



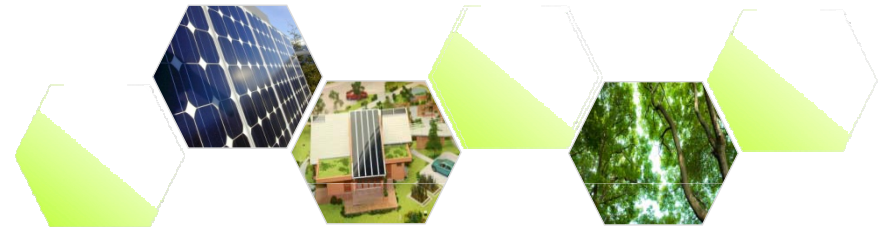
Universidad de Chile

DIPLOMA DE POSTÍTULO

DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

DISEÑO DE ENVOLVENTE DE ALTA EFICIENCIA

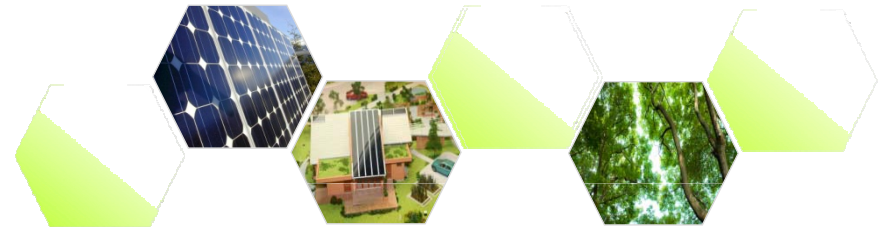
Miguel Bustamante S.
miguel.bustamante@idiem.cl



Conductividad térmica, λ : Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras.

Se expresa en $W / (mK)$.

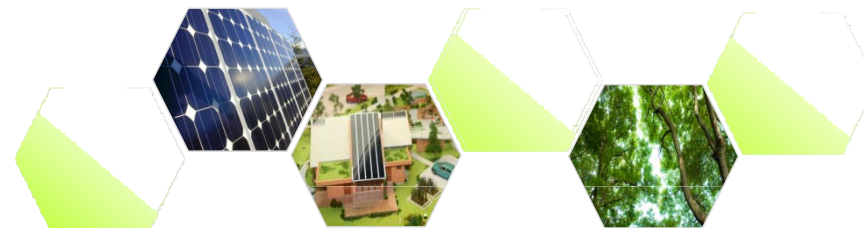
Transmitancia térmica, U : Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $W/(m^2K)$.



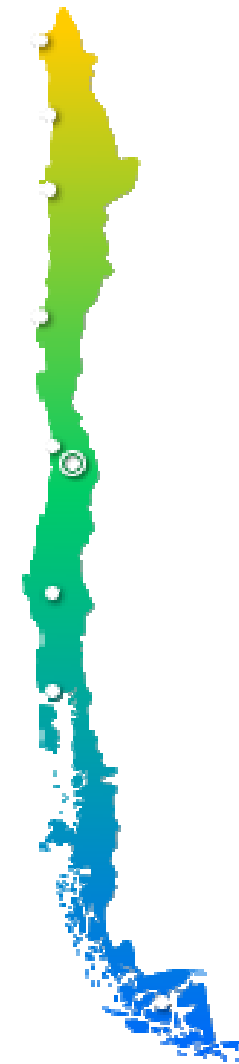
Transmitancia térmica lineal, K_l : Flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura. Se expresa en $W / (mK)$.

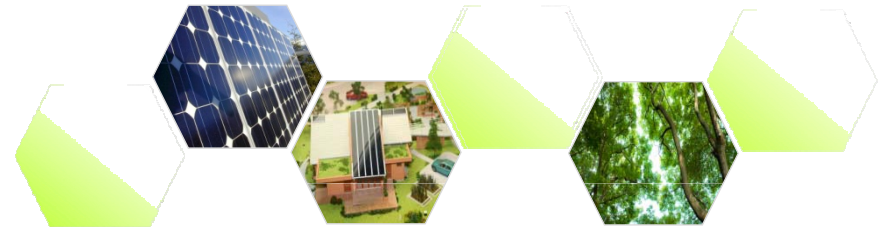
Resistencia térmica, R : Oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. Se expresa en $(m^2K) / W$.

Resistencia térmica total: Inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa del elemento. Se expresa en $(m^2K) / W$.



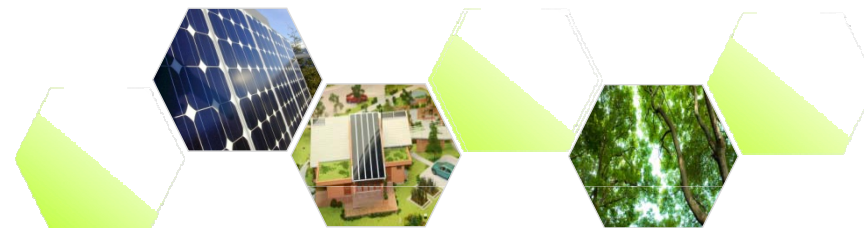
NL NORTE LITORAL
ND NORTE DESERTICA
NVT NORTE VALLE TRANSVERSAL
CL CENTRAL LITORAL
CI CENTRAL INTERIOR
SL SUR LITORAL
SI SUR INTERIOR
SE SUR EXTREMO
AN ANDINA





DATOS

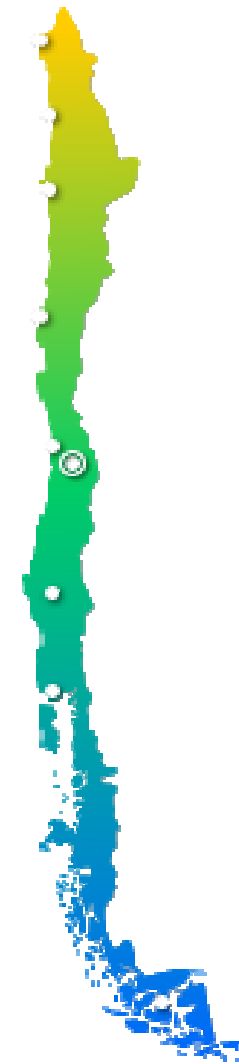
- Temperatura
- Insolación
- Soleamiento
- Humedad relativa
- Nubosidad
- Precipitación
- Vientos predominantes
- Heladas
- Orientación de muros que requieren protección contra el sol
- Pendiente de cubierta, valores mínimos

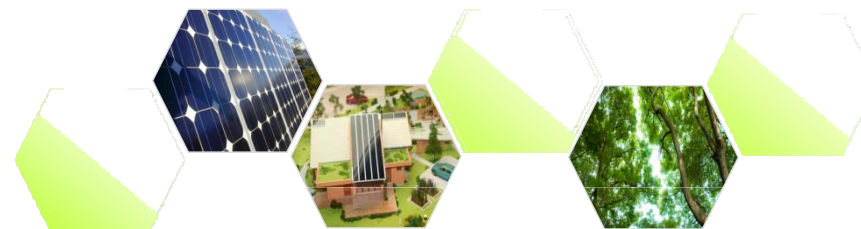


CI CENTRAL INTERIOR

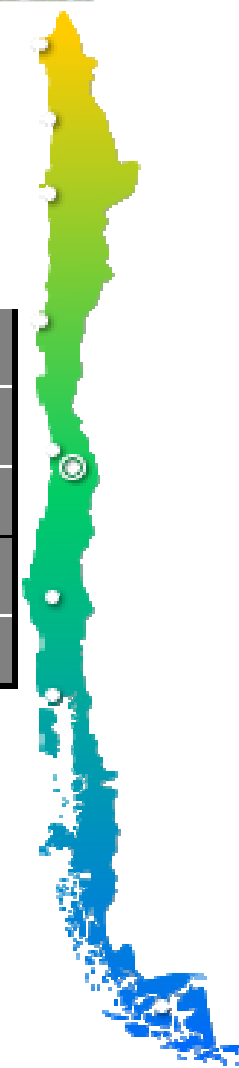
ZONA DE CLIMA MEDITERRÁNEO. Temperaturas templadas. Inviernos de 4 a 5 meses. Vegetación normal. Precipitaciones y heladas en aumento hacia el sur. Insolación intensa en verano, especialmente hacia el NE. Oscilación diaria de temperatura moderada, aumentando hacia el este. Vientos principalmente de componente SW.

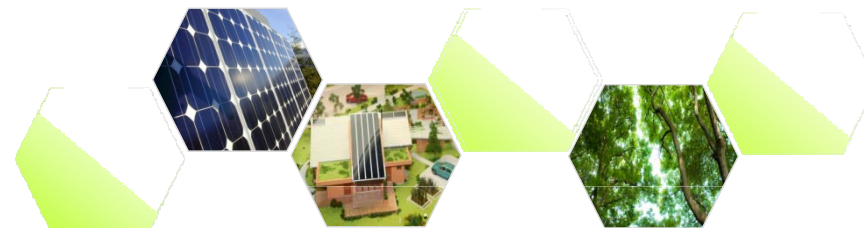
CIUDADES: San Felipe, Los Andes, Santiago, Rancagua, Curicó, Talca, Linares, Cauquenes, Chillan.





MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ARICA	22,0	22,3	21,4	19,5	17,6	16,4	15,6	15,7	16,3	17,5	19,1	20,6
ANTOFAGASTA	20,0	19,9	18,7	16,8	15,2	14	13,4	13,7	14,3	15,5	16,9	18,7
SANTIAGO	20,2	19,1	16,7	13,1	10,0	7,7	7,3	8,6	10,6	13,6	16,6	19,2
PUERTO MONTT	14,3	13,6	12,1	10,1	8,8	6,7	6,6	6,8	7,8	9,6	11,6	13,4





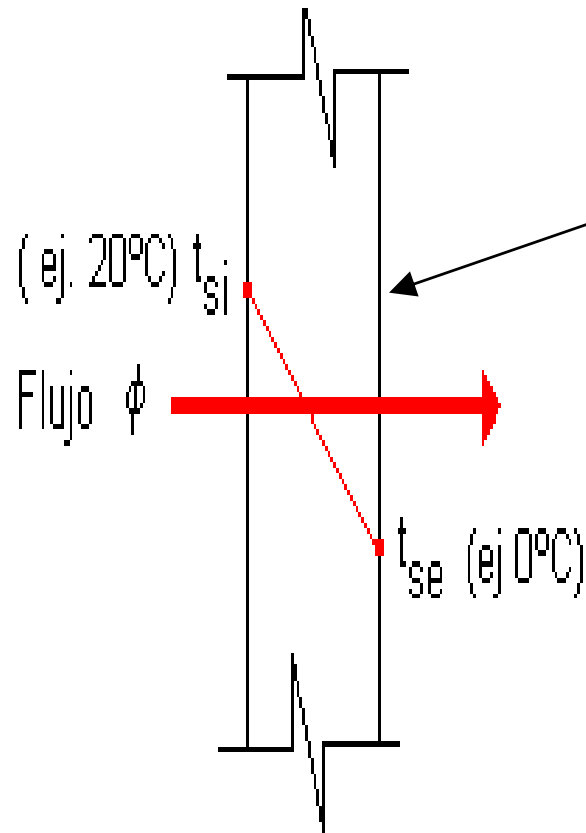
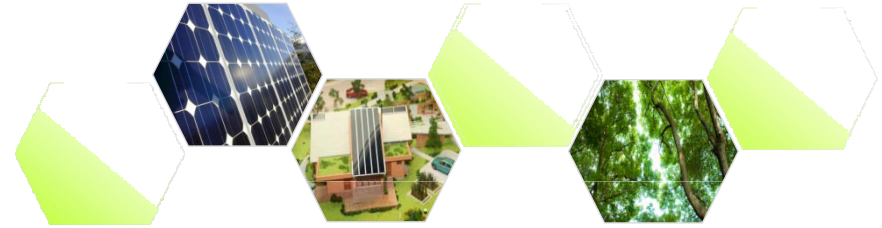
REGISTRO DE PRECIPITACIONES, mm

ANUAL SANTIAGO = 312,5 Max. 24 horas = 111,1 mm

ANUAL PUERTO MONTT = 1802,5 Max. 24 horas = 133,0 mm

ANUAL CONCEPCIÓN = 1110,1 Max. 24 horas = 162,4 mm

ANUAL VALDIVIA = 1871,0 Max. 24 horas = 175,4 mm

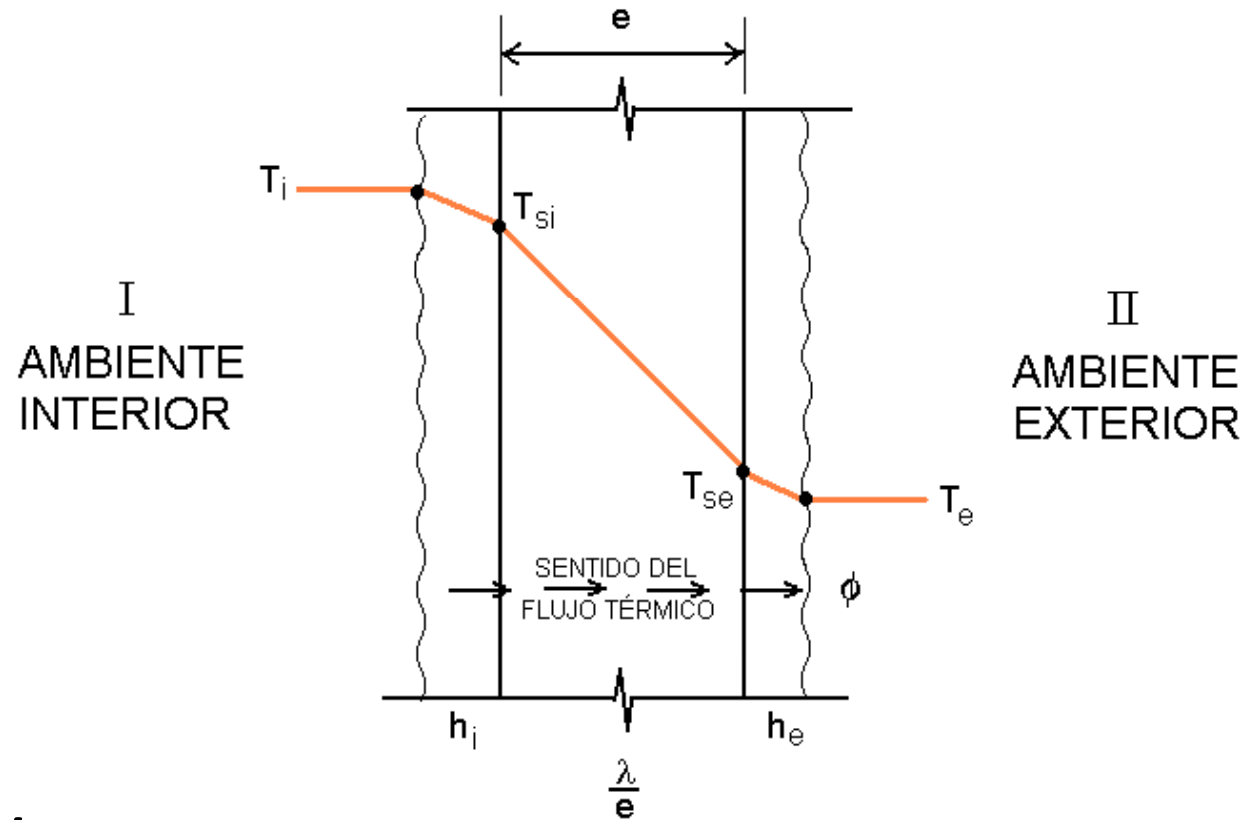
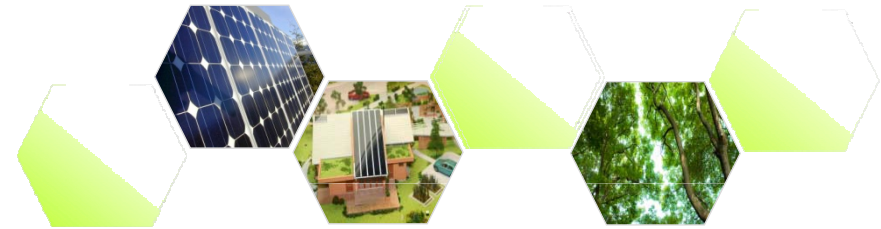


**Elemento
simple**

$$\phi = \frac{\text{calor}}{\text{tiempo}} \Rightarrow \left[\frac{\text{kcal}}{h} \right];$$

$$[W]; \text{ watt}$$

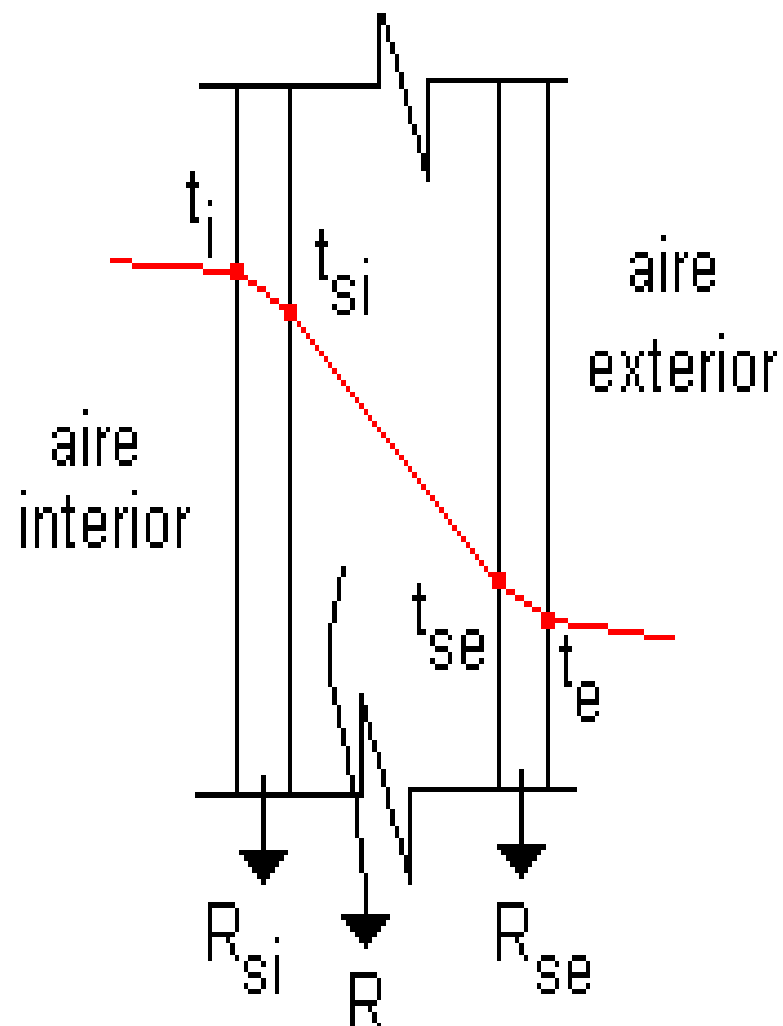
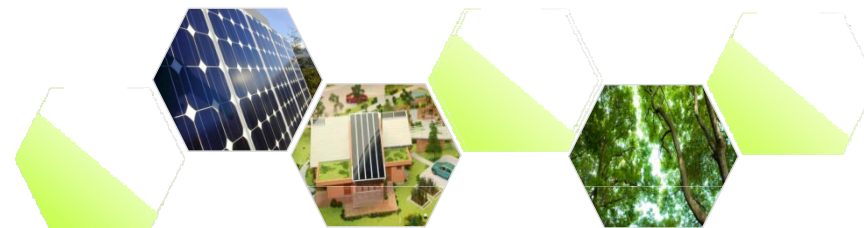
FLUJO TÉRMICO A TRAVÉS DE UN MURO

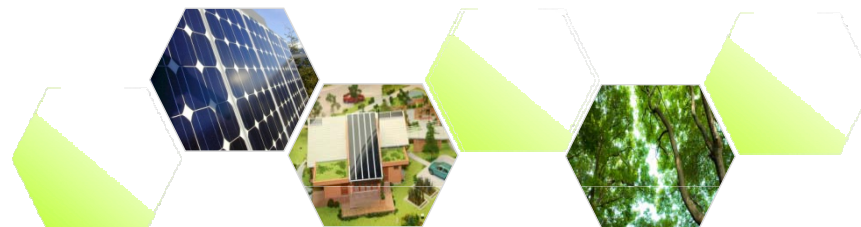


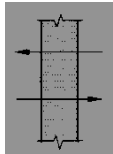
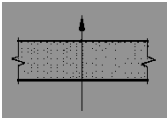
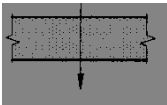
$$R = 1/U \quad (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$$

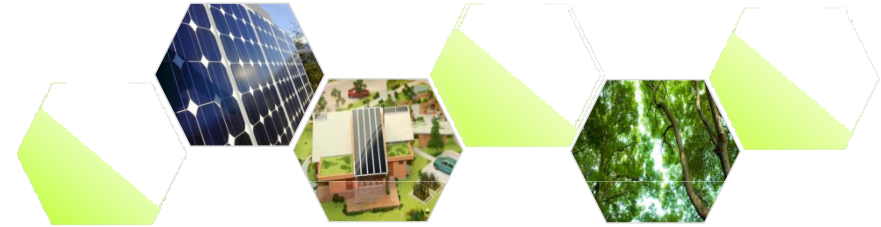
$$U = 1/R \quad \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$U = \frac{\phi}{A(T_2 - T_1)}$$

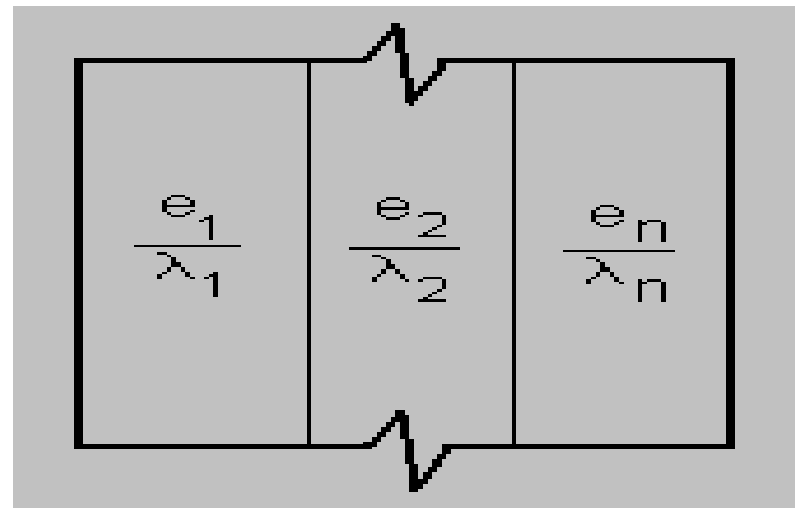




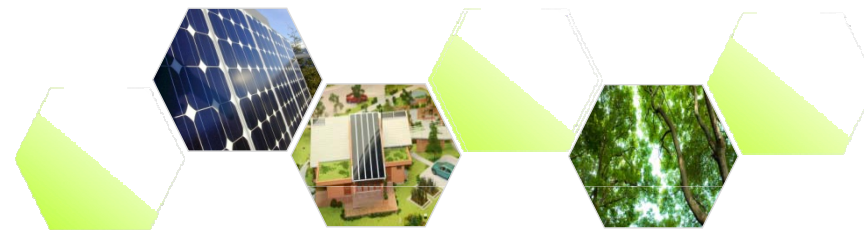
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en Elementos Verticales o con pendiente mayor de 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 a 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 a 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34



ELEMENTOS COMPUESTOS POR VARIAS CAPAS HOMOGENEAS.



$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

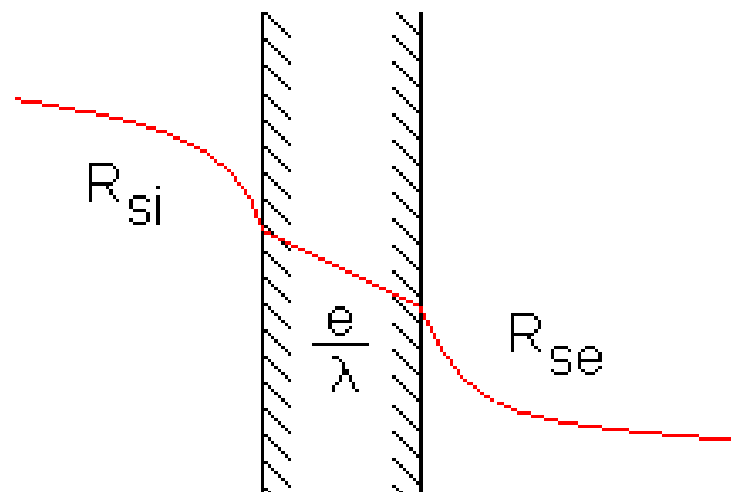


$$e = 0.1 \quad m$$

$$\lambda = 0.6 \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

$$R_{si} = 0.12 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

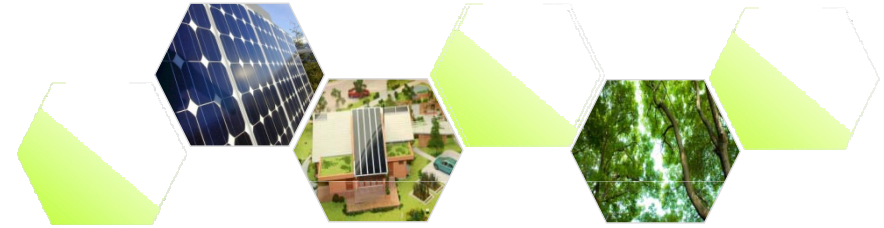
$$R_{se} = 0.05 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$



$$U = 1.5 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_t = 0.66 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

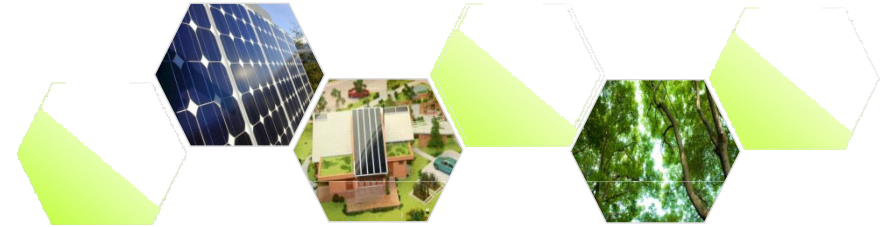
PROYECTO



$$R_t = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (NCh853)$$

$$R_t = 0.12 + \frac{0.1}{0.6} + 0.05 = 0.34 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

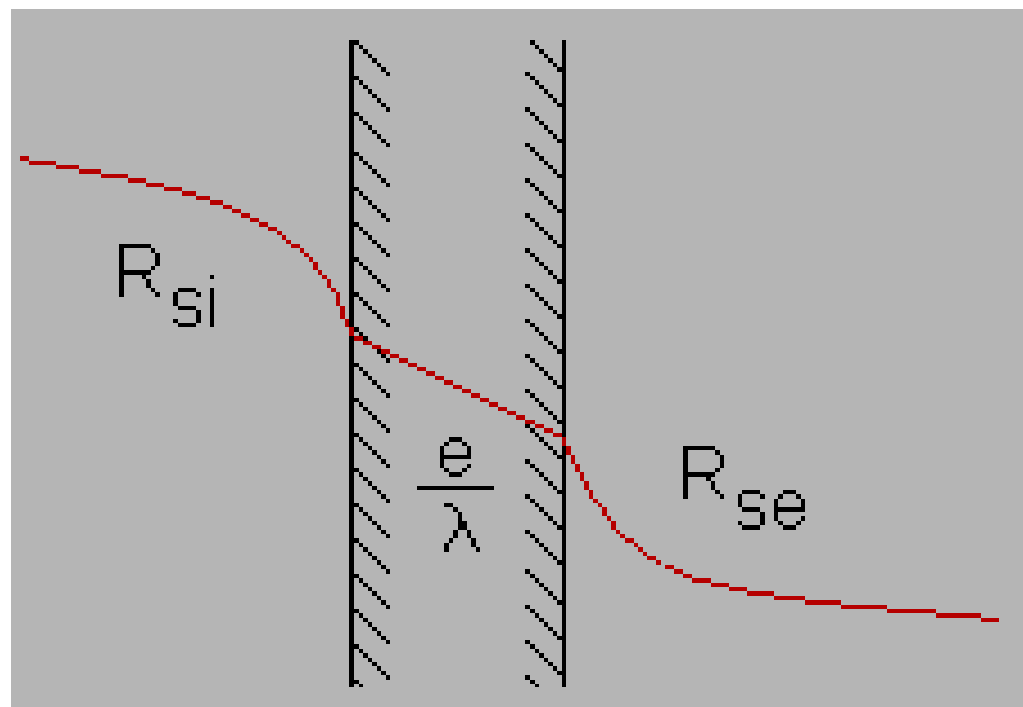
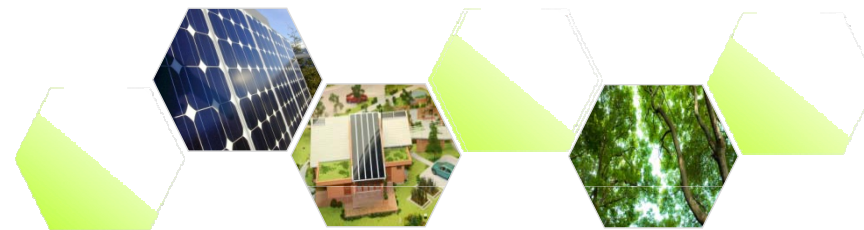
Como: $U = \frac{1}{R_t}$ $\Rightarrow$ $U = 3.0 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$ No Cumple

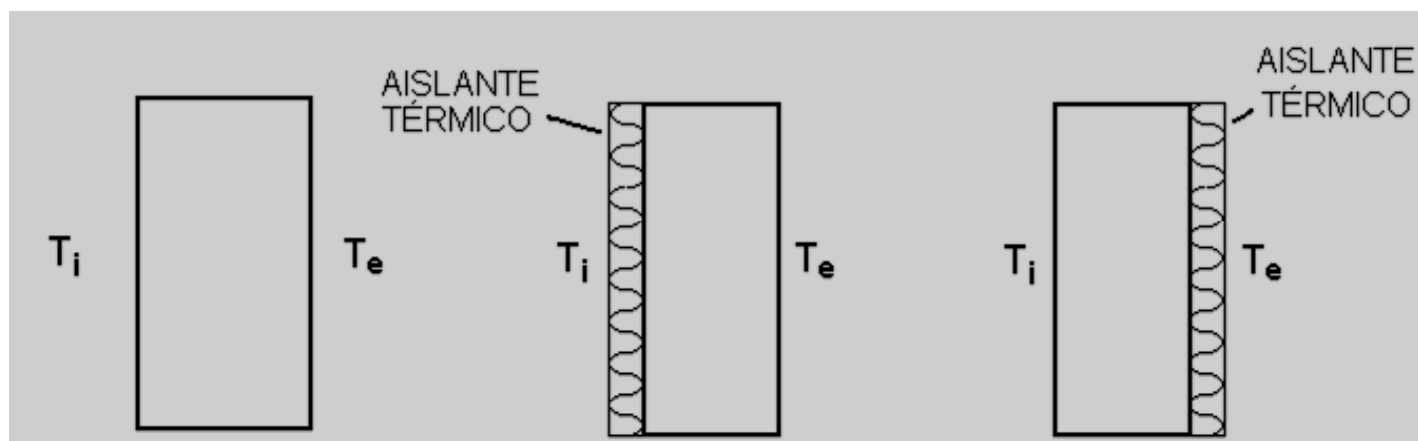
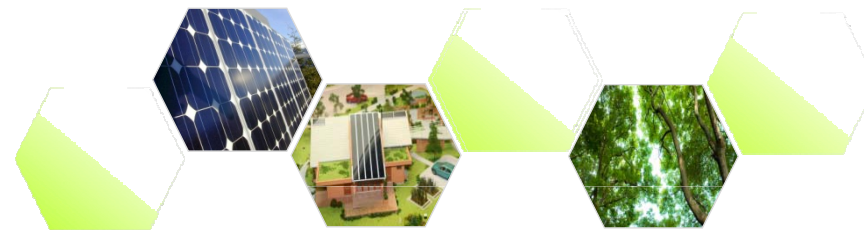


$$R_t = 0.17 + \frac{0.2}{0.6} = 0.50 \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

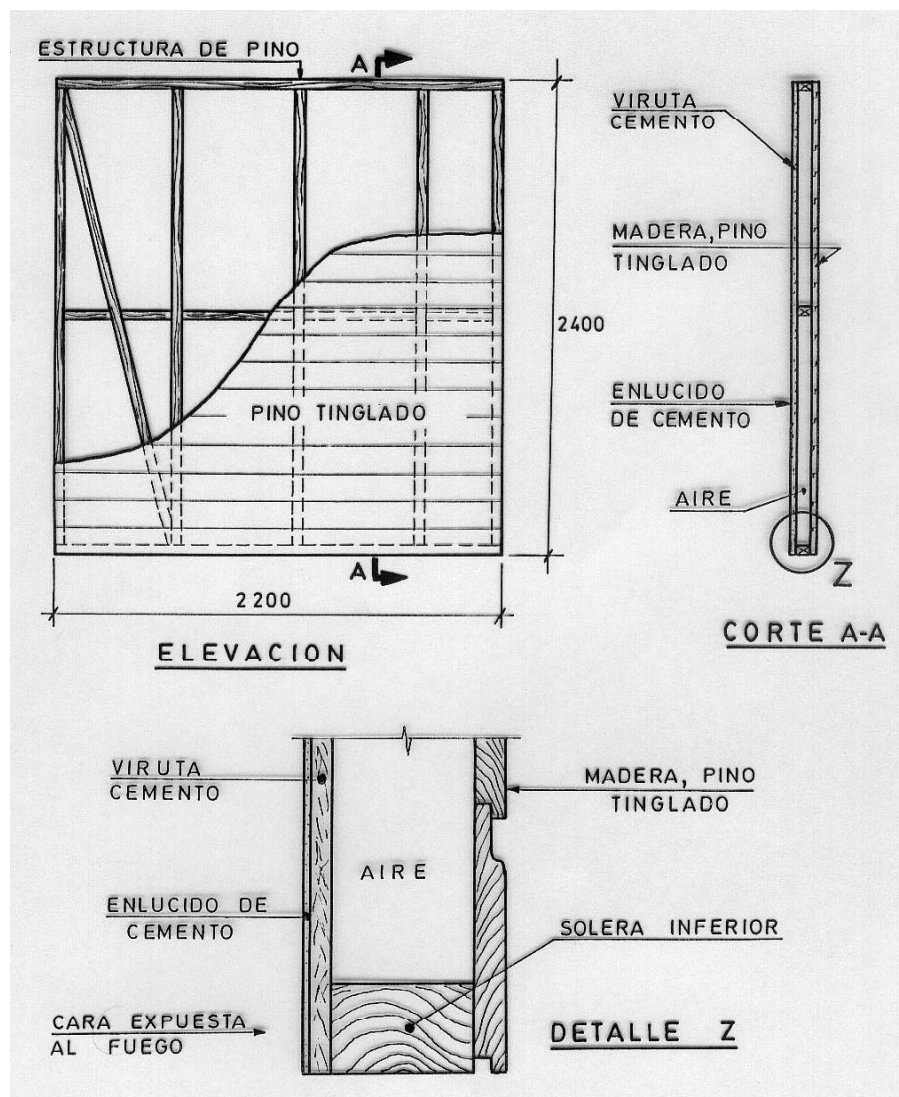
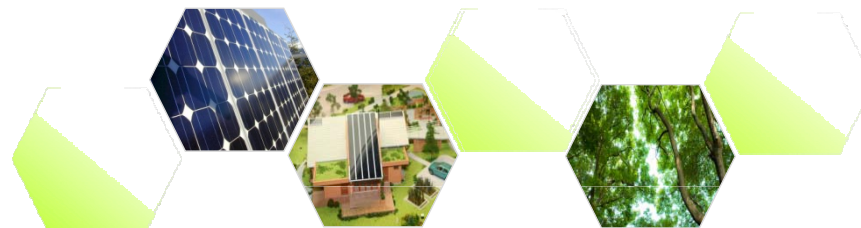
Luego : $U = 2.0 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$ **No Cumple**

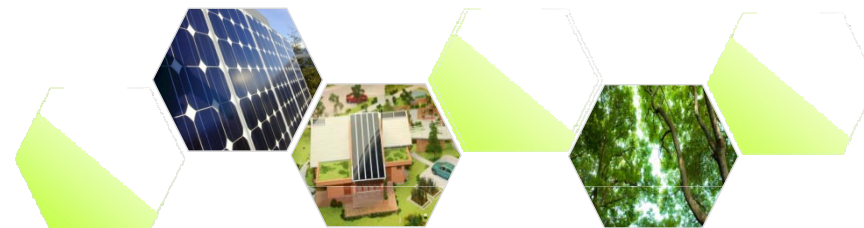
se logra con 0.3 m





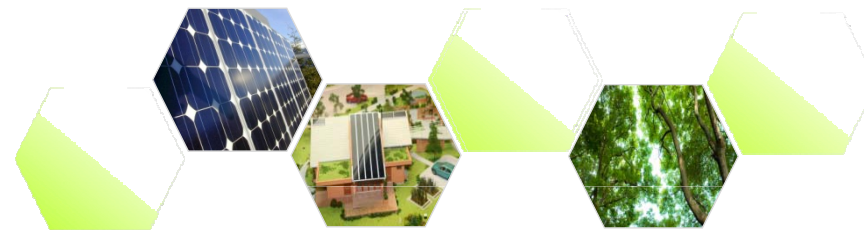
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES



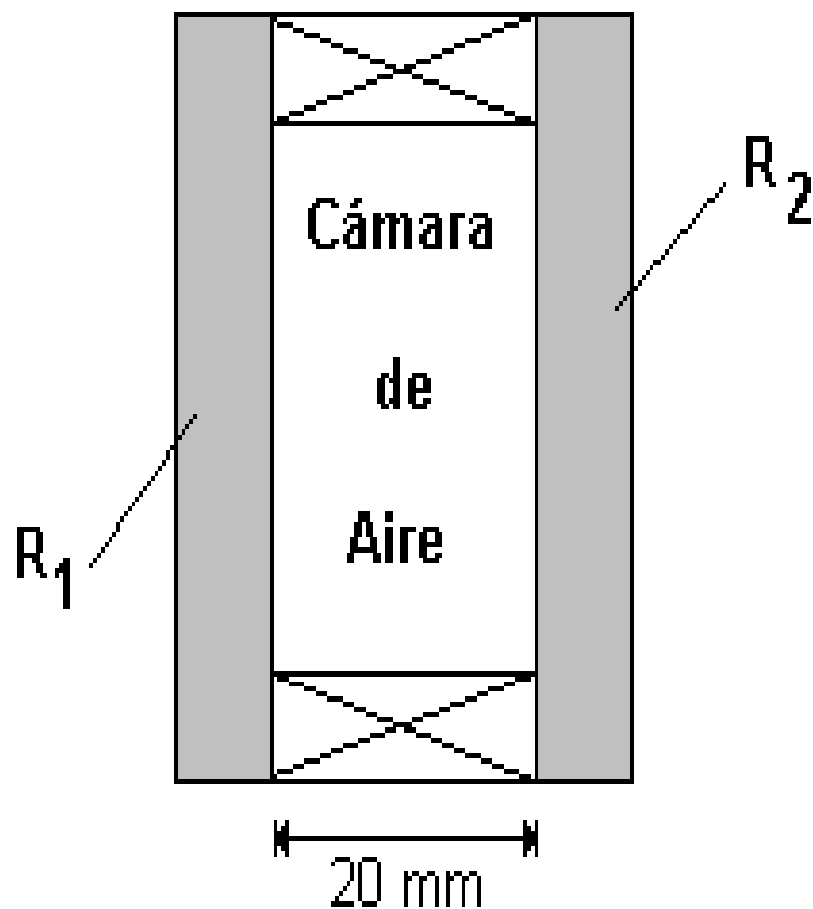


$$\frac{1}{E} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$$

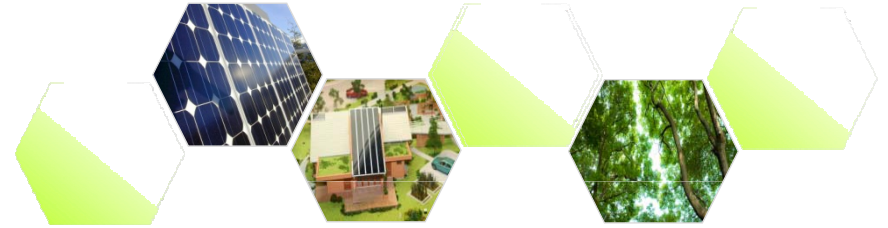
E = Emisividad total de la cámara
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = Emisividades de las superficies en contacto con la cámara considerada



CASO I: ELEMENTOS CON CÁMARA DE AIRE NO VENTILADA



$$R_t = R_{si} + R_1 + R_g + R_2 + R_{se}$$



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

R_t = Resistencia total

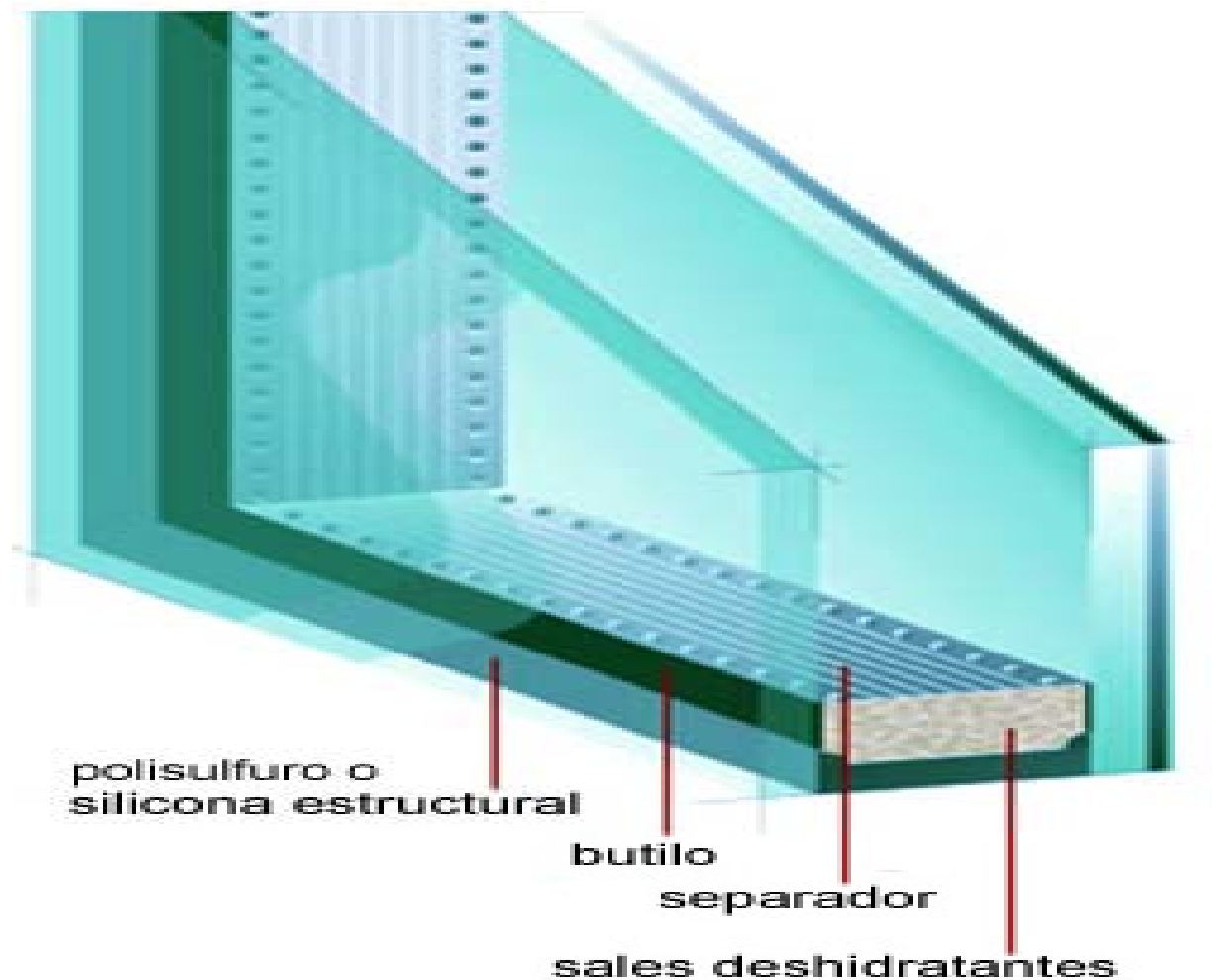
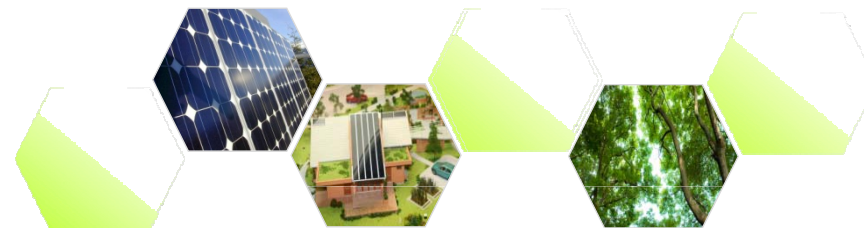
R_{si} = Resistencia superficial interior

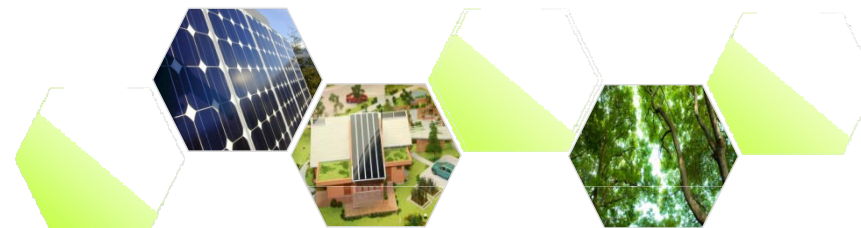
R_g = Resistencia de cámara de aire

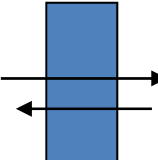
R_m = Resistencia del material

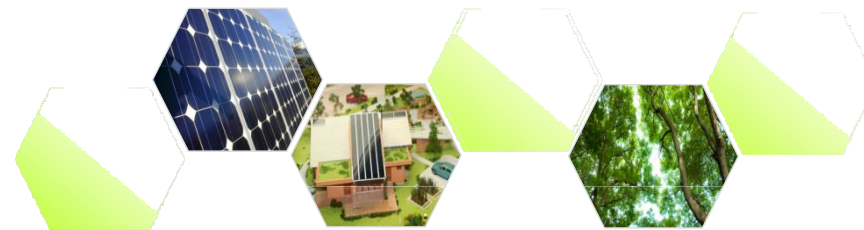
R_{se} = Resistencia superficial exterior

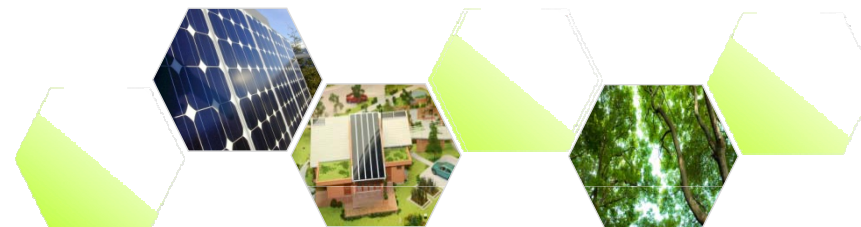
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

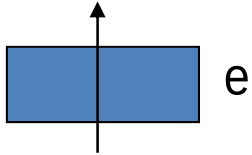


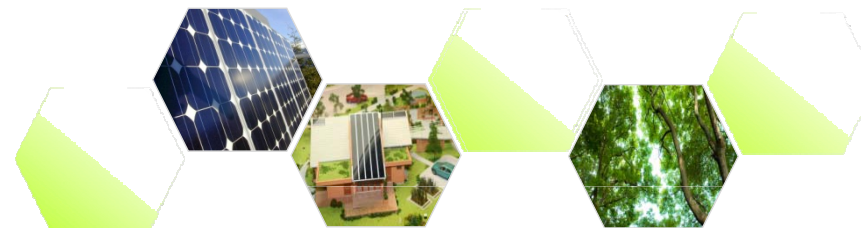


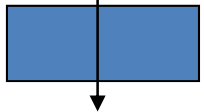
Espesor mm e 	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	$(m^2 K)/W$			
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,140	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,46	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,165	0,37	0,46	0,55
35	0,165	0,37	0,46	0,55
$e \geq 40$	0,165	0,37	0,46	0,55



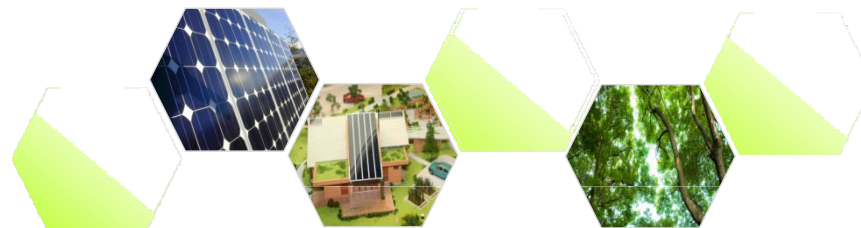


Espesor, mm 	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	$(\text{m}^2 \text{ K})/\text{W}$			
5	0,10	0,16	0,17	0,19
10	0,13	0,23	0,26	0,29
15	0,13	0,25	0,29	0,32
20	0,14	0,25	0,29	0,33
30	0,14	0,26	0,31	0,35
40	0,14	0,27	0,32	0,36
50	0,14	0,28	0,33	0,37
60	0,14	0,28	0,34	0,38
70	0,14	0,29	0,34	0,39
80	0,15	0,30	0,35	0,40
90	0,15	0,30	0,35	0,40
$e \geq 100$	0,15	0,30	0,35	0,40

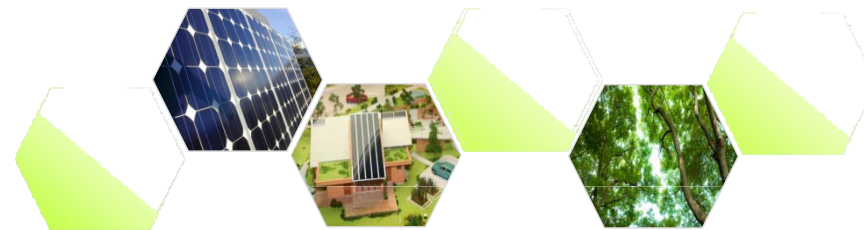


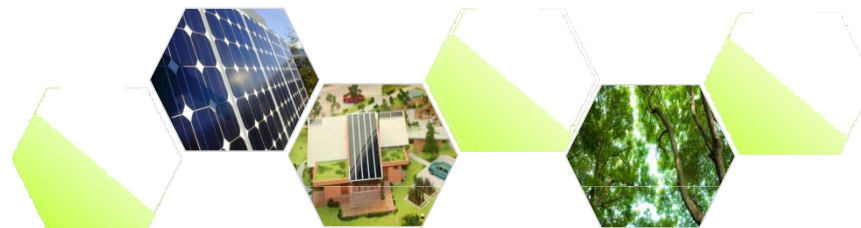
Espesor de la cámara, mm  e	Emisividad total, E			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	(m² K)/W			
5	0,09	0,16	0,20	0,20
10	0,14	0,29	0,34	0,37
15	0,16	0,36	0,45	0,52
20	0,17	0,42	0,55	0,65
25	0,17	0,47	0,63	0,76
30	0,175	0,51	0,68	0,87
40	0,185	0,57	0,77	1,03
50	0,19	0,60	0,84	1,15
60	0,19	0,61	0,89	1,25
70	0,19	0,62	0,94	1,33
80	0,20	0,63	1,00	1,46
90	0,20	0,63	1,00	1,46
e ≥ 100	0,20	0,63	1,00	1,46

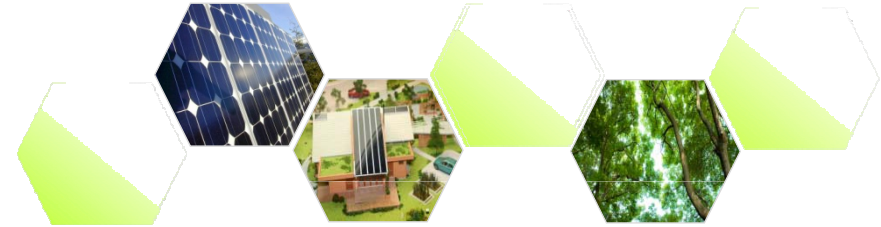
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES



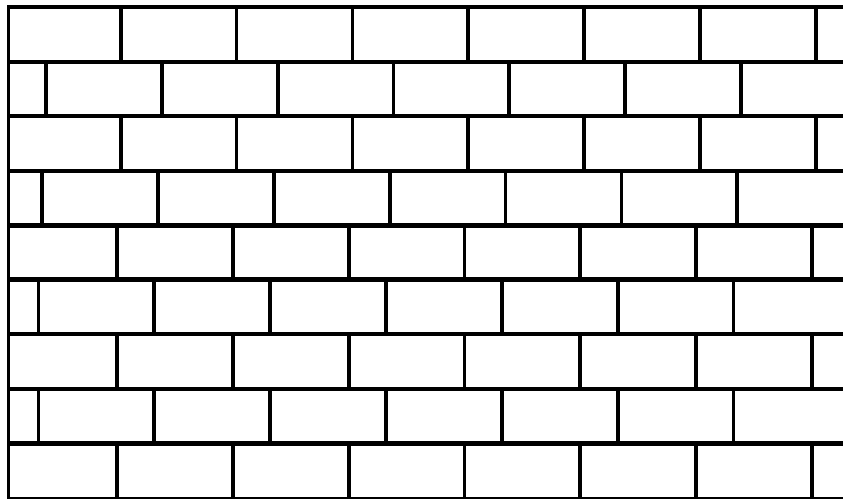
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES







Elementos con heterogeneidades simples:

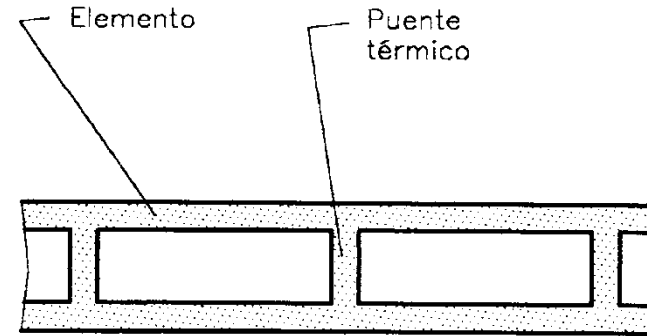
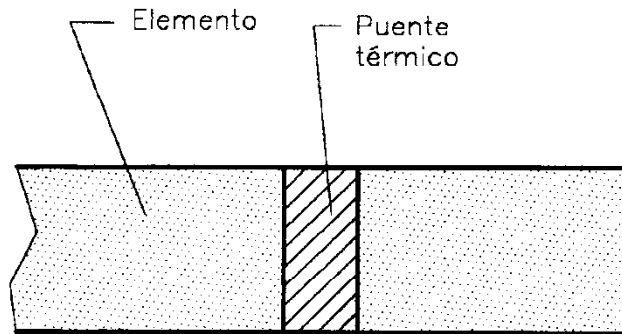
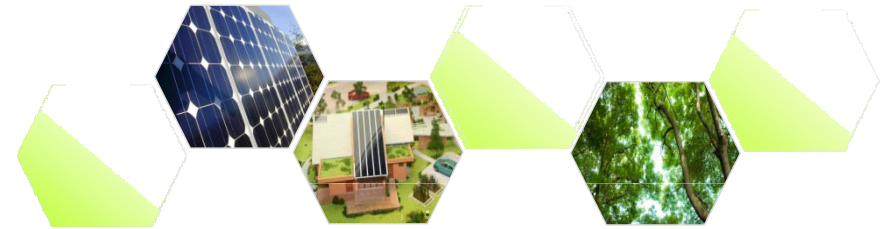


Por ejemplo:

Muros con ladrillos no
industrializados

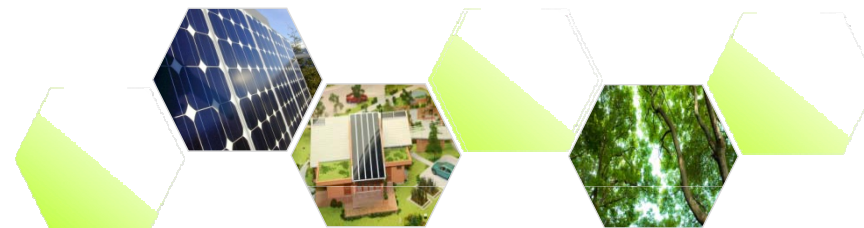
Muros con bloque huecos de
hormigón

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



Un **puente térmico** es una zona donde se transmite más fácilmente el [calor](#), por ser de diferente material o espesor.

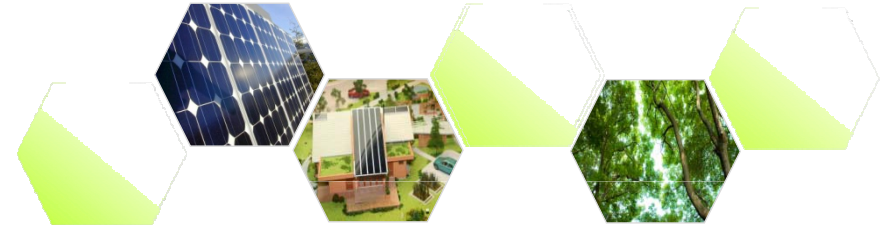
$$\overline{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$



$$\varphi = U \cdot (t_i - t_e)$$

↓ ↓ ↓

Energía Diseño Clima



Flujo de calor a través de un elemento de transmitancia U.

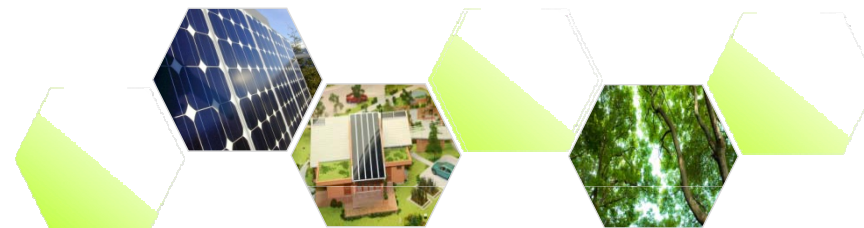
$$\Phi = U \times S \times \Delta T$$

Φ = Flujo térmico

U = Transmitancia Térmica

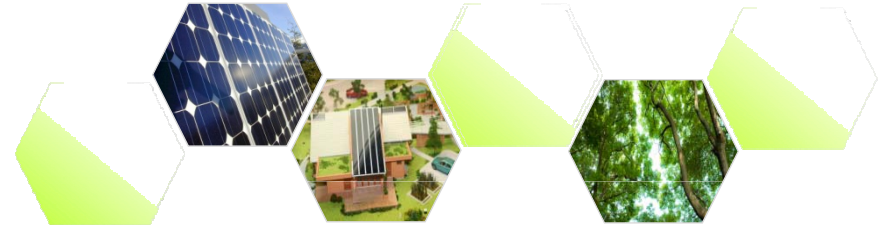
S = Superficie

ΔT = Diferencia de temperatura



Flujo de calor

$\emptyset$	W	cal/s	Kcal /h	BTU/H
W	1	0,2388	0,8598	3,412
cal/s	4,1868	1	3,6	14,29
Kcal/h	1,163	0,2778	1	3,968
BTU/h	0,2931	0,2931	0,252	1



$$\phi_v = n \times C_{ev} \times V \times \Delta T$$

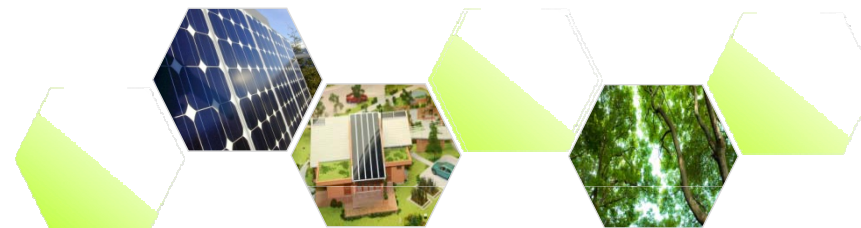
Donde

N = Número de renovaciones de aire

C_{ev} = Calor específico volumétrico

V = Volumen

ΔT = Diferencia de temperatura



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

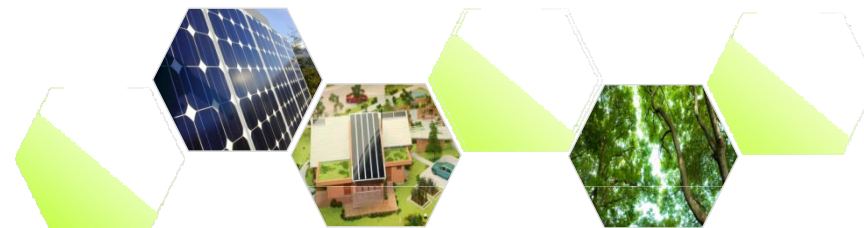
Donde

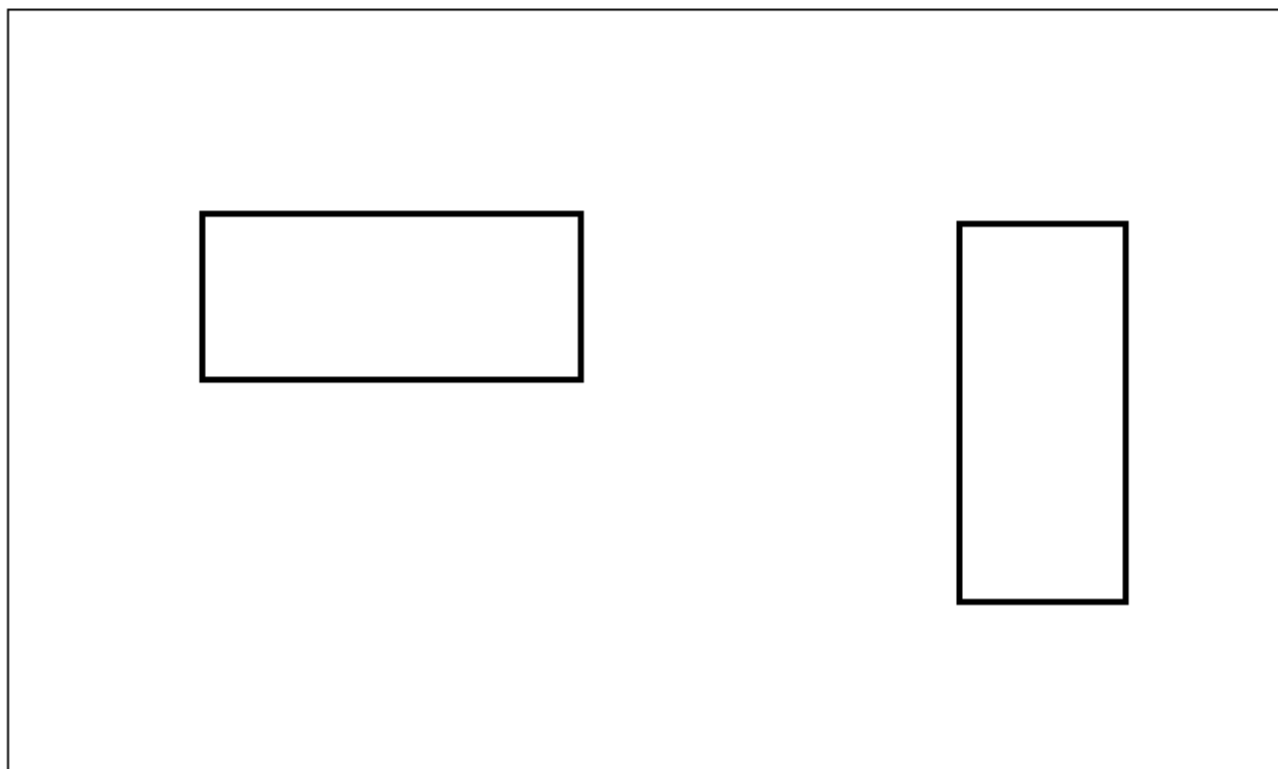
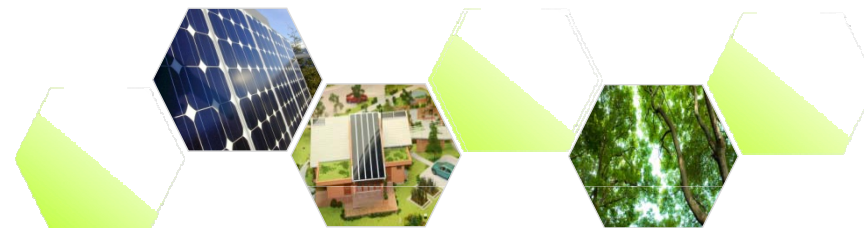
K_l = Transmitancia térmica lineal , W / (mk)

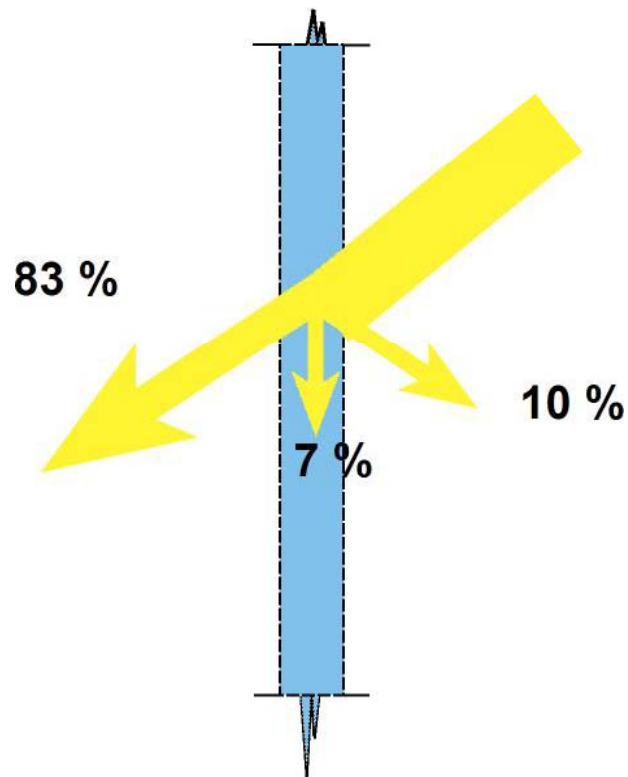
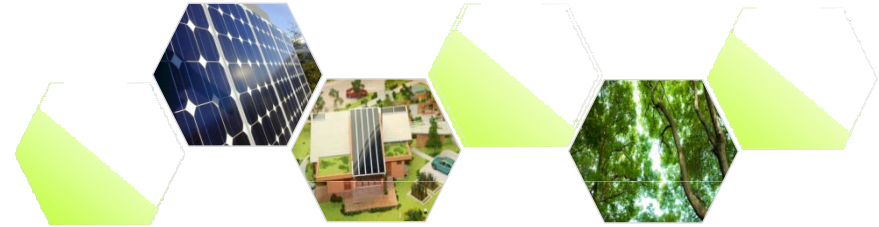
P = Perímetro, m

ΔT = Diferencia de temperatura, °C

Aislación de piso	Resistencia térmica total, R_t (m²°C)/W	Transmitancia térmica lineal, K_l
Piso corriente	0,15 – 0,25	1,4
Piso medianamente aislado	0,26 – 0,6	1,2
Piso aislado	> 0,60	1,0





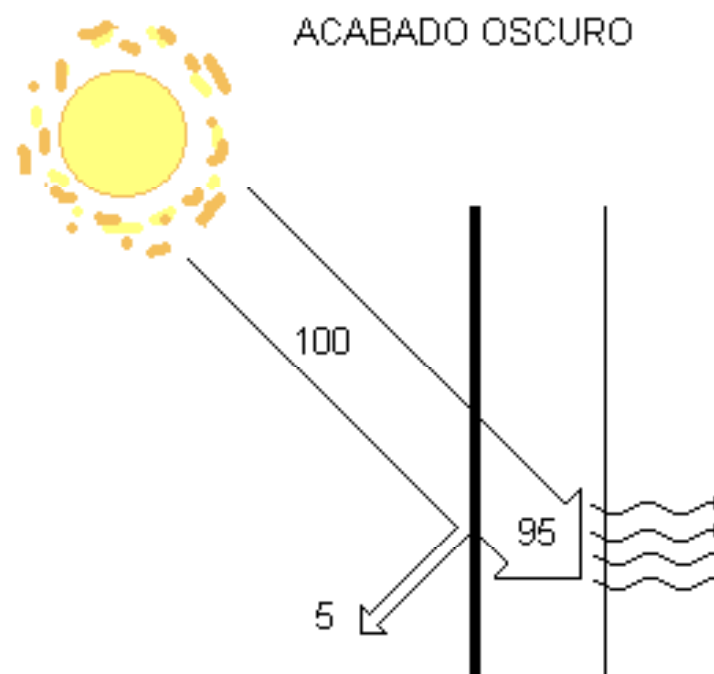
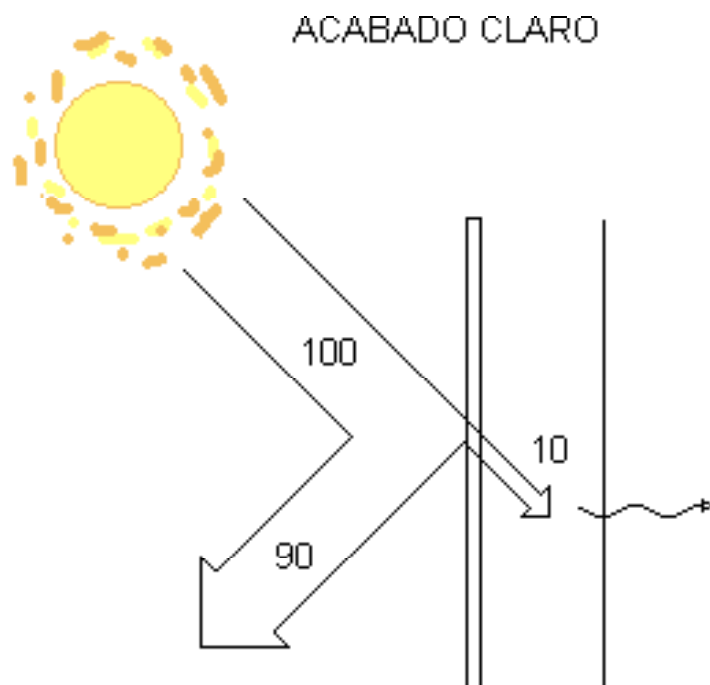
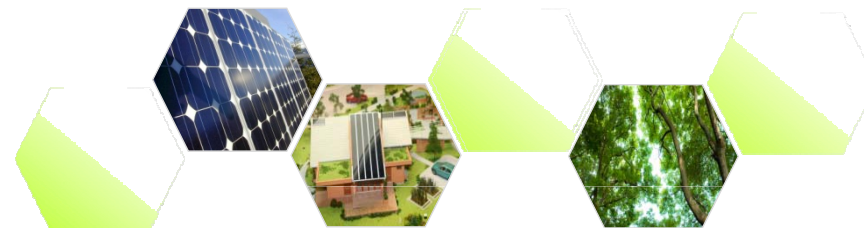


El vidrio es 83 % transparente a las ondas cortas de la radiación solar que calienta los recintos a unos 300 K (30°C) emitiendo, en longitudes de 10 micras para la cual el vidrio es opaco.

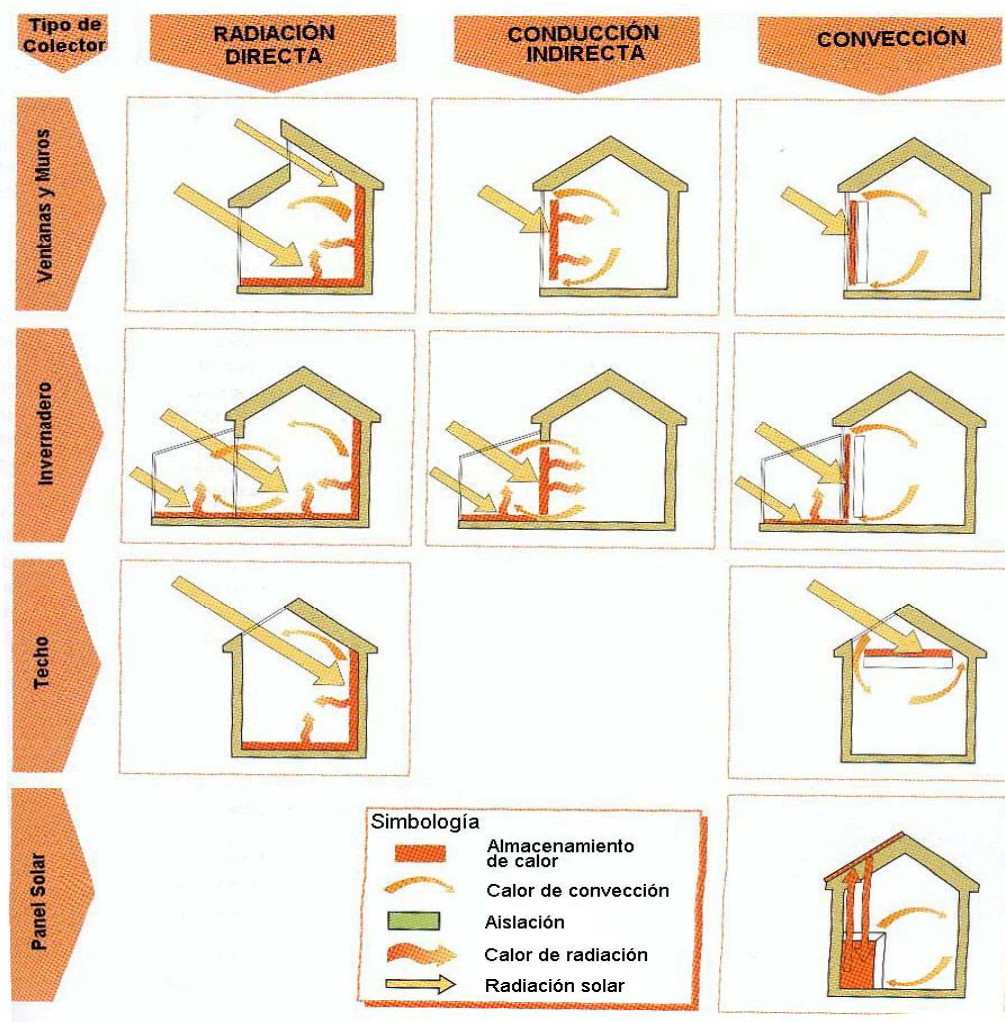
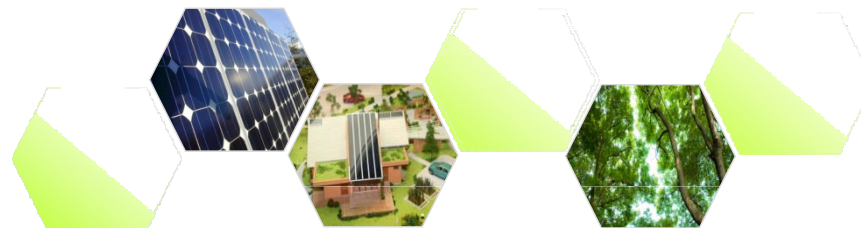
Resultado: el recinto gana calor.

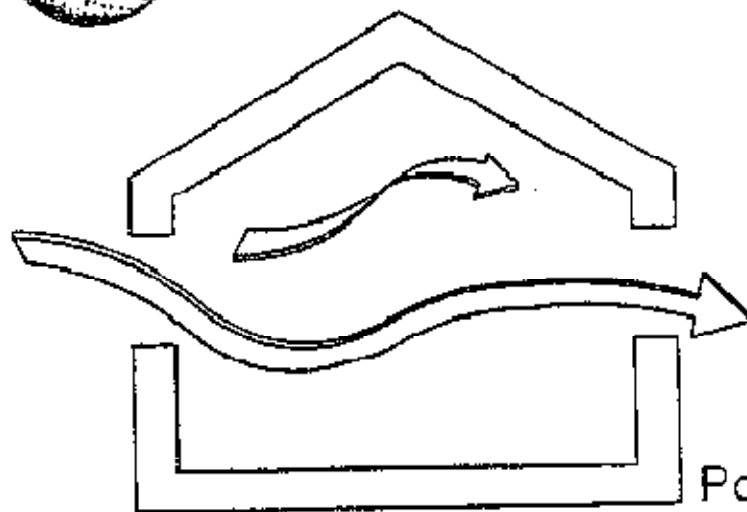
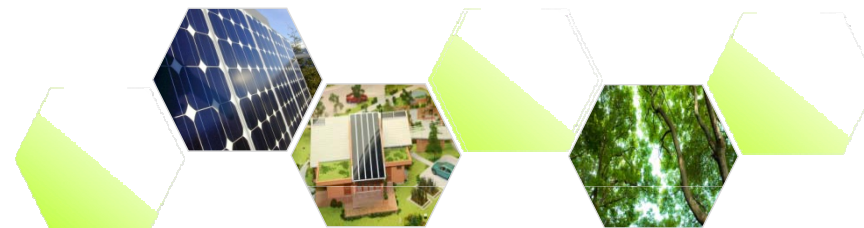
Este fenómeno llamado efecto de invernadero sirve para captar calor solar en colectores, invernaderos, cocinas y destiladores solares, etc.

A veces se convierte en un problema en buardillas, recintos con grandes ventanas y edificios de cristal.

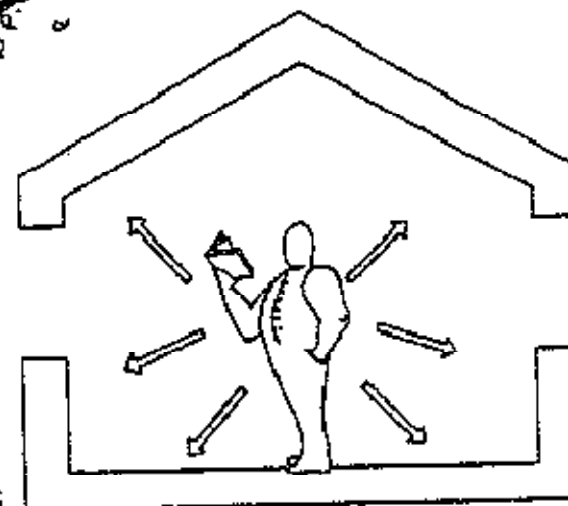


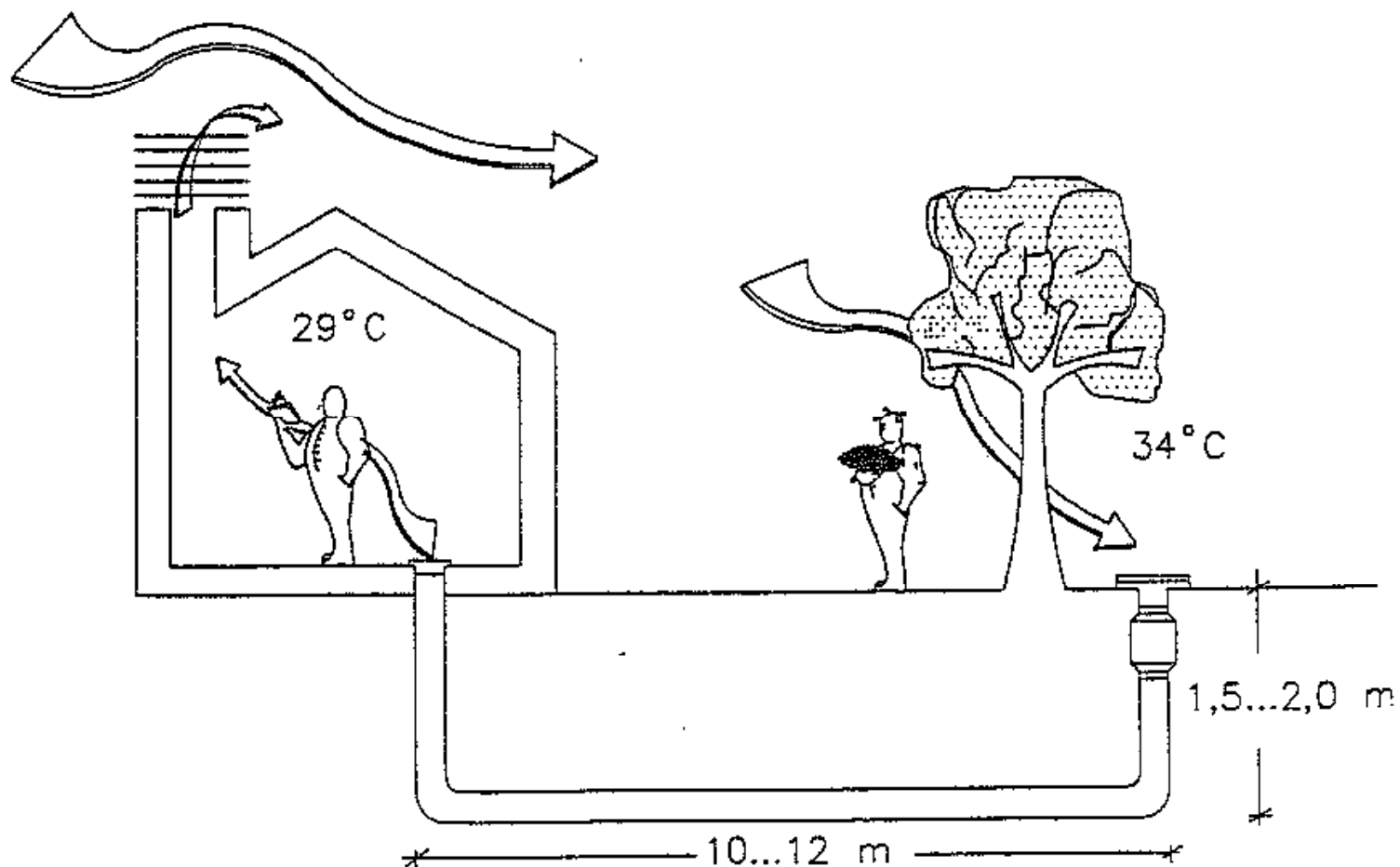
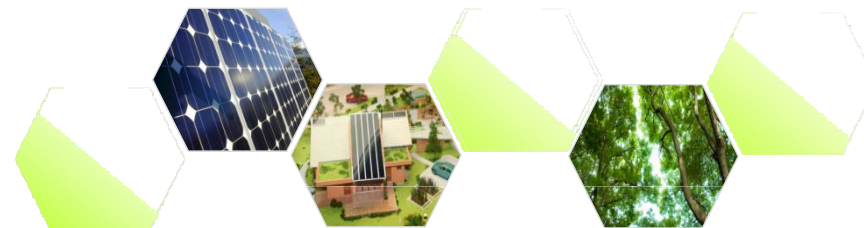
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

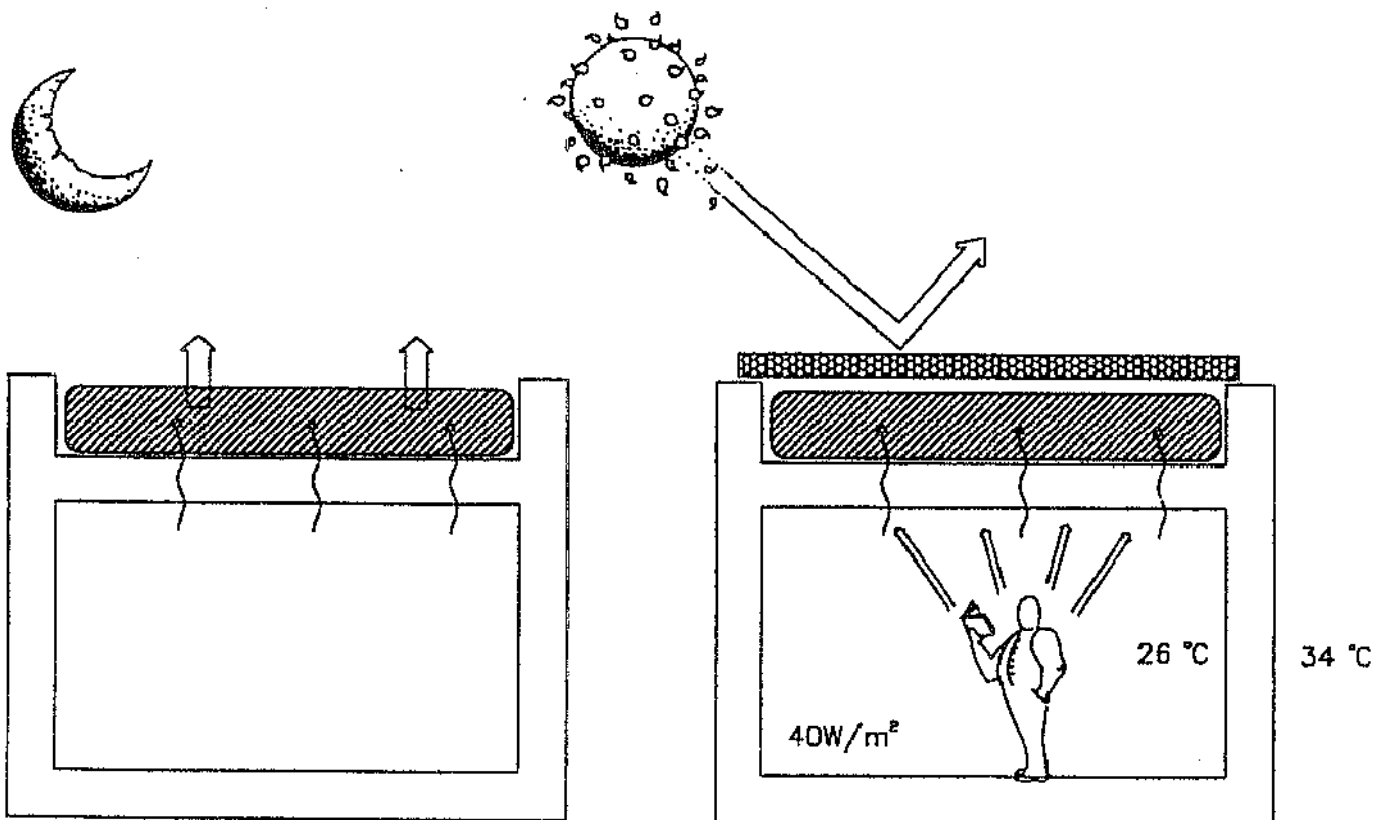
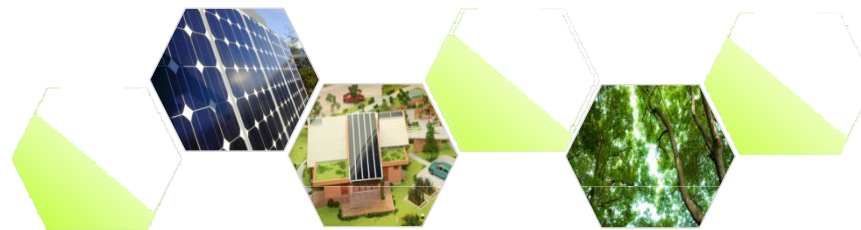


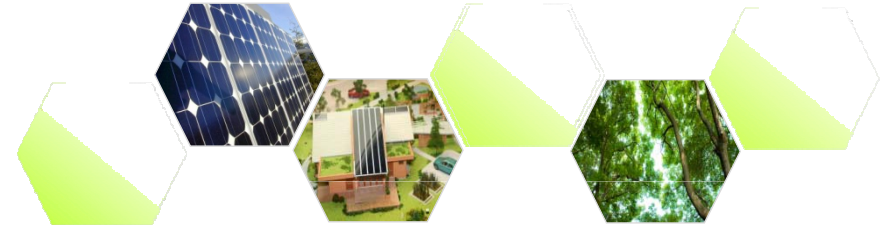


Paredes frías



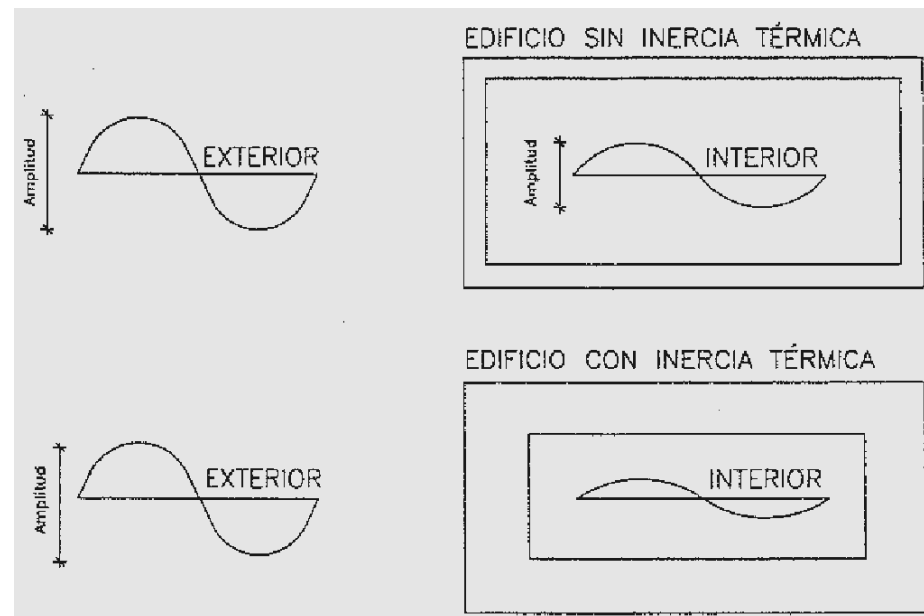


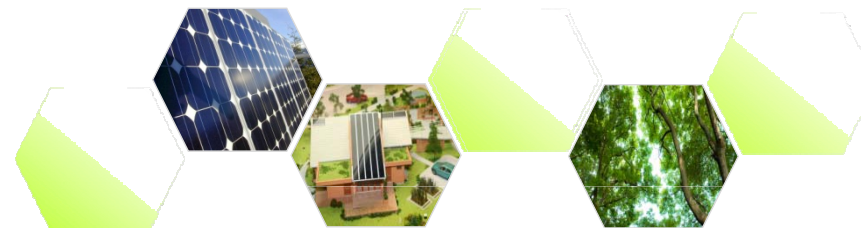




DIFICULTAD QUE OFRECE UN CUERPO A CAMBIAR SU TEMPERATURA

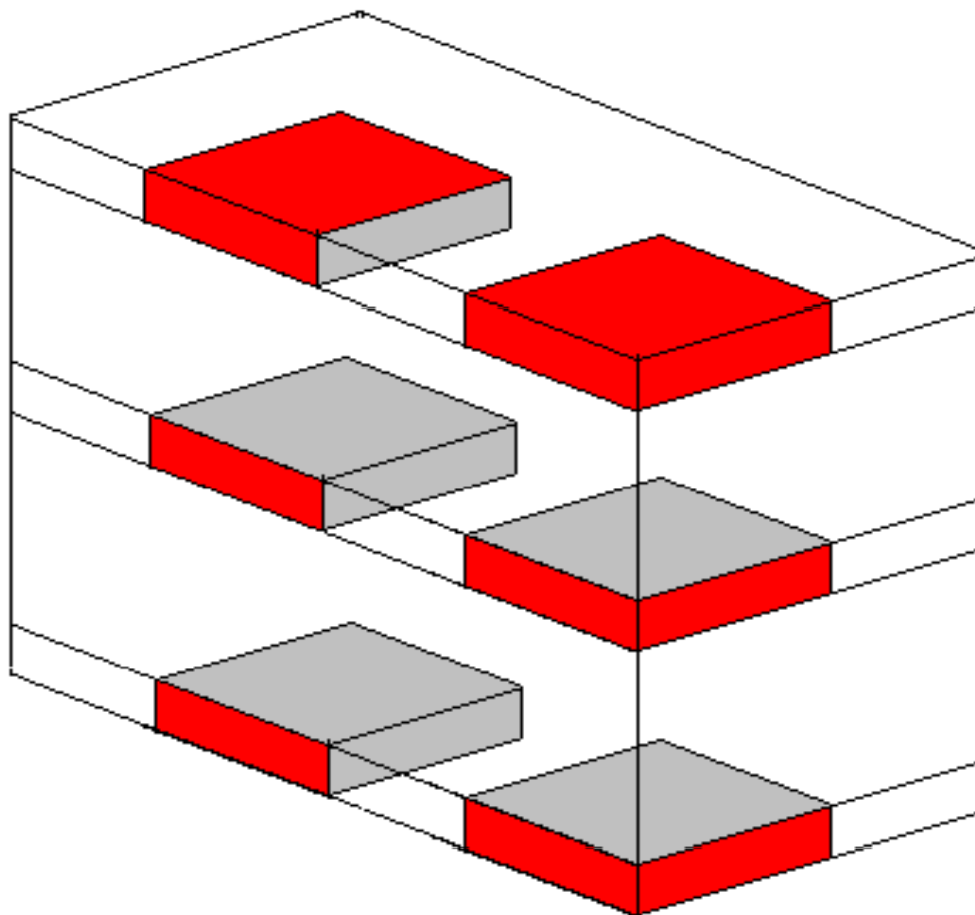
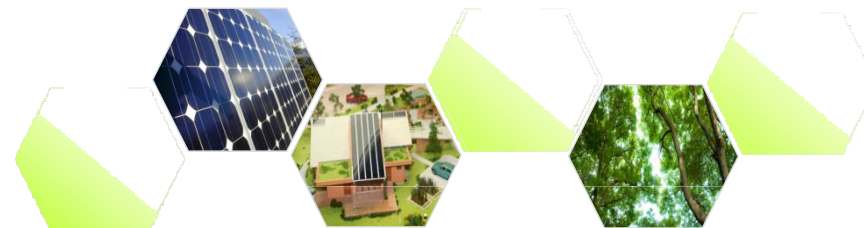
- ➔ **MASA**
- ➔ **DENSIDAD**
- ➔ **CALOR ESPECÍFICO**

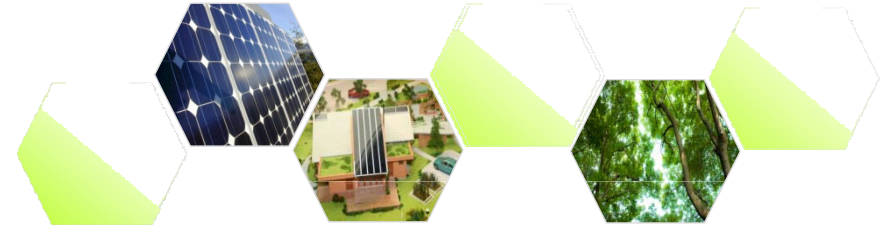




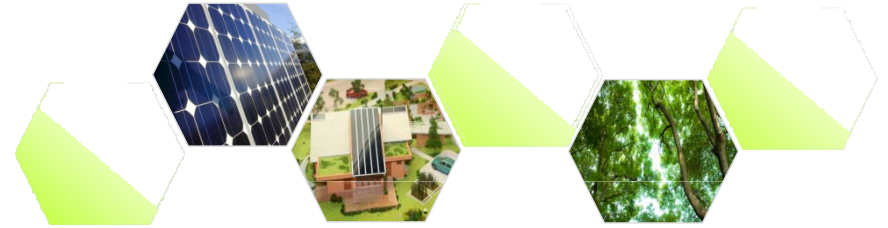
SUSTANCIA O ELEMENTO	CALOR ESPECÍFICO	
	$\text{kJ} / (\text{kg}^\circ\text{C})$	$\text{kcal} / (\text{kg}^\circ\text{C})$
Agua a 4 °C	4,18	1,00
Hielo	2,09	0,50
Roca sólida	1,25	0,30
Aire	1,00	0,24
Hormigón	0,89	0,22
Aislante térmico	0,84	0,20
Vidrio	0,80	0,19
PVC	0,75	0,18

DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES





$$G = U \cdot \frac{\textit{Superficie envolvente}}{\textit{Volumen total}} \quad \left[\frac{W}{m^3 \cdot ^\circ C} \right]$$

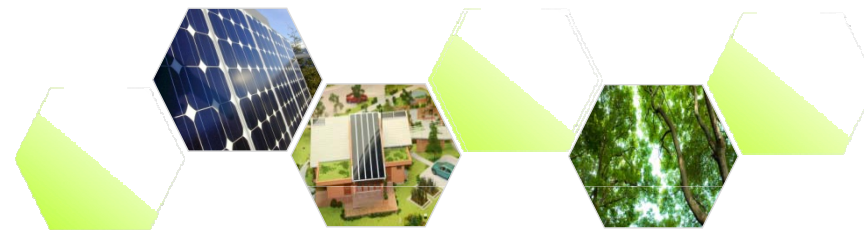


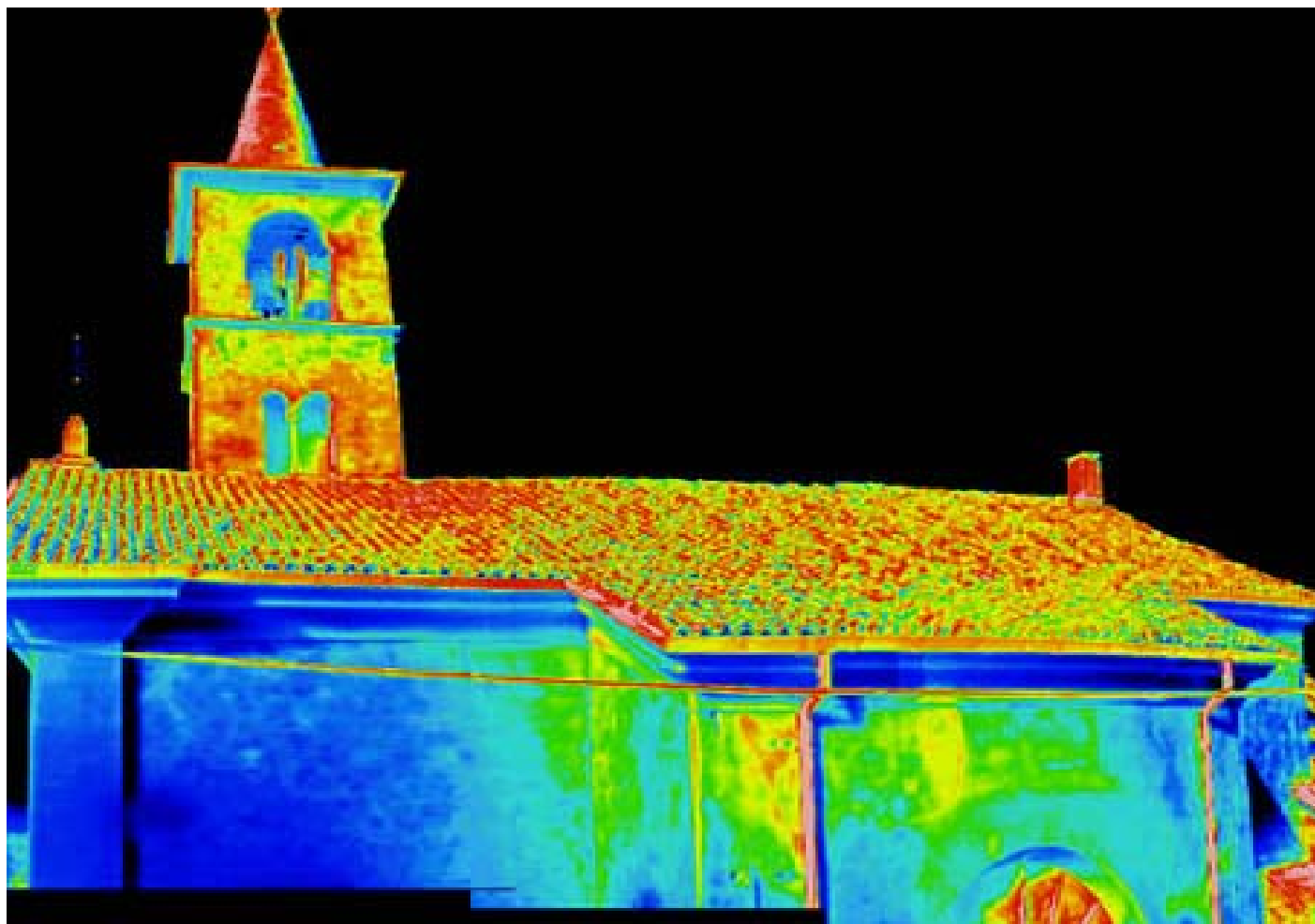
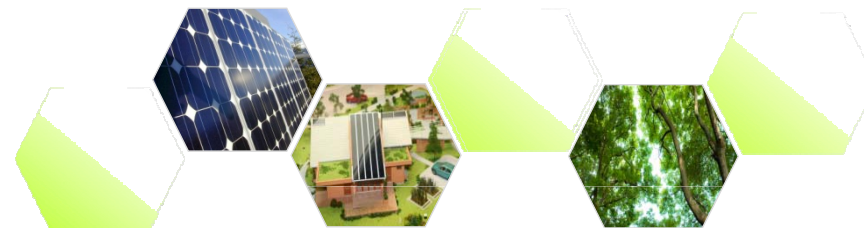
TERMOGRAFÍA

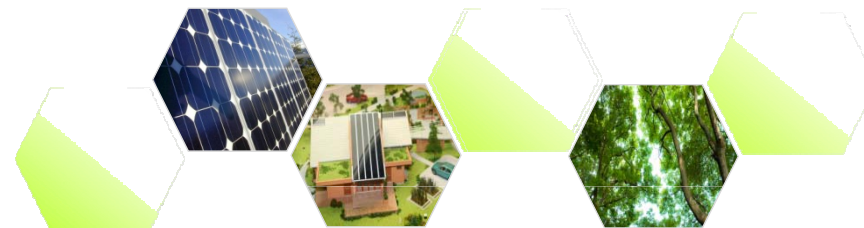
- Revisar el aislamiento de las paredes
- Revisar penetraciones ocultas
- Revisar hermeticidad
- Revisar si se evitan puentes térmicos



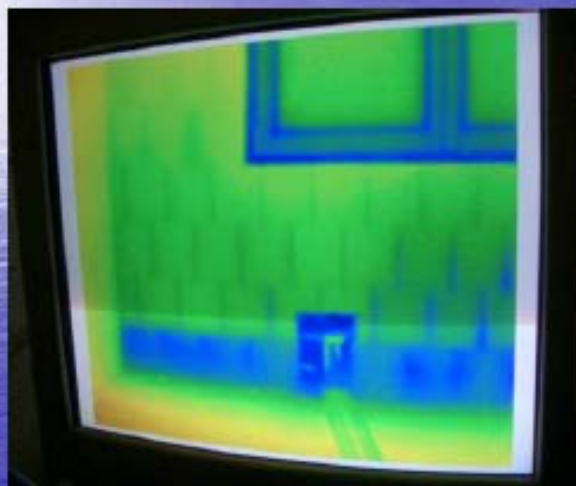
DISEÑO DE EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

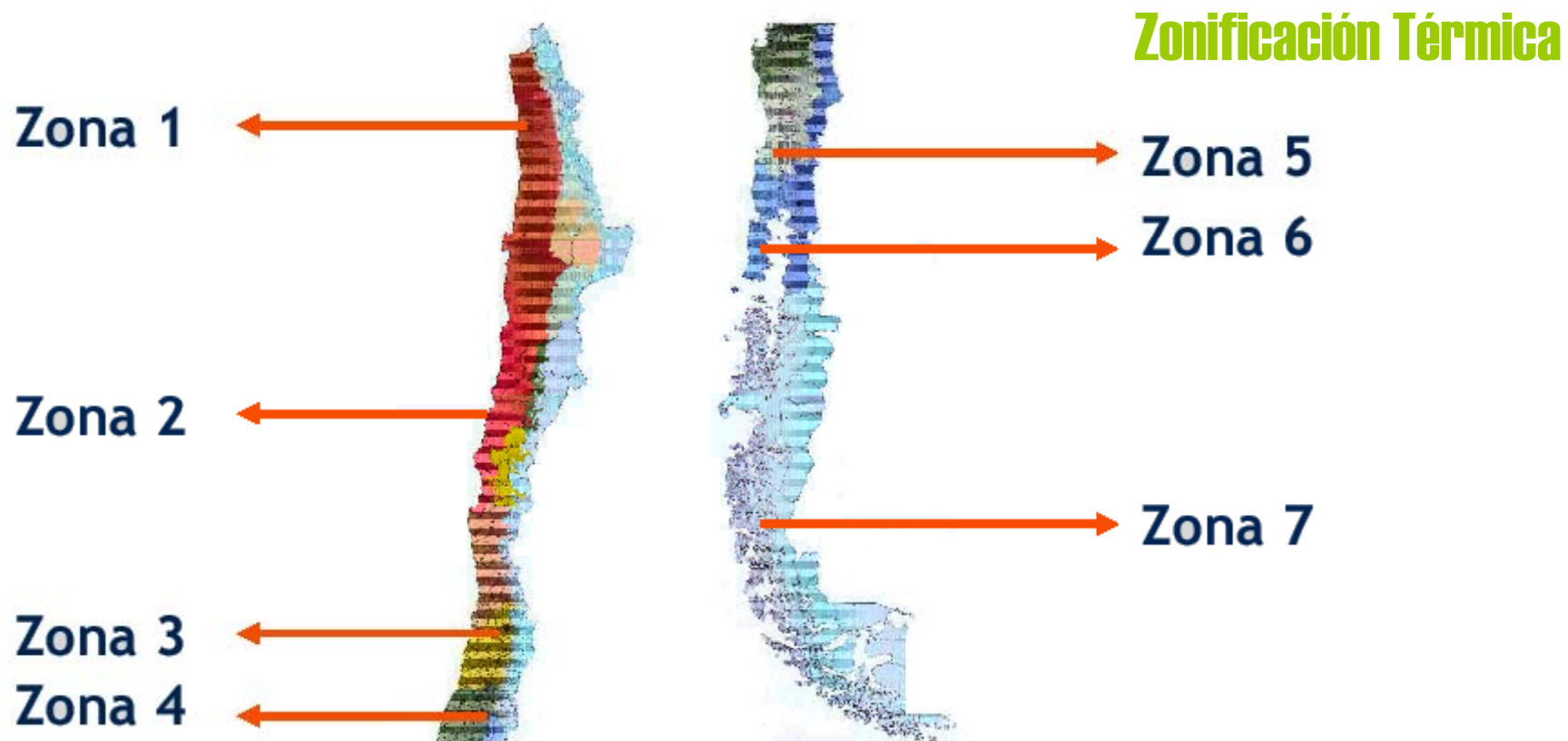
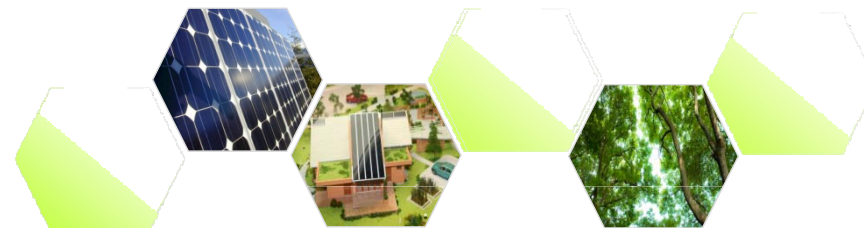


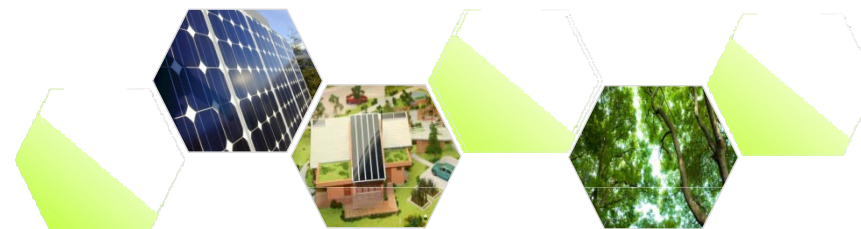




Se detectan puentes térmicos ocultos:
mampostería húmeda por debajo de la capa de
impermeabilización
Debilitamiento de la mampostería debido a nichos en la pared
para los conductos de los radiadores

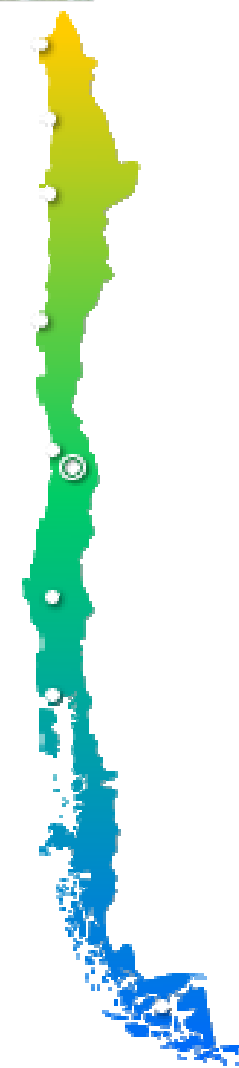




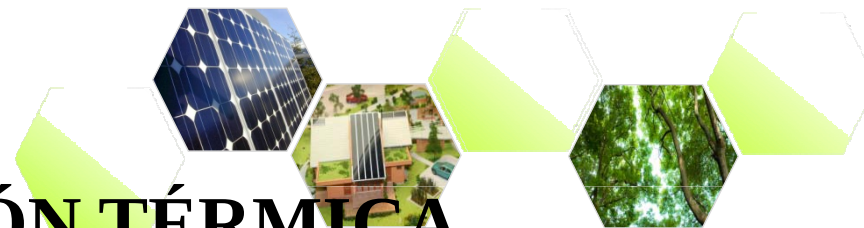


REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

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



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