cdot S_p}{V} + 0,35 n$$

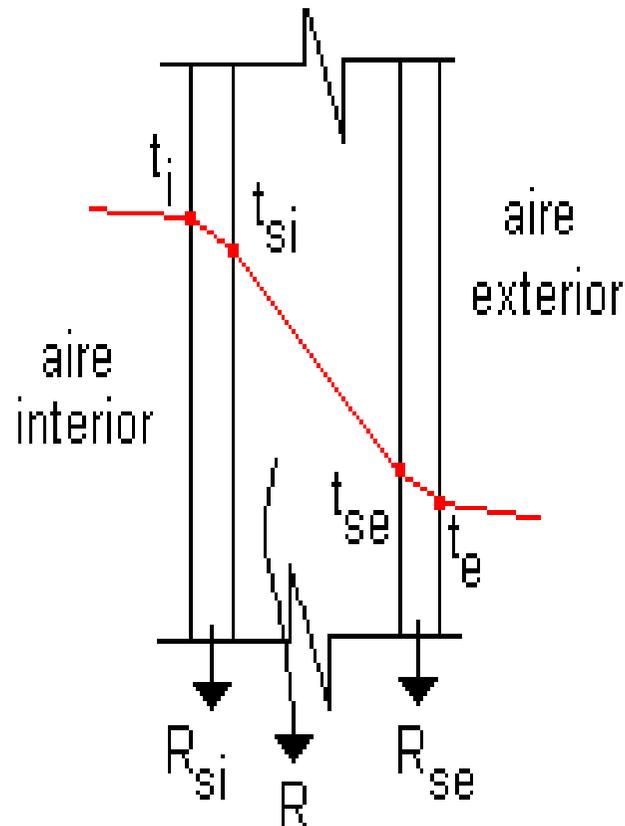


Tabla 2

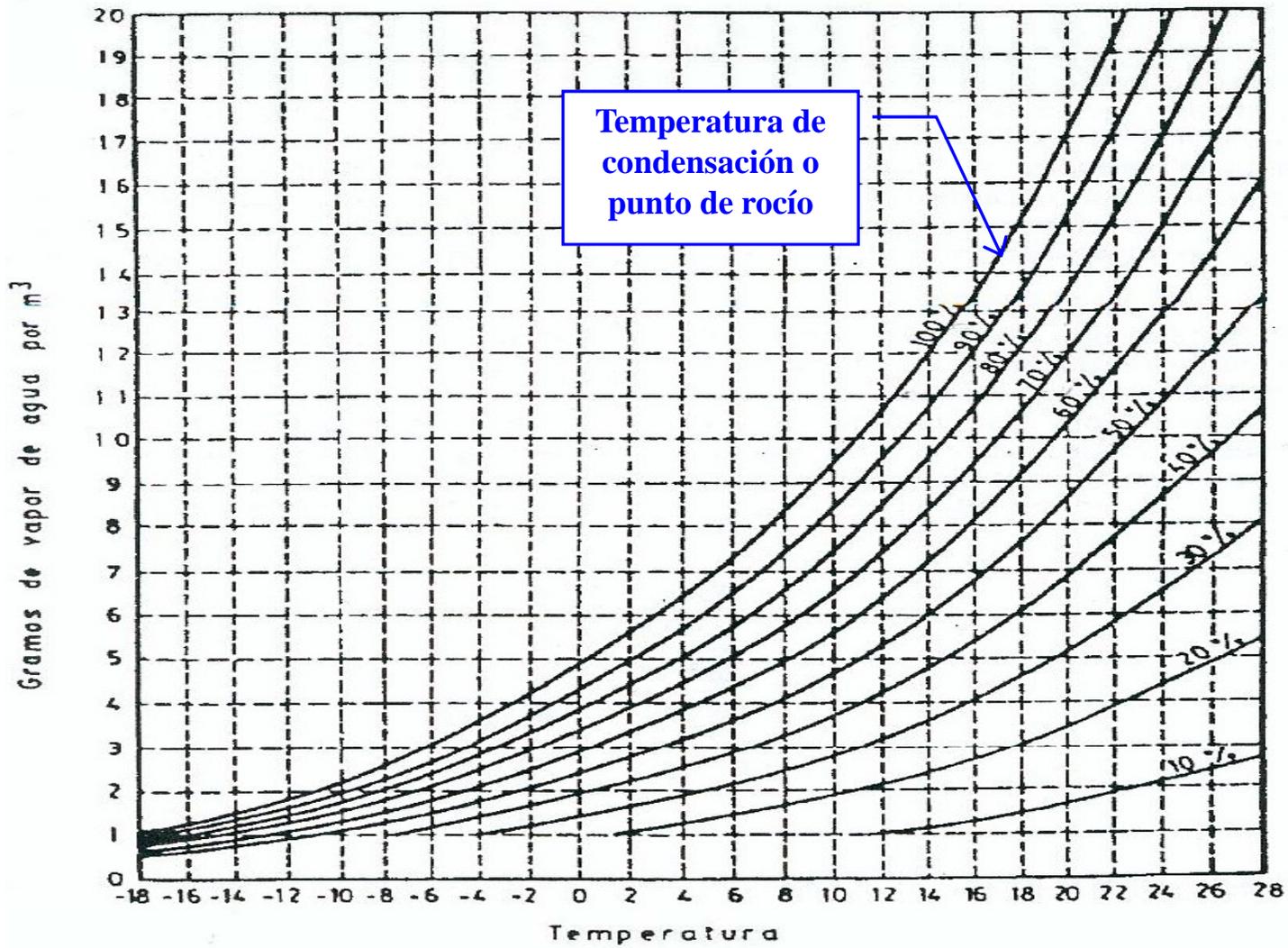
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$					
		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

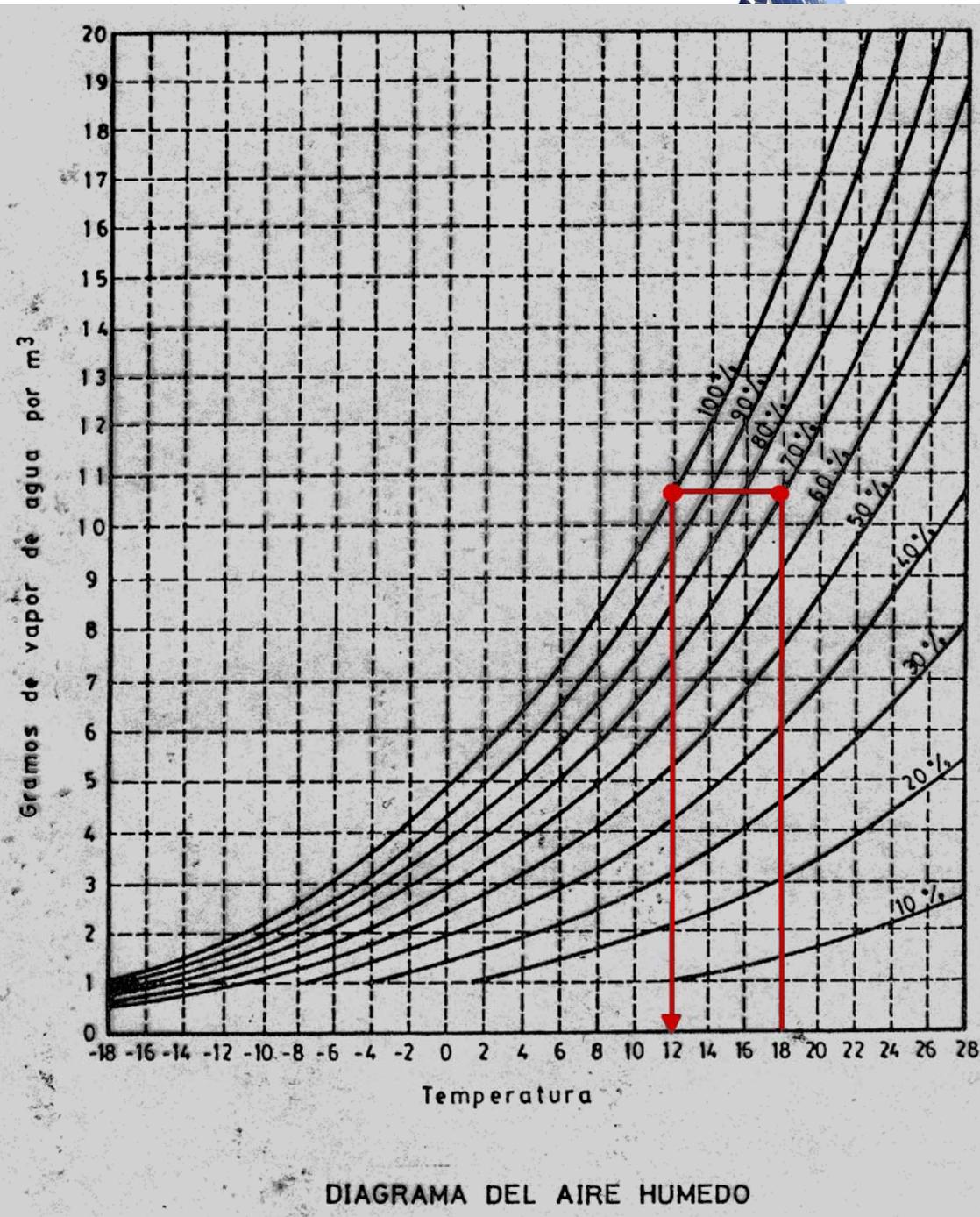
NOTAS

- Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar $R_{se} = 0$.
- Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de techumbres y descendente a través de los pisos.
- Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.



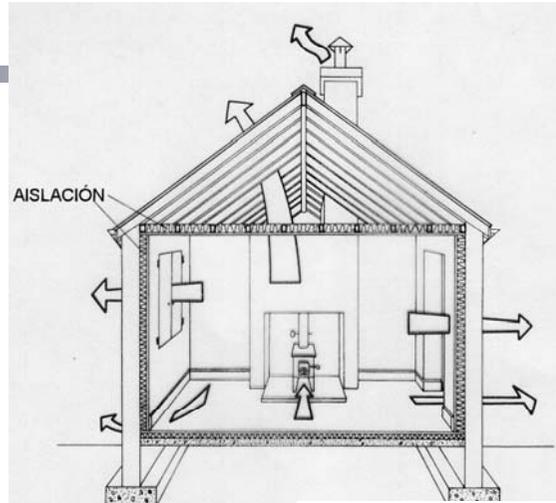
DIAGRAMA DE AIRE HÚMEDO





DISEÑO DE EDIFICACIONES

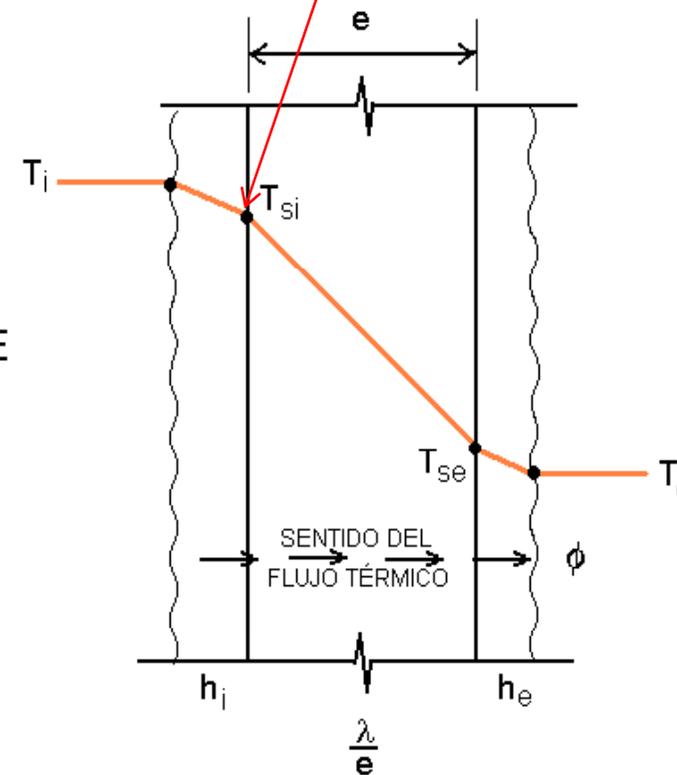
TES

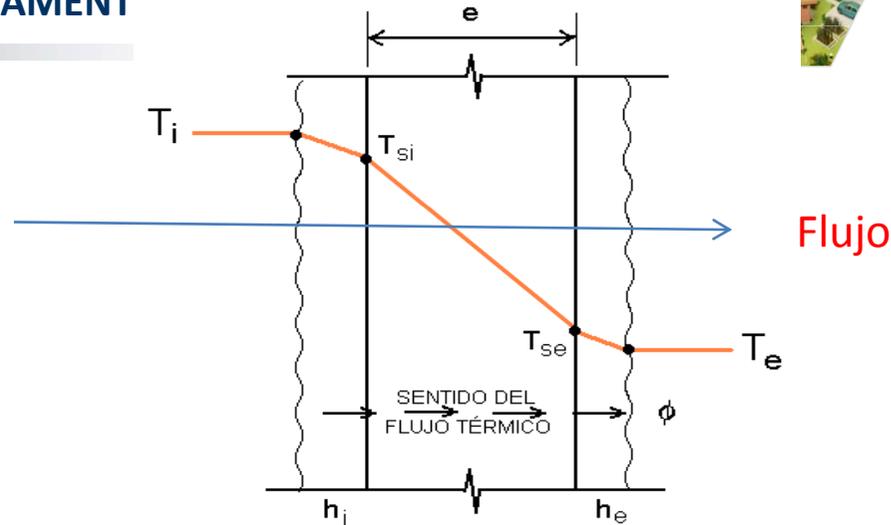


Temperatura superficial

I
AMBIENTE
INTERIOR

II
AMBIENTE
EXTERIOR





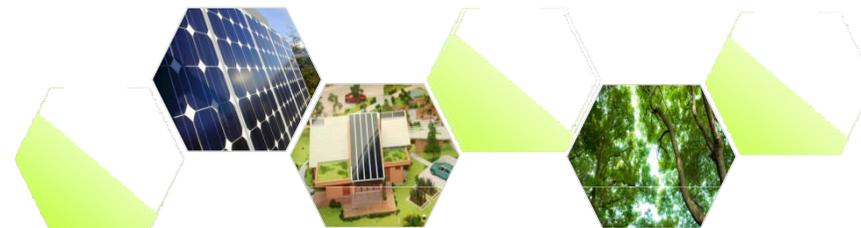
$$\phi_1 = U (T_i - T_e)$$

$$\phi_2 = h_i (T_i - T_{si})$$

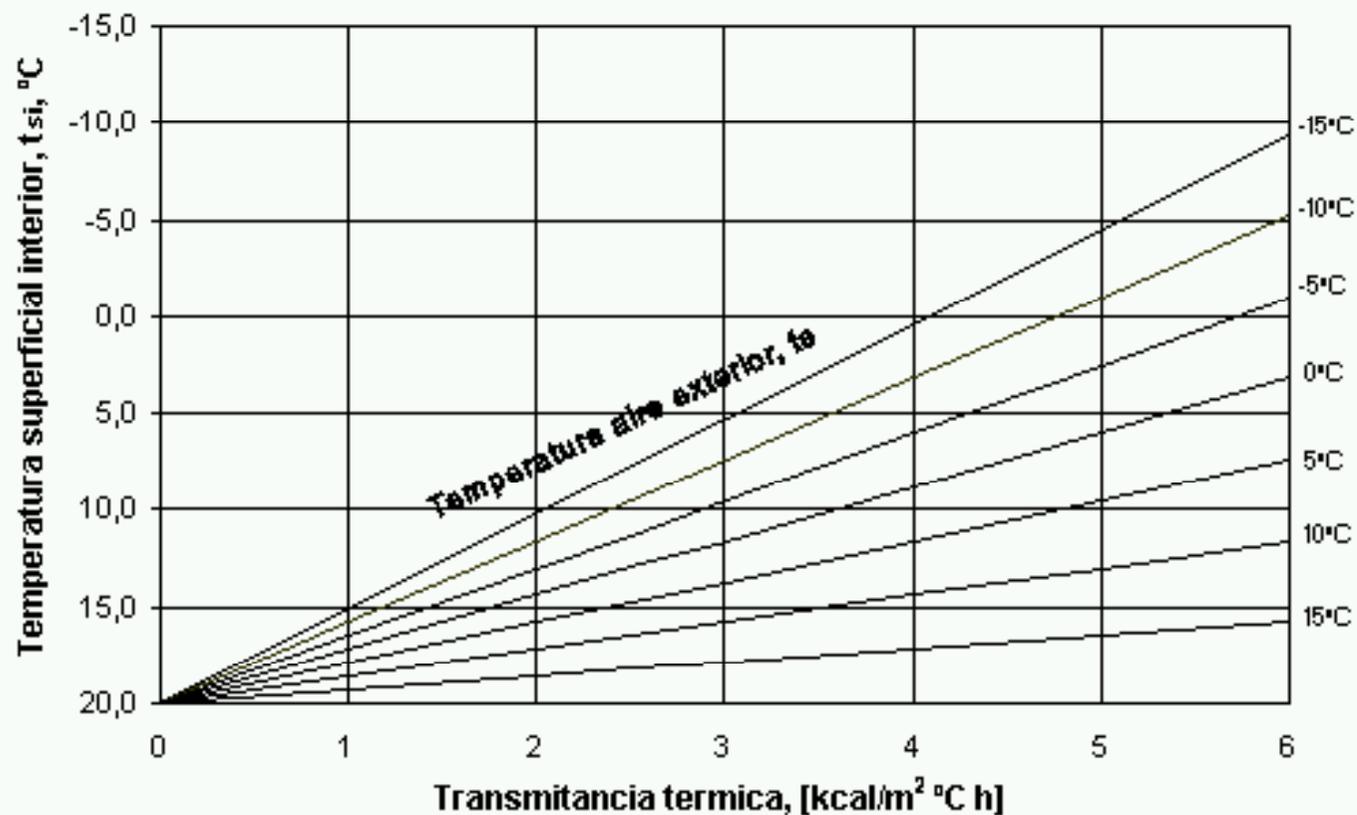
$$U (T_i - T_e) = h_i (T_i - T_{si})$$

$$T_{si} = t_i - \frac{U}{h_i} (t_i - t_e)$$

Si $t_{si} < t_r \Rightarrow$ **CONDENSACIÓN**



ABACO PARA CALCULAR LA
TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR, t_{si}





RESISTENCIA TÉRMICA MÍNIMA REQUERIDA PARA QUE NO SE PRODUZCA CONDENSACION

- **R_T = resistencia térmica total mínima requerida para que no se produzca condensación**
- **t_i = temperatura ambiente interior**
- **t_e = temperatura ambiente exterior**
- **r_{si} = resistencia térmica superficial**
- **t_r = temperatura de rocío**

$$R_T = \frac{(t_i - t_e) \bullet r_{si}}{t_i - t_r}$$

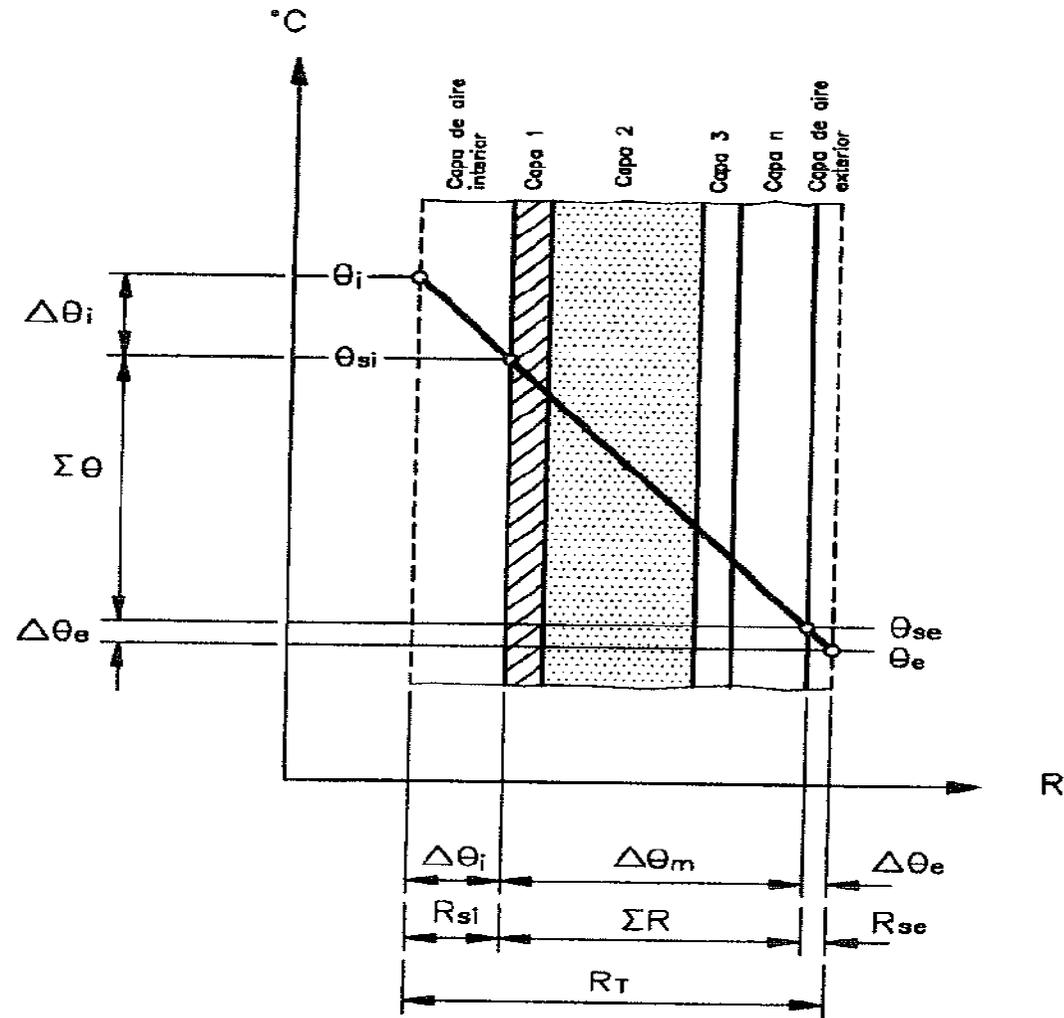


INCREMENTO DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS ELEMENTOS EXISTENTES

- El espesor mínimo del aislante térmico, de conductividad térmica λ , que se debe agregar a un muro, cuya resistencia térmica total es R_{T0} , queda dado por la expresión:

$$e = \lambda * (R_T - R_{T0}) , \text{ donde}$$

- e = espesor mínimo del aislante térmico;
- λ = conductividad térmica del aislante térmico
- R_T = resistencia térmica total necesaria para disminuir o eliminar el riesgo de condensación superficial; y
- R_{T0} = resistencia térmica total del elemento existente





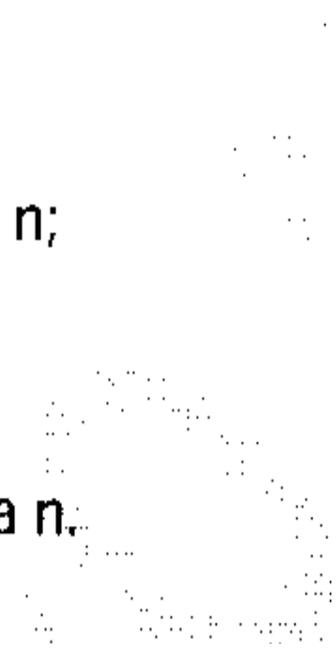
$$\Delta\theta_n = (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{e_n / \lambda_n}{R_T}$$

en que:

$\Delta\theta_n$ = caída de temperatura en la capa n;

e_n = espesor de la capa n;

λ_n = conductividad térmica de la capa n.





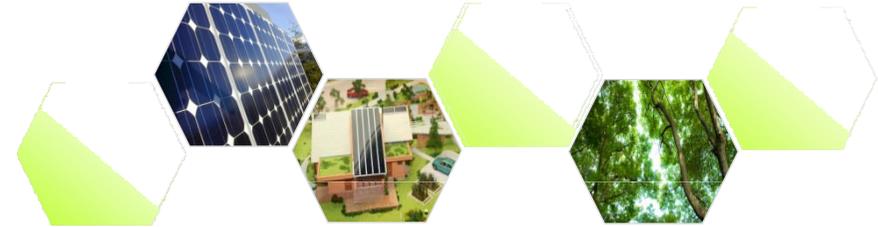
CALCULAR LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE UN MURO COMPUESTO POR TRES PRODUCTOS:

$e = 15 \text{ mm}; \lambda = 0,24 \text{ W/mK}$ (interior)

$e = 25 \text{ mm}; \lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (aislante térmico)

$e = 8 \text{ mm}; \lambda = 0,3 \text{ W/mK}$ (exterior)

La temperatura interior es de 20°C y la exterior de 5°C



Solución analítica

$$\Delta\theta_n = (\theta_i - \theta_e) \frac{e_n / \lambda_n}{R_T}$$

Punto 1

$$\Delta\theta_1 = (20 - 5) \frac{0,12}{0,76} = 2,37^\circ\text{C}$$

en consecuencia $\theta_{(1)} = 20 - 2,37 = 17,63^\circ\text{C}$



Punto 2

$$\Delta\theta_2 = (20 - 5) \frac{0,015 / 0,24}{0,76} = 1,23^\circ\text{C}$$

en consecuencia $\theta_2 = 17,63 - 1,23 = 16,40^\circ\text{C}$

Punto 3

$$\Delta\theta_3 = (20 - 5) \frac{0,025 / 0,05}{0,76} = 9,87^\circ\text{C}$$

en consecuencia $\theta_3 = 16,40 - 9,87 = 6,53^\circ\text{C}$



Punto 4

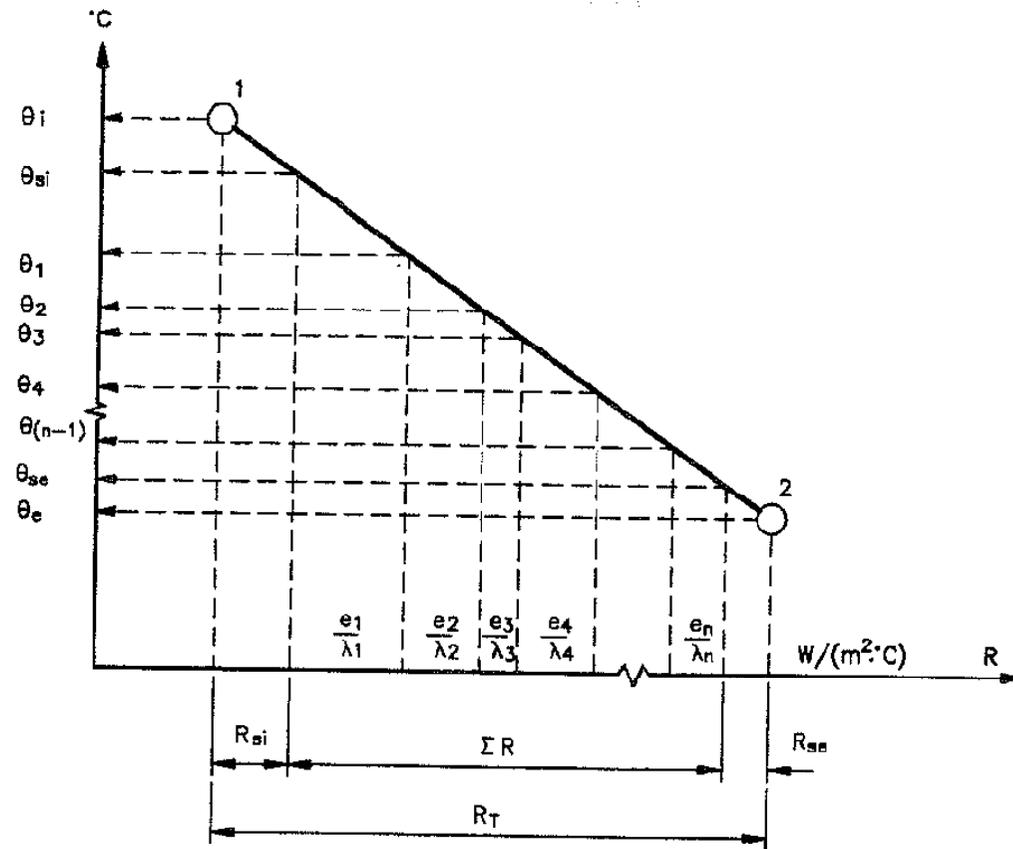
$$\Delta\theta_4 = (20 - 5) \frac{0,008 / 0,3}{0,76} = 0,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

en consecuencia $\theta_4 = 6,53 - 0,53 = 6,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

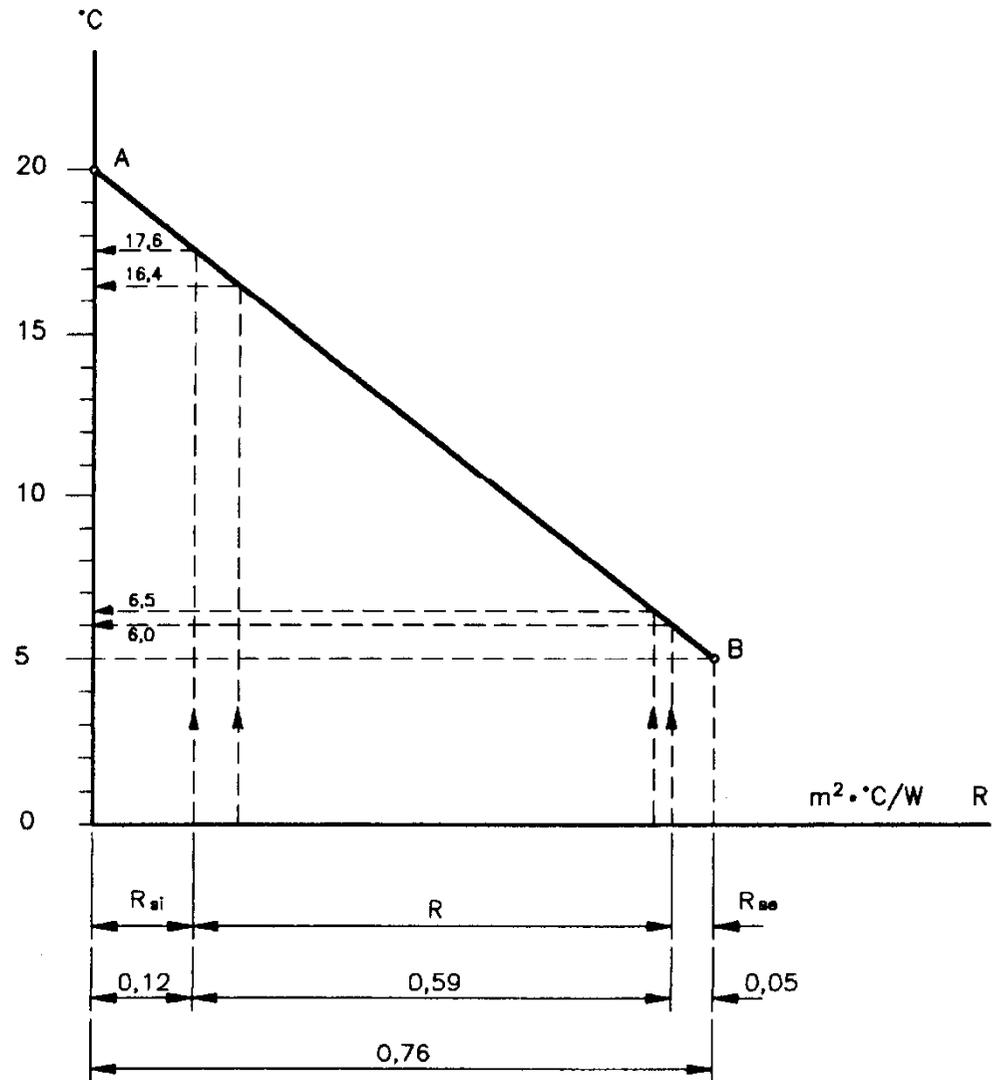


Solución gráfica

El método consiste en calcular la resistencia térmica de cada capa R , colocando su valor en el eje de las abscisas en forma consecutiva, $R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$ y en el eje de las ordenadas la temperatura. Tomando papel milimetrado se elige una escala adecuada de modo que dé la precisión deseada. Se traza una recta entre el punto A (temperatura interior y $R = 0$) y el punto B (temperatura exterior, $R_t = 0,76$



DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

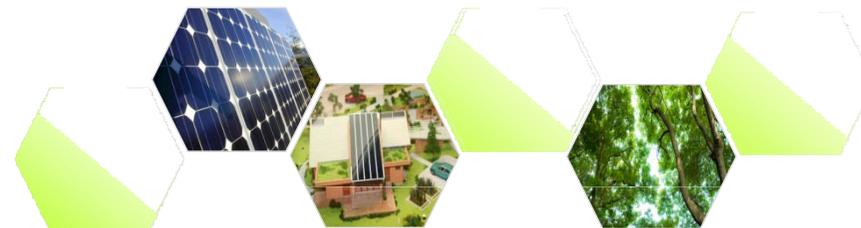




FACTOR DE DESEQUILIBRIO TÉRMICO

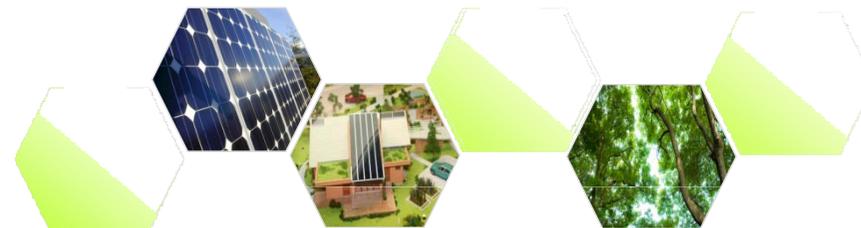
LOS EFECTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENCIAS ENTRE LA RESISTIVIDAD TÉRMICA Y LA RESISTIVIDAD AL VAPOR , SE PUEDEN CUANTIFICAR CON UN COEFICIENTE DENOMINADO FACTOR DE DESEQUILIBRIO TÉRMICO.

$$f_{dt} = r/r_v$$



RESISTENCIAS TERMICAS DE BARRERAS DE VAPOR

BARRERA DE VAPOR	r_v (MPa.m ² .s/g)
Papel Kraft	0,43
Papel vinílico	5 -10
Pintura al esmalte	7,5 - 40
Polietileno de 0,10 mm	230
Polietileno de 0,05 mm	103



FACTORES DE DESEQUILIBRIO HIGROTÉRMICO

MATERIAL	FACTOR DE DESEQUILIBRIO TERMICO
BLOQUE DE HORMIGÓN	0,027
CARTÓN YESO	0,111
ESPUMA DE POLIURETANO	0,453
HORMIGÓN ARMADO	0,006
LADRILLO MACIZO	0.021
LANA DE ROCA	2,480
LANA DE VIDRIO	3,268
MADERA DE CONÍFERA	0,1119
POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,127
TABLERO AGLOMERADO	0,313