Transferencia de calor en edificaciones

Guadalupe Huelsz

Ana Gómez

junio de 2016

Contenido

- Introducción al uso de energía en edificaciones
- Mecanismos de transferencia de calor
- Trasferencia de calor en el humano - confort térmico
- Trasferencia de calor en edificaciones
  - En muros y techos de la envolvente
  - Modelos independiente y dependiente del tiempo
  - Normatividad en México
  - Ener-Habitat

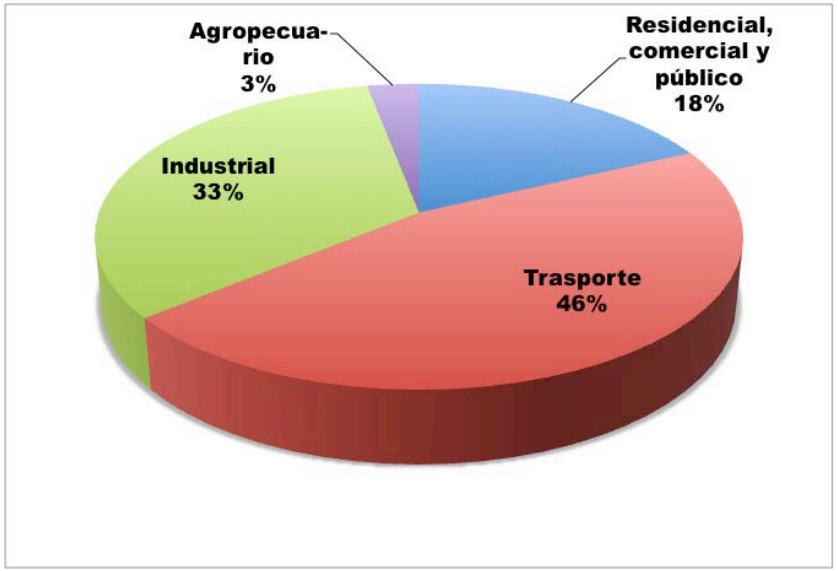
Introducción al uso de energía en edificaciones

- Aproximadamente el 20% del total del consumo de energía del país corresponde a los sectores residencial, comercial y público - energía en edificaciones

  - Más del 90% de la energía que se consume en México, tiene su origen en la quema de recursos no renovables.

Ahorro de energía en edificaciones

- Reducción de emisiones de CO_2
- Reducción de la demanda energética



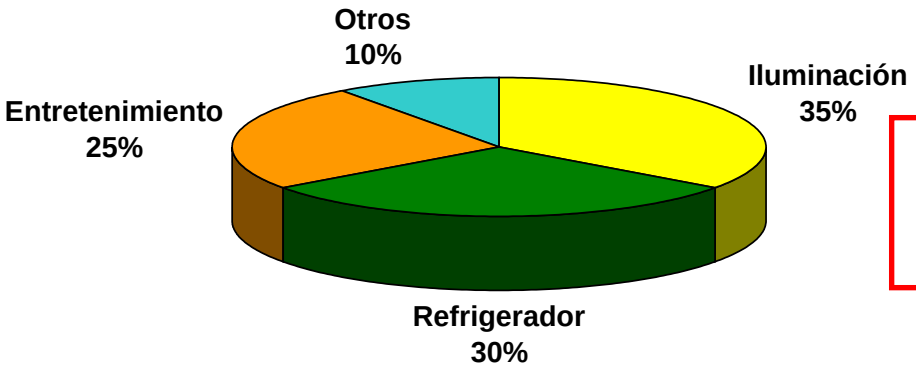
Fuente: Balance Nacional de Energía 2014

Uso de energía en acondicionamiento higrotérmico y de calidad de aire de las edificaciones

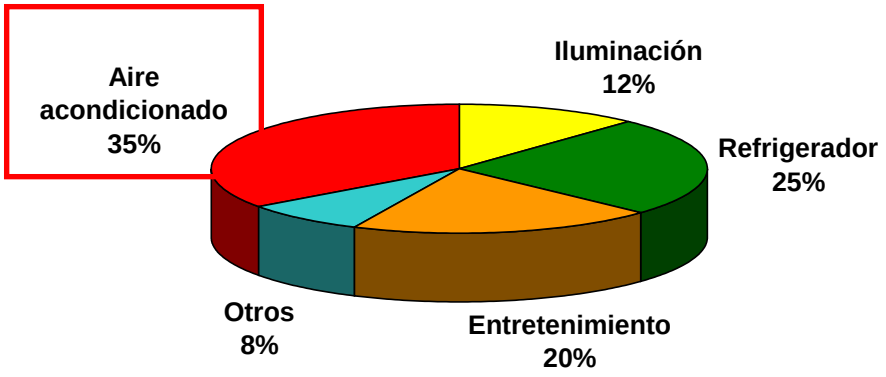
- **Dos terceras partes de la superficie del país presenta condiciones de clima cálido.**

Consumo eléctrico residencial en México 2007

Clima templado



Clima cálido



Fuente: FIDE, 2009, Taller sobre la envolvente térmica y el ahorro de energía

¿Qué es transferencia de calor?

Transferencia de calor

= energía en tránsito debido a
una diferencia de temperatura

de mayor temperatura hacia menor temperatura

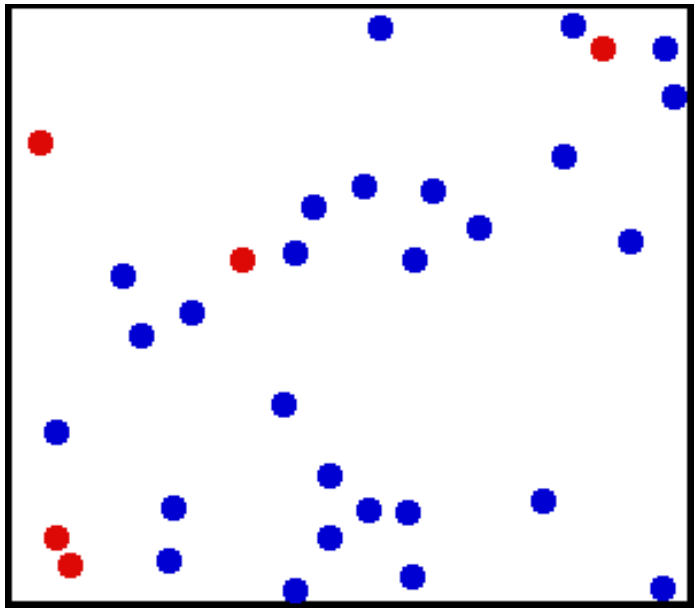
Th Tc

Th>Tc

¿Qué es temperatura?

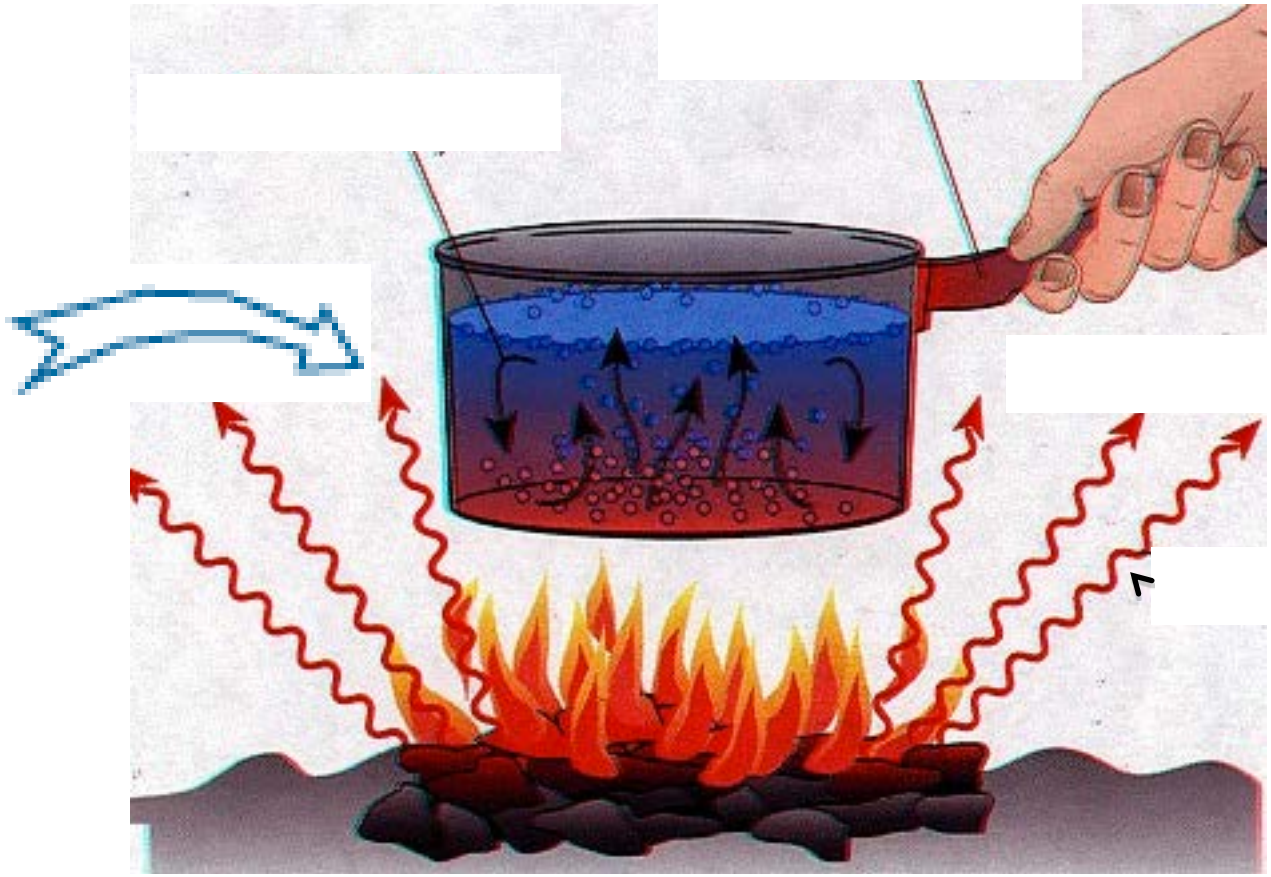
Temperatura

Medida macroscópica de la energía cinética promedio de las moléculas



«Translational motion» de Greg L de en.wikipedia.org. Disponible bajo la licencia CC BY-SA 3.0 vía Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Translational_motion.gif#/media/File:Translational_motion.gif

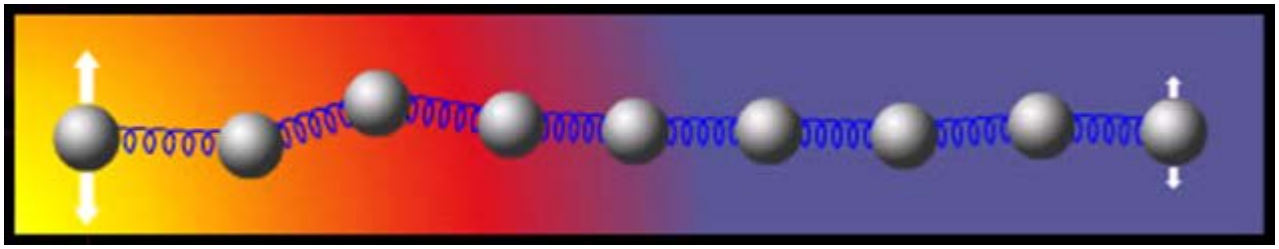
¿Cuáles son los mecanismos de transferencia de calor?



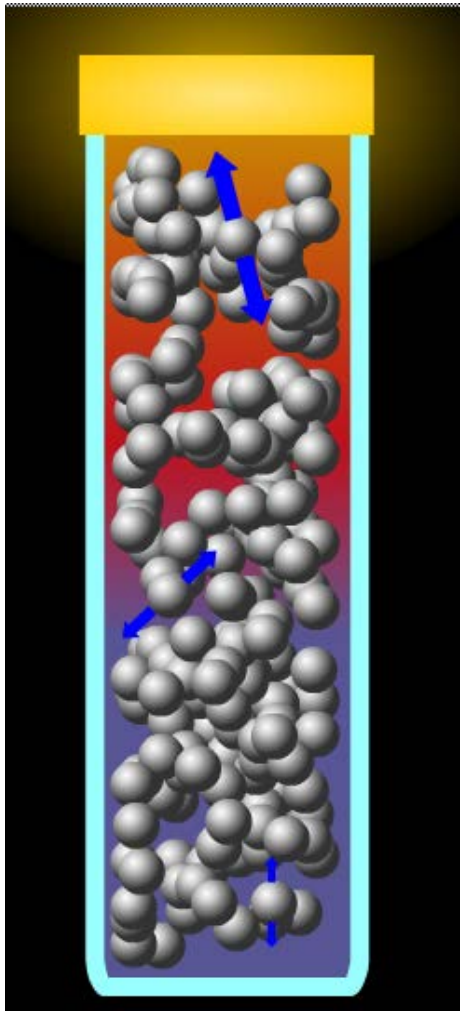
Mecanismos de transferencia de calor

¿Cuál es la característica de la conducción?

¿Cuál es la característica de la conducción?



En sólidos



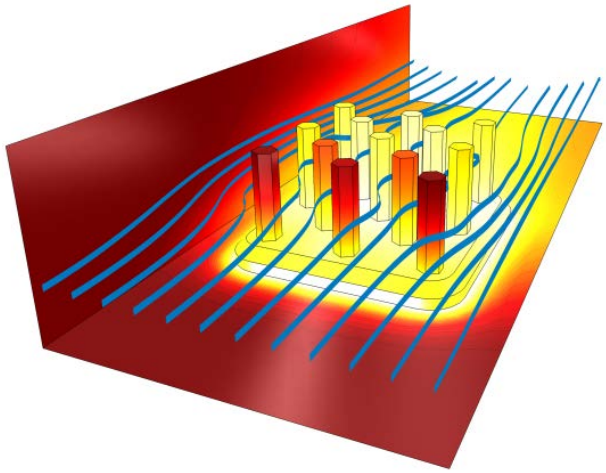
En fluidos

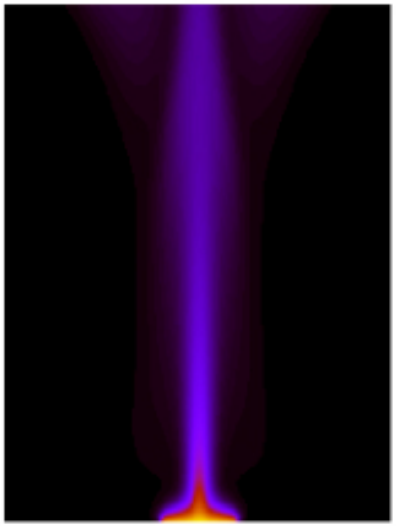
Requiere material

Movimiento microscópico

¿Cuál es la característica de la convección?

¿Cuál es la característica de la convección?





Requiere material

Movimiento macroscópico

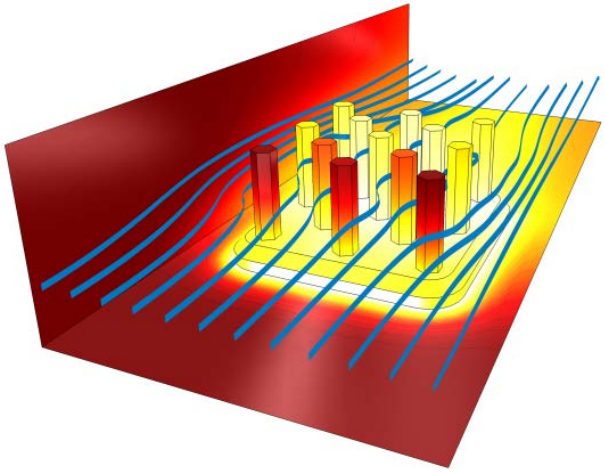
En fluidos

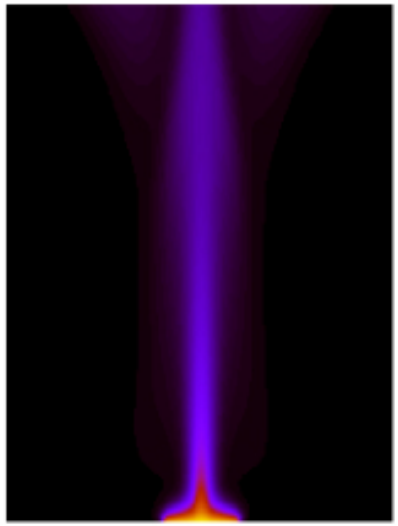
Barrios G, Huelsz G, Rechtman R. Stability of a thermal plume generated in the bottom wall of an enclosure. In preparation.

¿Tipos de convección?

¿Tipos de convección?

Forzada
El movimiento es producido por una fuerza externa al sistema



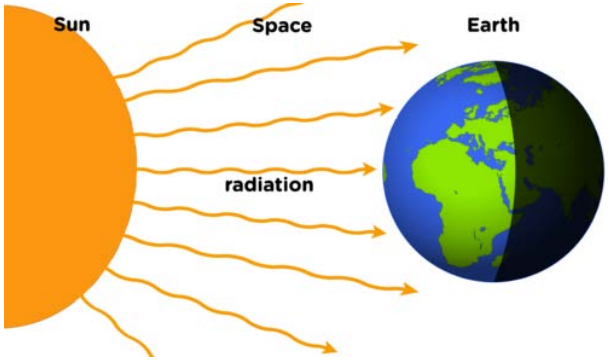


Natural
El movimiento es producido por diferencias de temperatura (densidad) en la dirección vertical

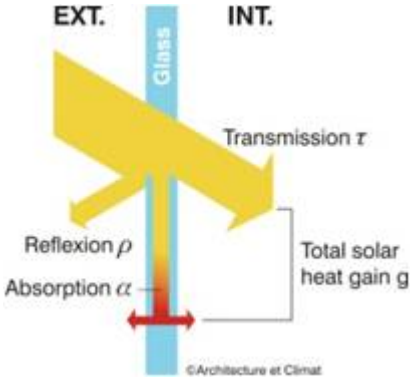
Barrios G, Huelsz G, Rechtman R. Stability of a thermal plume generated in the bottom wall of an enclosure. In preparation.

¿Cuál es la característica de la radiación?

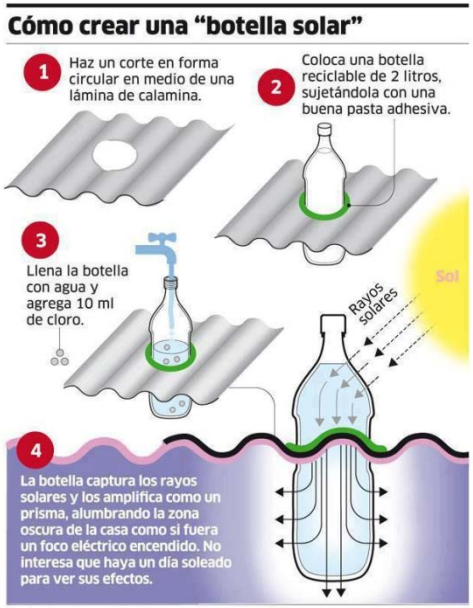
¿Cuál es la característica de la radiación?



En vacío



En sólidos



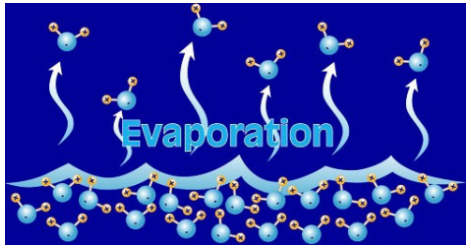
No requiere material

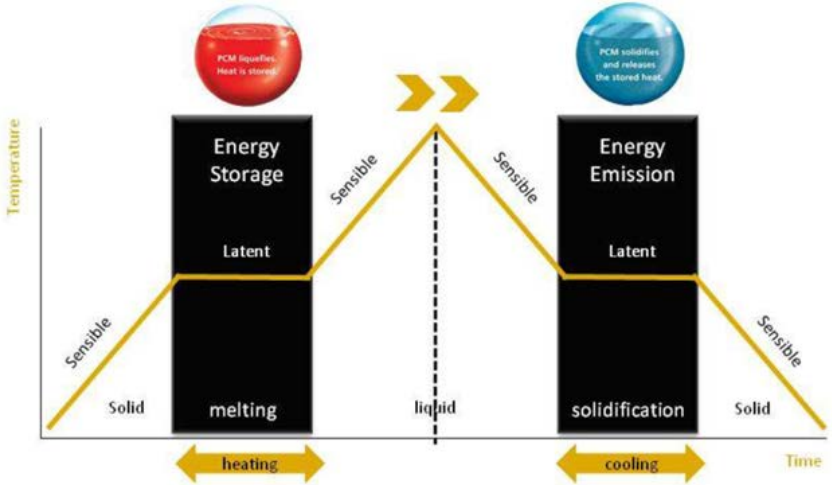
Ondas electromagnéticas

En fluidos

¿Cuál es la característica del cambio de fase?

¿Cuál es la característica del cambio de fase?





Evaporación
(en la superficie)

Ebullición
(en el seno del fluido)

Líquido – **Vapor**

(moléculas unidas) **(moléculas poco unidas)**

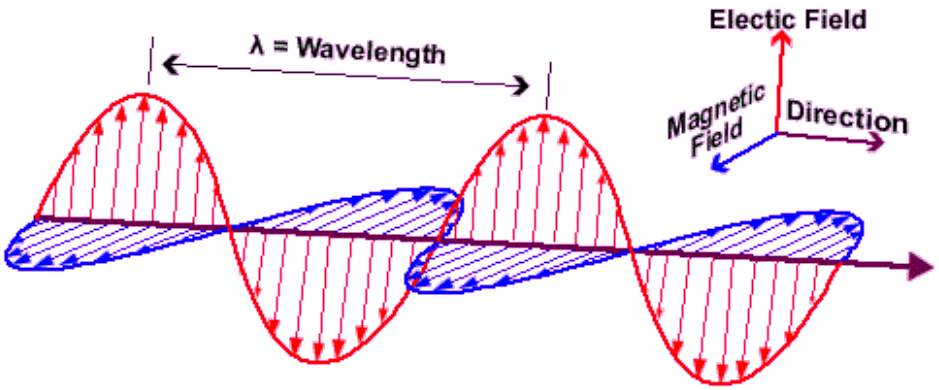
Líquido - **Sólido**
(moléculas unidas) **(moléculas muy unidas)**

Requiere material

Calor latente **(o entalpia de cambio de fase)**

Trasferencia de calor por radiación

Ondas electromagnética



$f = c/\lambda$

f frecuencia

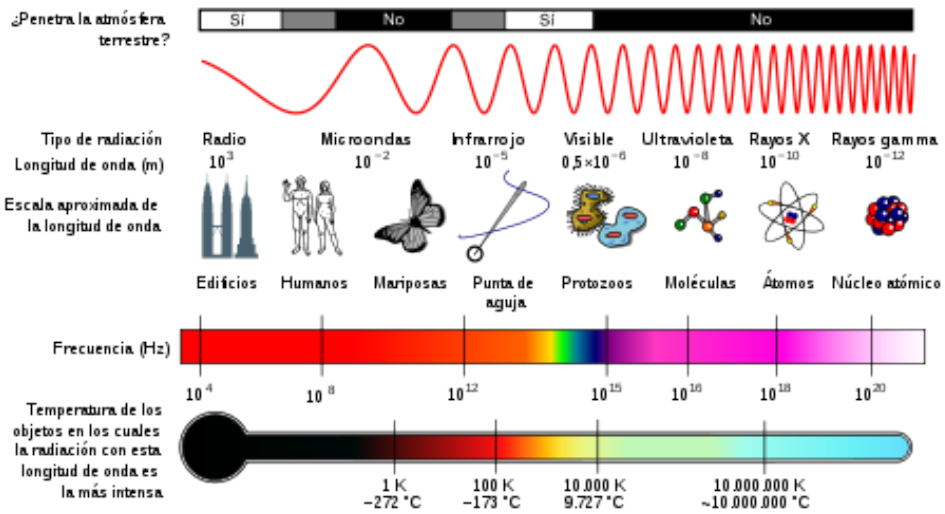
c velocidad de propagación

λ longitud de onda

Trasferencia de calor por radiación

Ondas electromagnéticas

Todo cuerpo radia de acuerdo a su temperatura



Rango de longitud de onda visible: 0.4 (violeta) a 0.75 (rojo) micras

ºC

$f=c/\lambda$ ***Frecuencia = velocidad de propagación / longitud de onda***

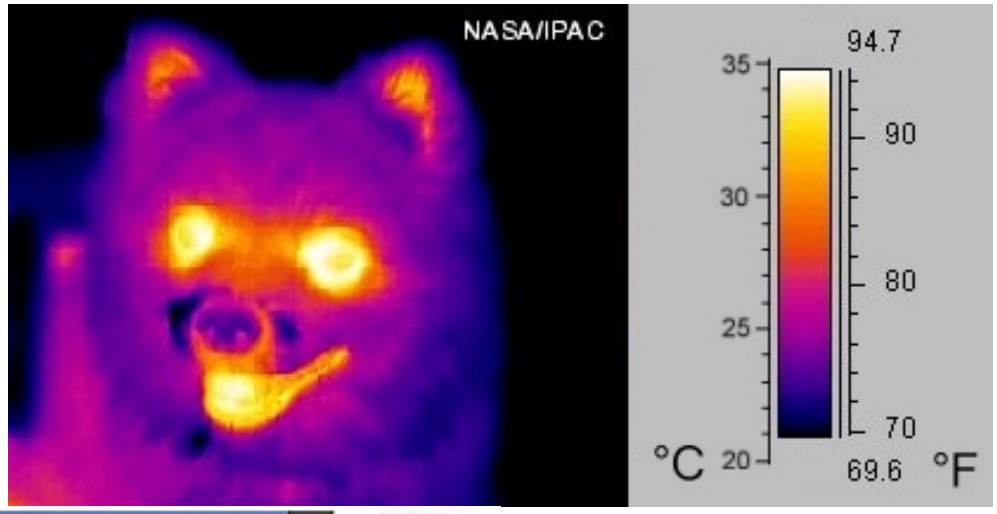
Ley de Estefan-Bolzmann (cuerpo negro) $P/A=\sigma T^4$

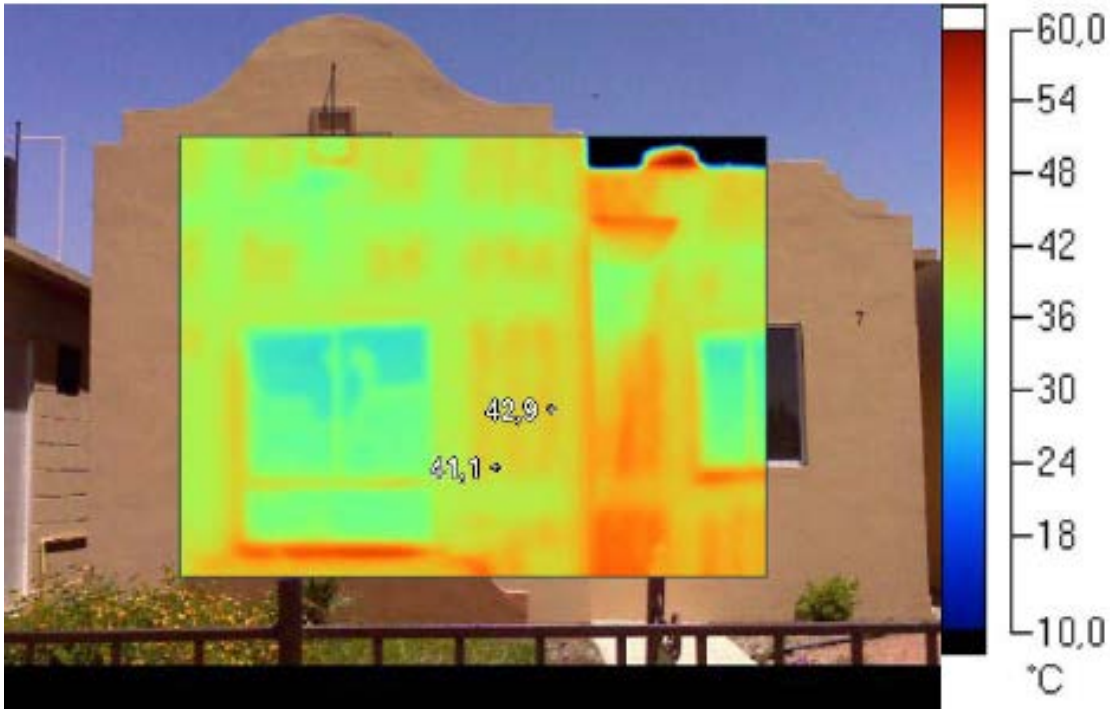
Potencia neta (emitida – absorbida) $P=\varepsilon\sigma A(T^4-T_o^4)$

ε emitancia o emisividad **(= absortancia para misma λ)** **piel humana** **ε=0.98**

Vidrios low-e **recubrimientos metálicos** **ε=0.03 a 0.06** **vidrio ε=0.92**

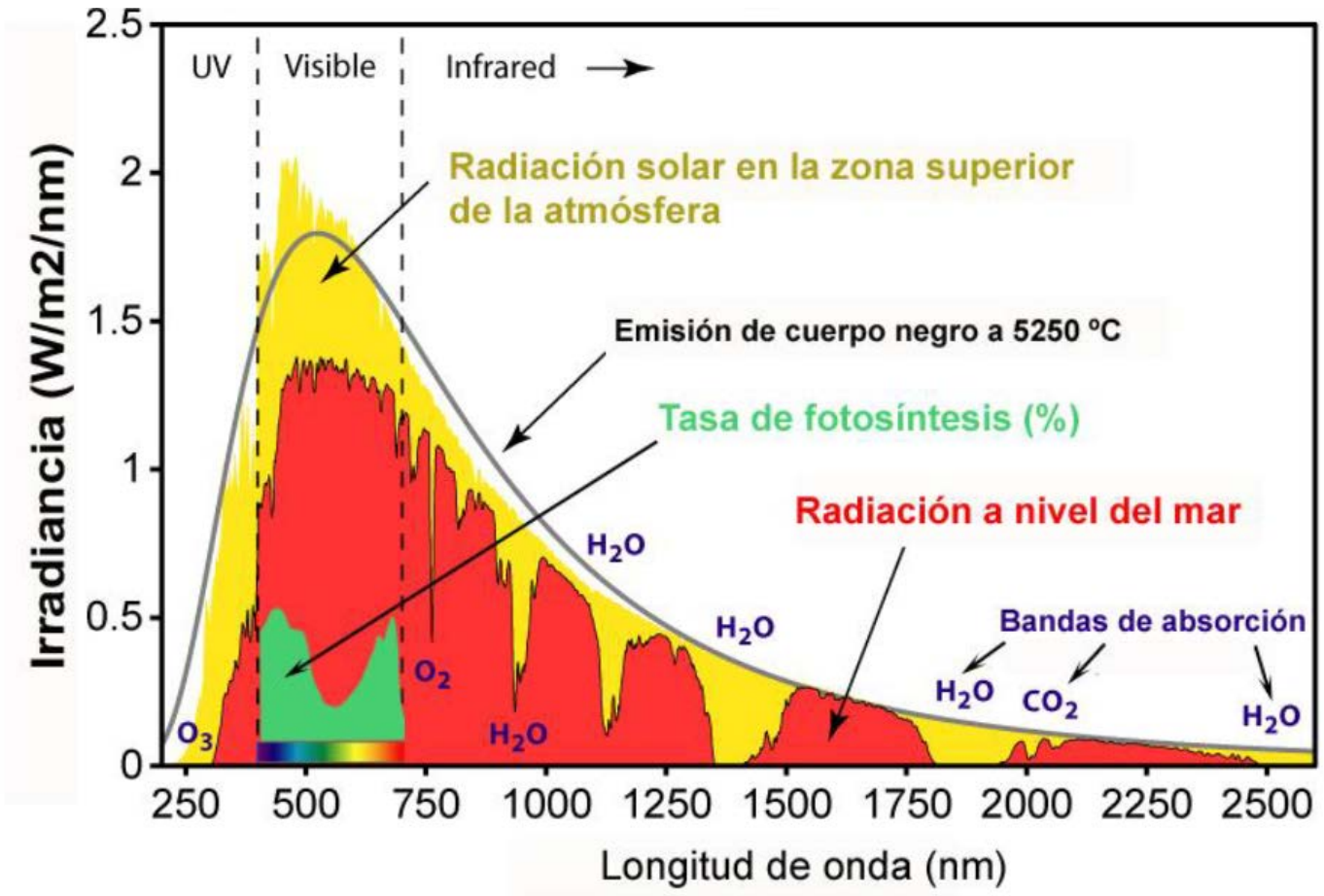
Termografías: “fotografías” en infrarrojo





Seleccionar la emisividad correcta

Radiación solar



$P_{sa} = \alpha P_{si}$

α_s absortancia solar o absortividad solar

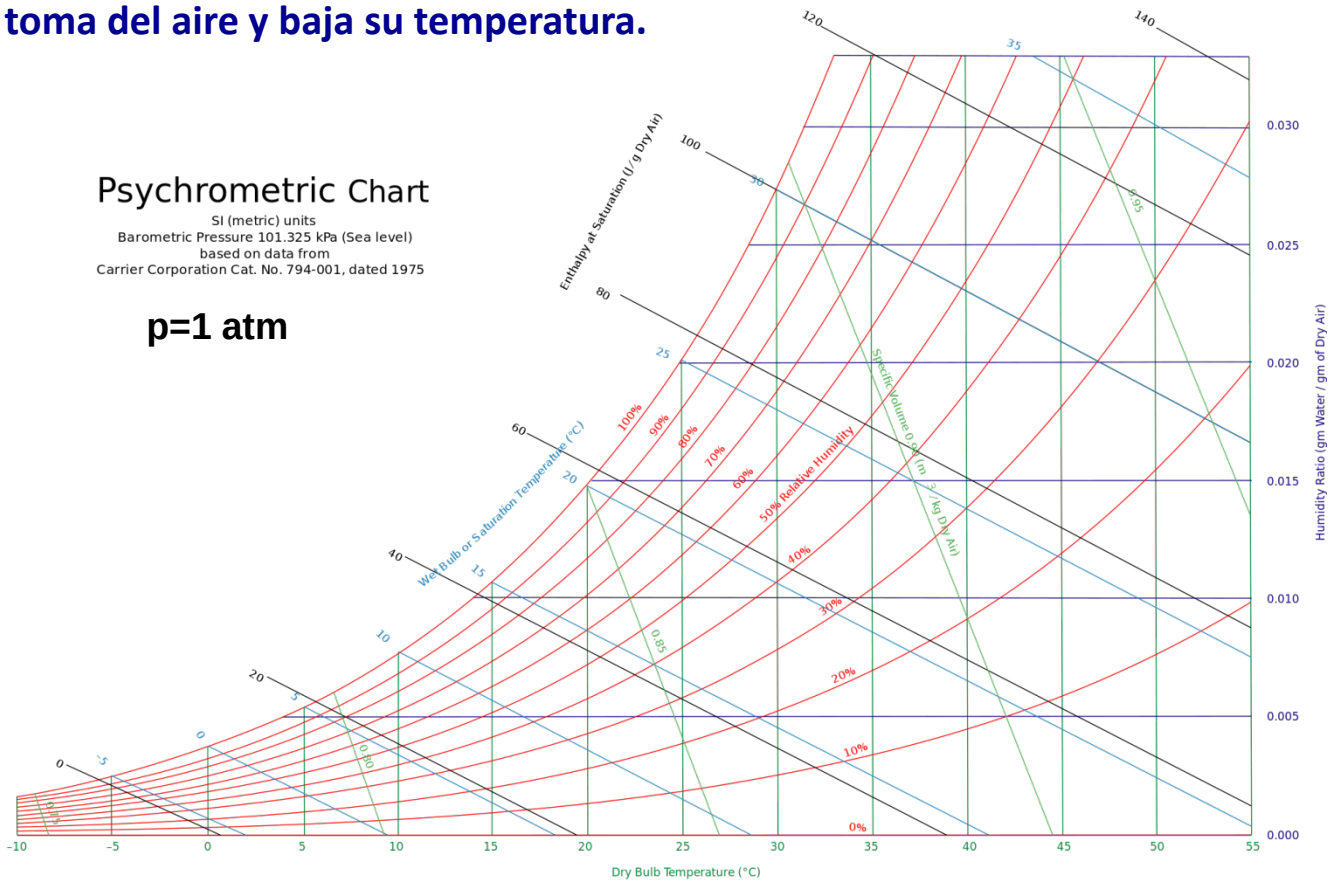
Cambio de fase en edificaciones

– Psicrometría (Parte de la termodinámica que estudia el aire húmedo)

- **Aire (húmedo) es una mezcla de aire seco + vapor de agua**
  - **Confort térmico - evaporación del sudor**
  - **Enfriamiento evaporativo - al evaporarse el agua requiere energía (calor latente), la toma del aire y baja su temperatura.**

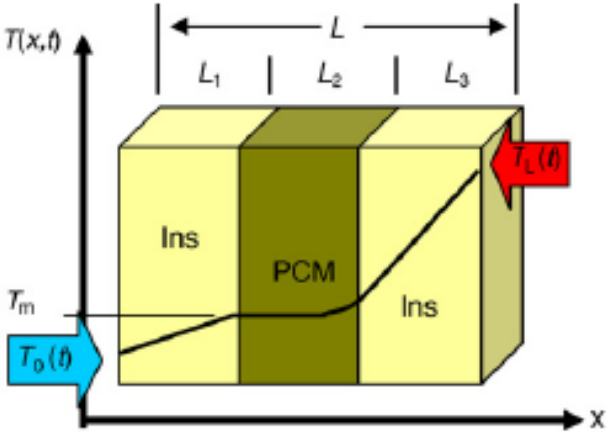
3 variables independientes:

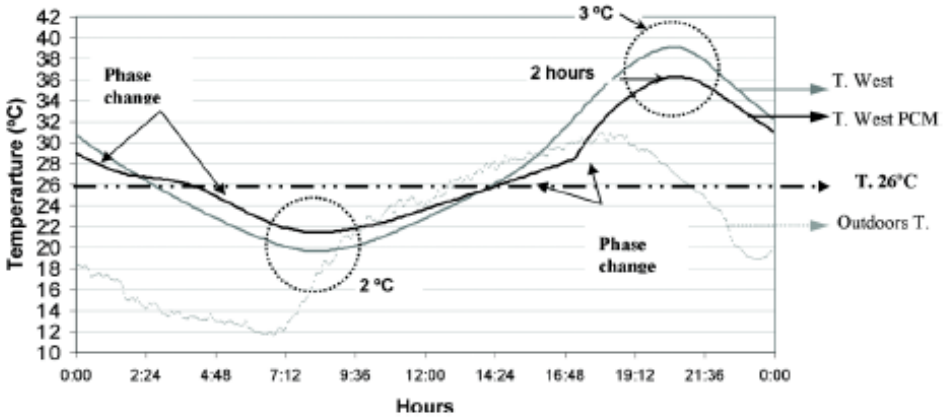
- **Presión**
- **Temperatura**
- **Humedad relativa**



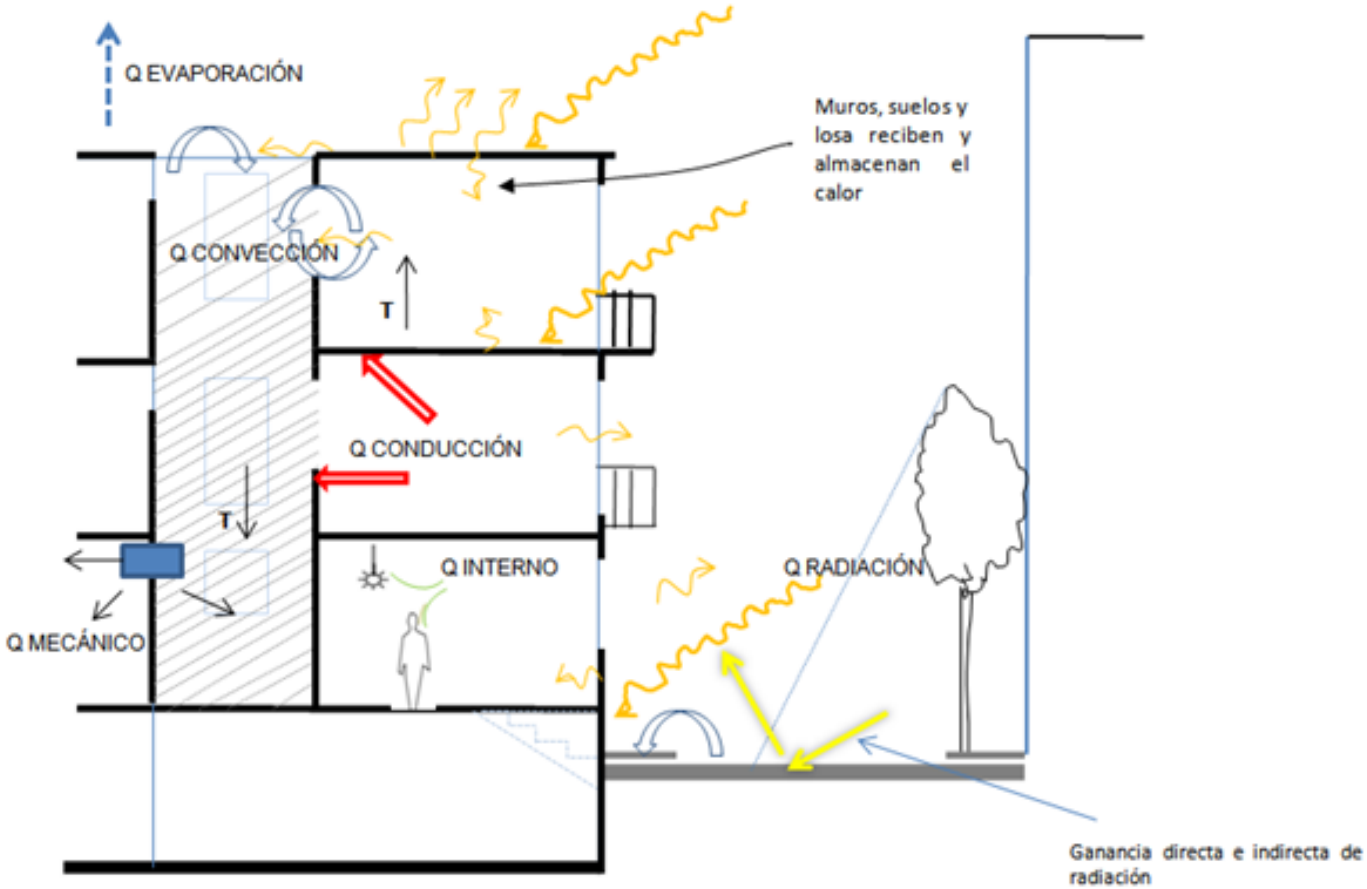
Cambio de fase en edificaciones

- **Materiales de cambio de fase en muros y techos de la envolvente**
  - **es una forma de almacenar energía en el muro/techo**
    - **al cambiar de fase de sólido a líquido absorben energía (calor latente de fusión) en vez de aumentar temperatura**
    - **al cambiar de líquido a sólido liberan energía (calor latente de solidificación) en vez de disminuir temperatura.**





Transferencia de calor en edificaciones



Huelsz G, Molar M E., Velázquez J, 2014 Transferencia de calor en la Envolvente Arquitectónica y en el ser humano. En el libro Vivienda II Trabajos de Investigación. Coordinadores CA de Tecnología en la Arquitectura. Coordinación General de Estudios de Posgrado e Invetigación, Universidad Autónoma de Coahuila (ISBN: 978-607-506-199-3), 7-23.

Mecanismos de transferencia de calor

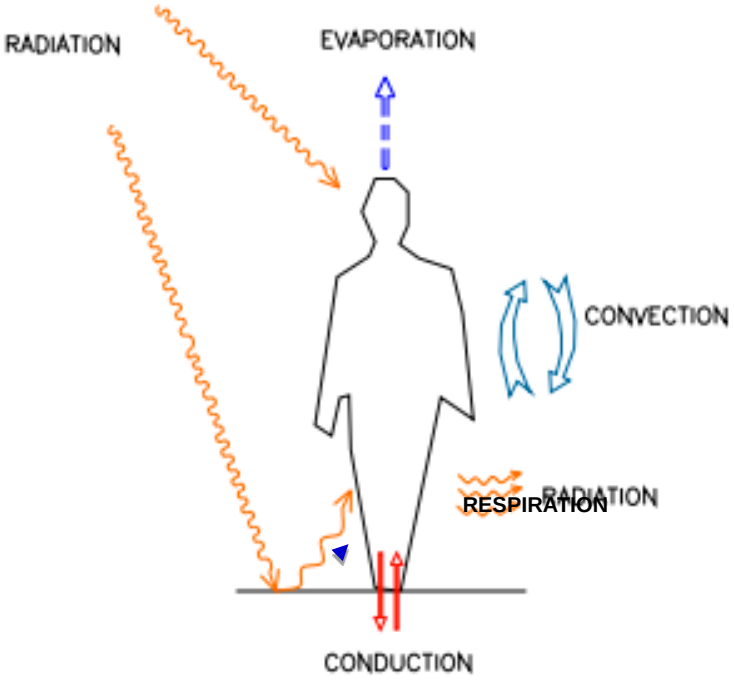
Mecanismo	Medio de propagación	Característica	Variables físicas	En edificaciones
Conducción	Material (liquido, sólido y gas)	Movimiento microscópico	Conductividad térmica Densidad Calor específico	En sólidos (muros, techos y ventanas)
Convección	Material (líquido y gas)	Movimiento macroscópico	Diferencias de presión	
Natural		Diferencias de densidad generadas por diferencia de temperaturas	Diferencias de temperatura en la dirección vertical	Diferencia de temperatura entre muros/techos y ambiente Diferencia de temperatura entre aire exterior e interior (ventilación natural por efecto térmico)
Forzada		Fuerzas externas	Velocidad del fluido	Velocidad del viento (ventilación natural por viento)

Mecanismos de transferencia de calor

Mecanismo	Medio de propagación	Característica	Variables físicas	En edificaciones
Radiación	Material Vacío	Ondas electro-magnéticas	Frecuencia Velocidad de propagación Longitud de onda Temperatura superficial del cuerpo	Radiación solar (reflectancia, absortancia, transmitancia) Radiación infrarroja (reflectancia, absortancia, transmitancia y emitancia) absortancia = emitancia en el mismo rango del espectro
Cambio de fase	Material (líquido, sólido y gas)	Cambio de estado físico	Calor de fusión (sólido → líquido) se añade energía (líquido → sólido) se libera energía Calor de ebullición (líquido → gas) se añade energía ocurre en el seno del líquido Calor de vaporización (líquido → gas) se añade energía ocurre en la superficie (gas → líquido) se libera energía Calor de condensación (gas → líquido) se libera energía Energía de sublimación (sólido → gas) se añade energía (gas → sólido) se libera energía	Aire húmedo - Evaporación de sudor de la piel (líquido → gas) - Evaporación por transpiración (líquido → gas) - En procesos de enfriamiento evaporativo (líquido → gas) Cambio de fase para aumentar almacenamiento térmico - En sistemas constructivos (líquido ←→ sólido) - En tanques de almacenamiento (líquido ←→ sólido)

Trasferencia de calor en el humano

Ecuación de balance de energía térmica en el cuerpo humano



$$M - W \pm C \pm R \pm K - E \pm C_r - E_r = 0$$

Donde:

M *Nivel metabólico (actividad)*
W *Potencia mecánica efectiva (trabajo efectuado sobre una persona, casi siempre se toma igual a 0)*
C *Intercambio de calor por convección (vestimenta)*
R *Intercambio de calor por radiación*
K *Intercambio de calor por conducción*
E *Intercambio de calor por evaporación en la piel*
C_r *Intercambio de calor por convección por respiración*
E_r *Intercambio de calor por evaporación por respiración*

Confort térmico (higrotérmico)

Condiciones de temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y radiación (temperatura radiante) en las que la mayoría de las personas de un lugar específico se sienten confortables, dada una actividad y una vestimenta específicas.

Estimación del nivel metabólico MET

El metabolismo se suele medir en Met

1 met: correspondiente al nivel de actividad de una persona sedentaria.

Equivale a una pérdida de calor de 58 W/m^2.
Un adulto standard tiene una superficie de piel de 1.7 m^2, de manera que una persona en reposo pierde aproximadamente 100 watts.

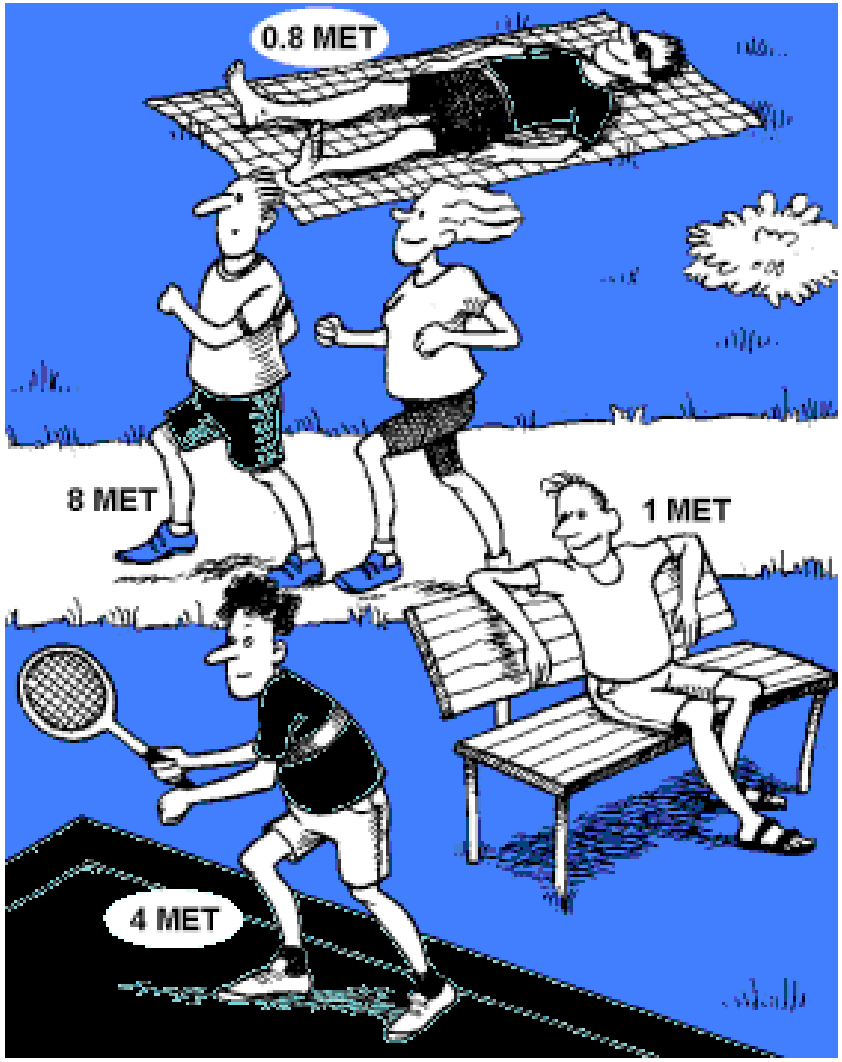
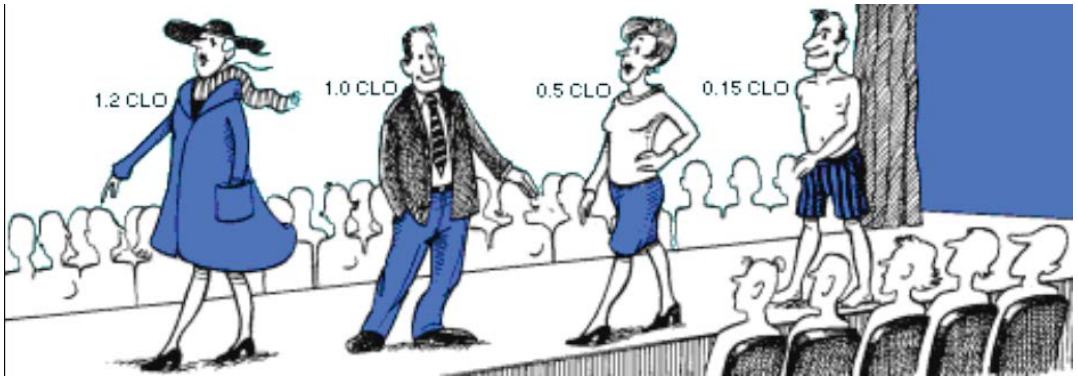


Tabla de valores MET en p. 26 de INNOVA, La comodidad Térmica, ; Design Builder, Energy Plus, Thermal comfort

Estimación del nivel de ropa CLO

La ropa se clasifica según su valor de resistencia térmica.



La unidad normalmente usada para medir la resistencia térmica de la ropa es **Clo**, (1 Clo = **0.155 m²° C/W**).

Una **persona desnuda** tiene un valor de **0.0 Clo**, y alguien vestido con **un traje típico de negocio** tiene un de valor de **1.0 Clo**.

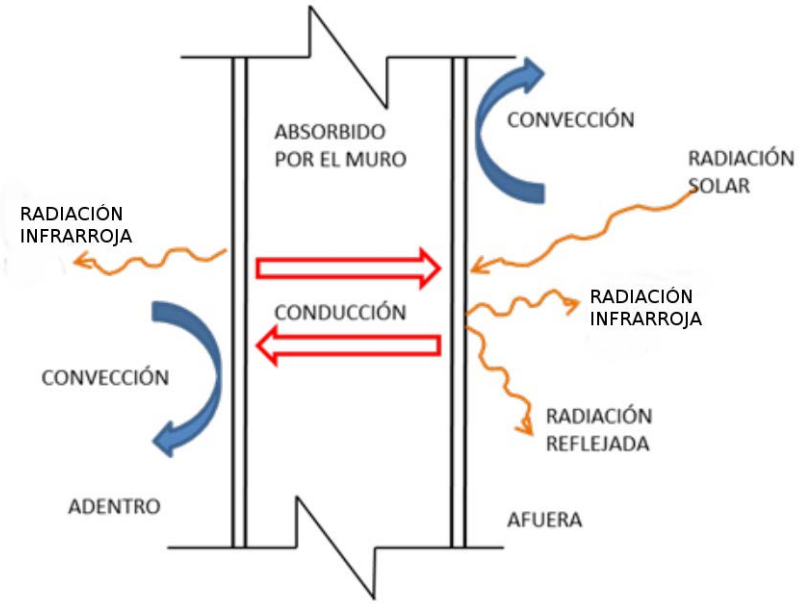
Tabla de valores CLO en p. 27 y 28 de INNOVA, La comodidad Térmica, *I*

Insulation for the entire clothing: $I_{cl} = \sum I_{clu}$

0.19
+
0.04
+
0.11
+
0.02
+
0.02
0.38

0.28
0.25
0.04
0.25
0.05
0.04
0.91

Transferencia de calor a través de muros y techos



Exterior

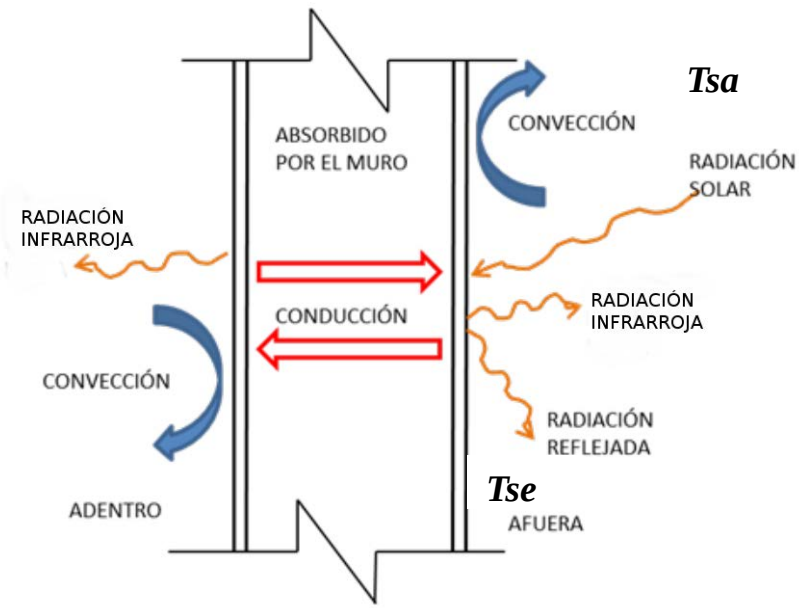
- **Convección forzada** – velocidad del viento
- **Convección natural** – dif. temperatura m/t y ambiente
- **Radiación solar absorbida** – rad incidente y absortancia solar de la superficie exterior del m/t
- **Radiación infrarroja** – dif. temperatura m/t y superficies "enfrente" y emisividad en onda larga de la superficie exterior del m/t

Interior

- **Convección forzada** – velocidad del aire al interior
- **Convección natural** – gradientes verticales de temp.
- **Radiación infrarroja** – dif. temperatura m/t y superficies "enfrente" y emisividad en onda larga de la superficie interior del m/t

Huelsz G, Molar M E., Velázquez J, 2014 Transferencia de calor en la Envolvente Arquitectónica y en el ser humano. En el libro Vivienda II Trabajos de Investigación. Coordinadores CA de Tecnología en la Arquitectura. Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación, Universidad Autónoma de Coahuila (ISBN: 978-607-506-199-3), 7-23.

Transferencia de calor a través de muros y techos



Exterior

- Convección forzada / Convección natural — he
- Radiación solar absorbida — $A\,I$
- Radiación infrarroja — $C_E = \begin{matrix} -3.9^oC & \text{techo} \\ 0^oC & \text{muro} \end{matrix}$

Temperatura sol-aire

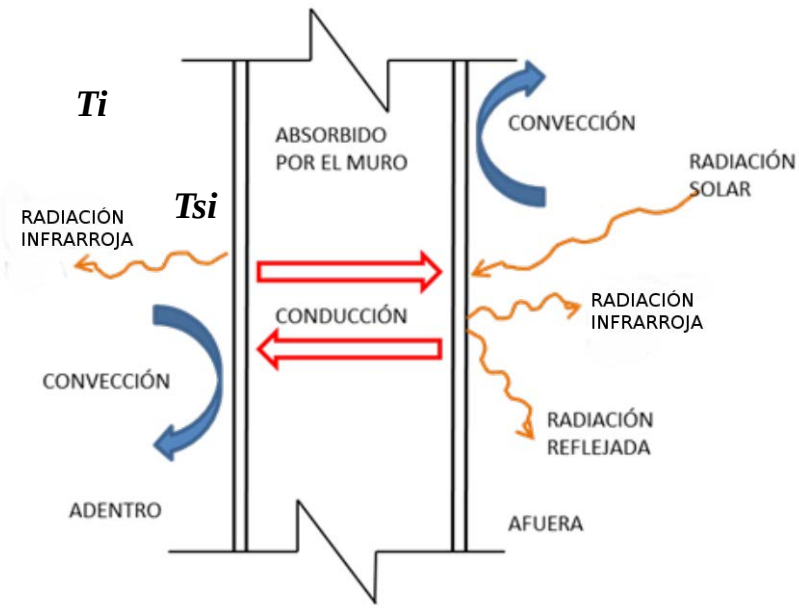
$$Tsa = Ta + \frac{AI}{he} + C_E$$

Tsa temperatura sol – aire
Ta temperatura ambiente
AI coeficiente de radiación solar absorbida
he coeficiente convectivo en exterior
C_E coeficiente de radiación infrarroja
q'' flujo de calor por unidad de área
Tse temperatura superficie exterior

Trasferencia de calor del exterior al muro/techo

$$q'' = he\,(Tsa - Tse)$$

Transferencia de calor a través de muros y techos



Interior

- Convección forzada
- Convección natural

hi

- Radiación infrarroja (se desprecia)

hi coeficiente convectivo en interior
q'' flujo de calor por unidad de área
Tsi temperatura superficie interior
Ti temperatura interior *

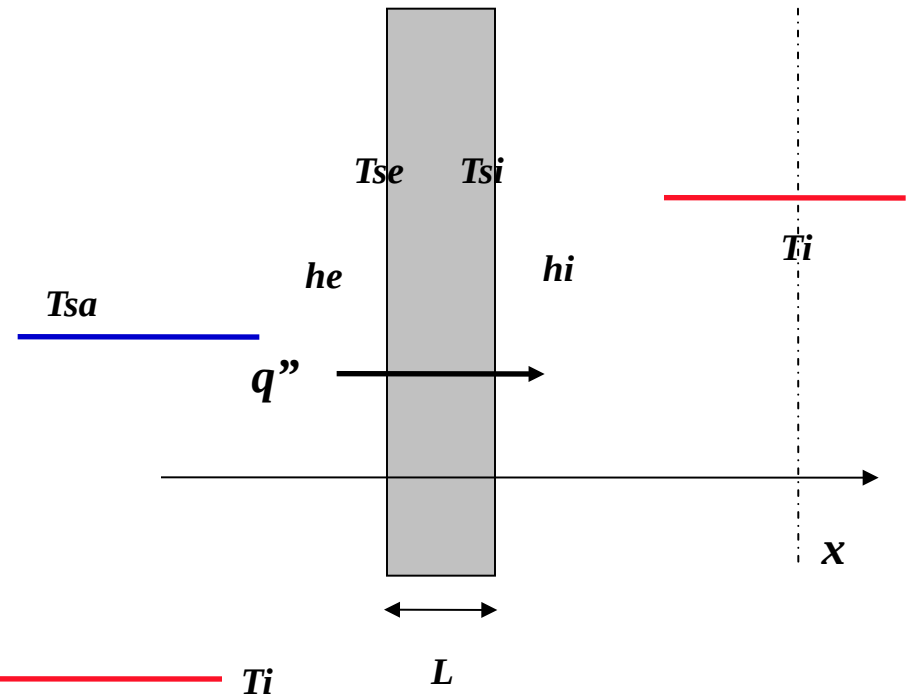
* las temperaturas se consideran de bulbo seco

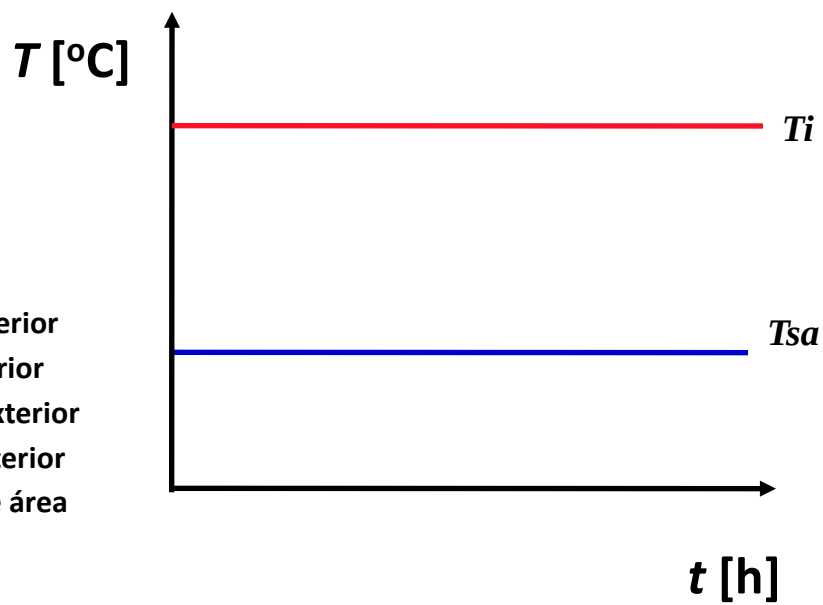
Trasferencia de calor del muro/techo al interior

$$q'' = hi\,(Tsi - Ti)$$

Modelo de transferencia de calor

independiente del tiempo

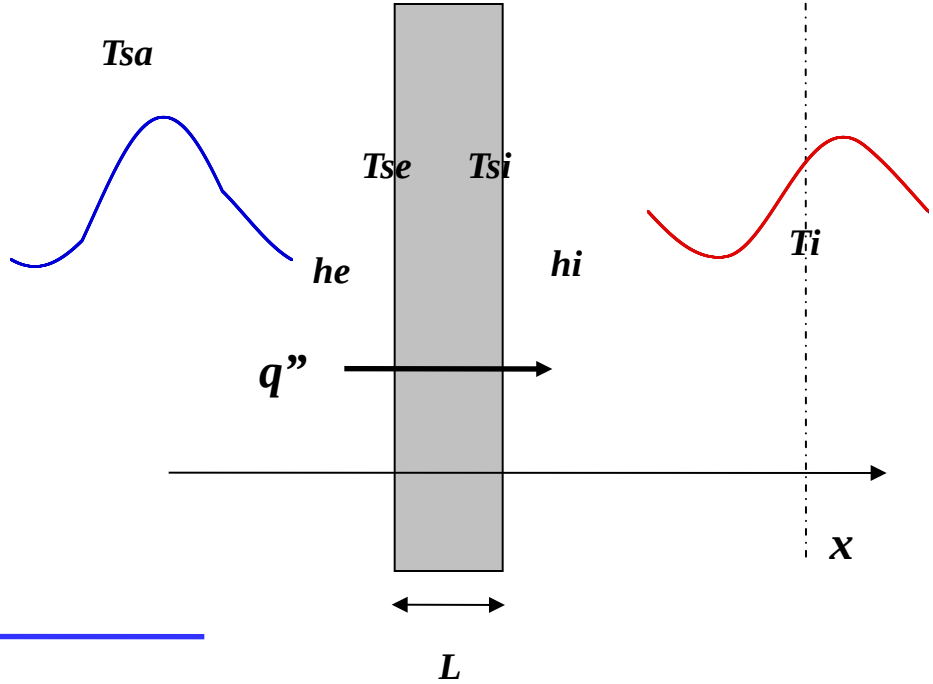


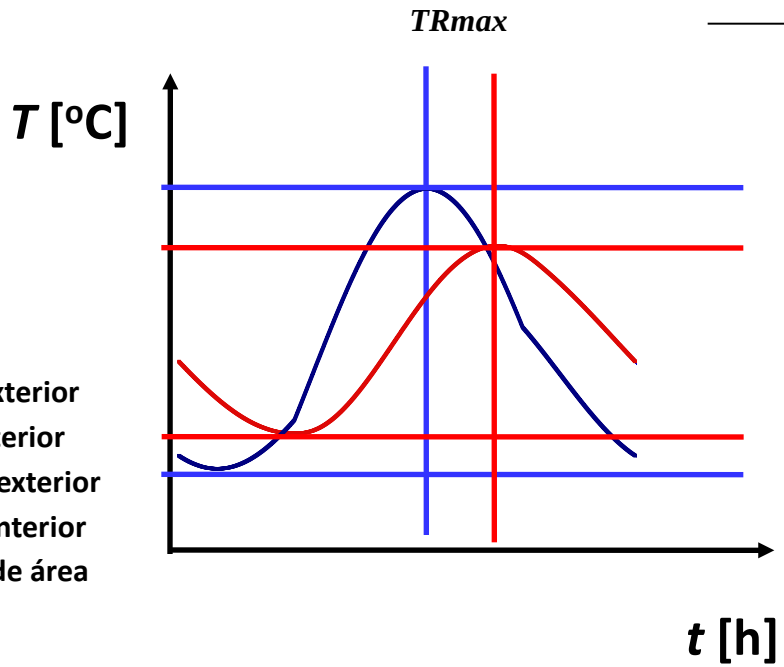


Tsa temperatura sol – aire
Ti temperatura interior
Tse temperatura superficie exterior
Tsi temperatura superficie interior
he coeficiente convectivo en exterior
hi coeficiente convectivo en interior
q’’ flujo de calor por unidad de área
L espesor de muro
x posición

Modelo de transferencia de calor

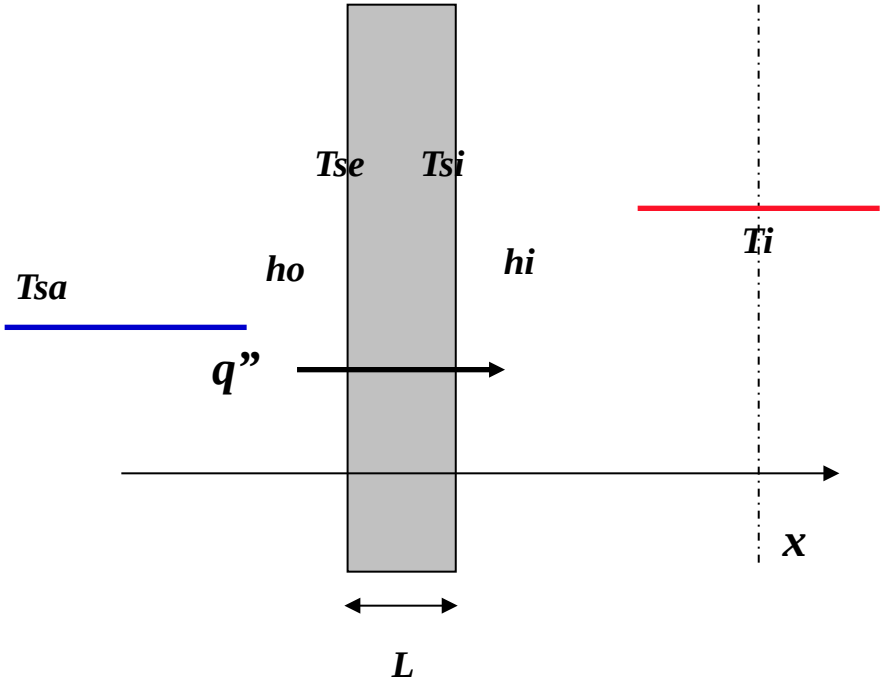
dependiente del tiempo





Tsa temperatura sol – aire
Ti temperatura interior
Tse temperatura superficie exterior
Tsi temperatura superficie interior
he coeficiente convectivo en exterior
hi coeficiente convectivo en interior
q’’ flujo de calor por unidad de área
L espesor de muro
x posición

Modelo de transferencia de calor independiente del tiempo



Muro o techo una capa

$$\cancel{\frac{\partial T}{\partial t}}^{=0} - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \qquad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

Condiciones de frontera

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{se} = \boxed{he}\left(Tsa - Tse\right)$$

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{si} = \boxed{hi}\left(Tsi - Ti\right)$$

Solución

$$q'' = \frac{Tsa - Ti}{R}$$

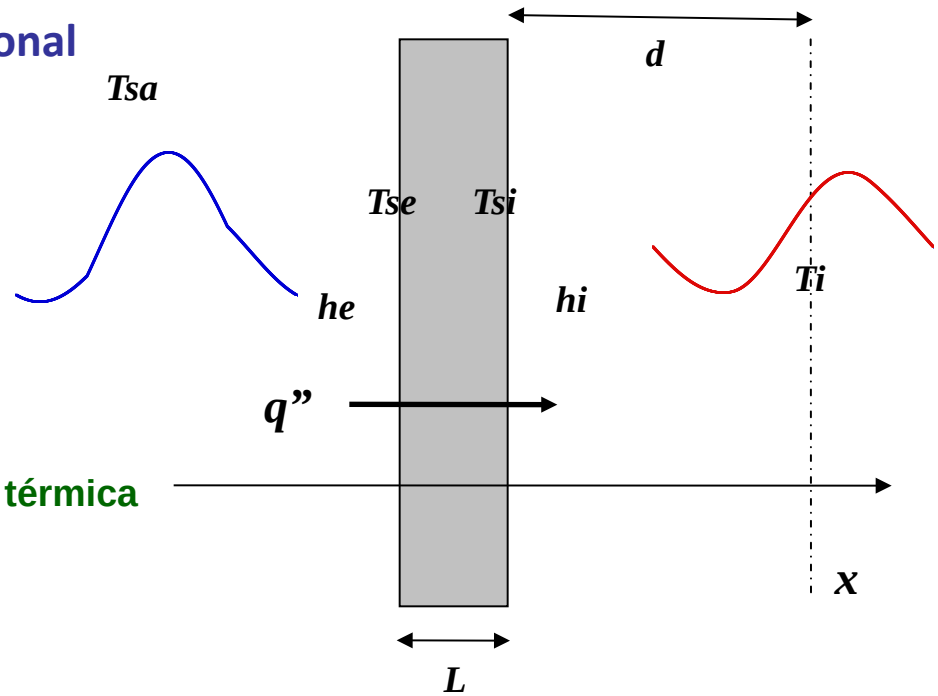
Resistencia térmica o *valor R*

$$R = \frac{1}{he} + \frac{L}{k} + \frac{1}{hi}$$

se desea *valor* ***R*** ↑

No toma en cuenta la masa térmica

Modelo de transferencia de calor unidimensional dependiente del tiempo (Simulación dinámica)



Muro o techo una capa

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \qquad \alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Masa térmica

Condiciones de frontera

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{se} = \boxed{he}\,(Tsa - Tse)$$

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{si} = \boxed{hi}\,(Tsi - Ti)$$

T temperatura
t tiempo
x posición
α difusividad térmica
k conductividad térmica
ρc densidad por calor específico
d distancia a zona donde q’’= 0
ρ_a densidad del aire
c_a calor específico del aire

Condiciones iniciales (arbitrarias)

Sin aire acondicionado

$$d\rho_a c_a \frac{\partial T_i}{\partial t} = h\,(Tsi - Ti)$$

Con aire acondicionado) $Ti = T_{AC} = cte$

se desea $\alpha \downarrow \quad k \downarrow$

Si toma en cuenta la masa térmica

solución por métodos numéricos

Comparación resultados

Simulaciones dependiente del tiempo (toma en cuenta la masa térmica)

VS

Simulaciones independiente del tiempo (no toma en cuenta la masa térmica)

Parámetros de simulación

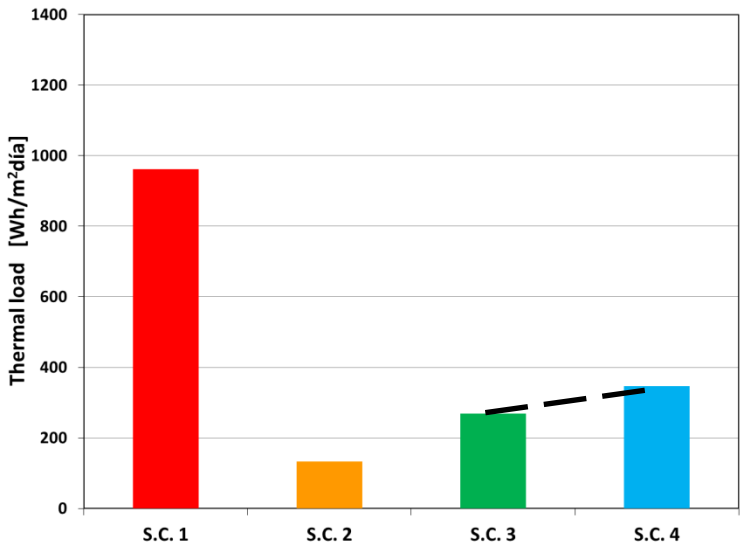
Techo horizontal
Lugar: Temixco, Morelos
Periods: Mayo
***he* = 13W/m^2 ^{o}C**
***hi* = 6.6W/m^2 ^{o}C**
***d* = 2.5m**
C_E = -3.9 ^{o}C
A = 0.7

Algunas referencias que han señalado la importancia de simulaciones dependiente del tiempo

- **Kuehn TH, Ramsey WW, Threlkeld JL, 2001. Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, New Jersey, p. 481-485 y 559-560.**
- **Energy Plus, 2012, EnergyPlus University Course Teaching Material, Lecture 7: Building Modeling Questions. p.26.**
- Barrios G, Huelsz G, Rechtman R, Rojas J, 2011. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms. Energy and Buildings 43, 219-223.
- Barrios G, Huelsz G, Rojas J 2011. Thermal evaluation of envelopes of non air-conditioned buildings. Proceedings CISBAT 2011, 14-16 September 2011. Lausanne, Switzerland. 135-140. (ISBN CD-version: 978-2-8399-0906-8 ISBN Print-version: Vol.I: 978-2-8399-0907-5 Vol.II: 978-2-8399-0918-1)
- Barrios G, Huelsz G, Rojas J. 2012. Thermal performance of envelope wall/roofs of intermittent air-conditioned rooms. Applied Thermal Engineering 40, 1-7.
- Huelsz, G., Rechtman, R., Rojas, R. 2009 Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación. Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Guadalajara, Jal., 28 septiembre- 3 octubre 2009, ABC-050, 237-240.
- Huelsz G., Barrios G., Rechtman R., Rojas J., 2010 Importancia del análisis de trasferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempaño térmico de la envolvente de una edificación. Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2010 Vol. X. Compilador Aníbal Figueroa Castrejón. Editorial Limusa y UAM Azcapotzalco, (ISBN 978-607-477-482-5) 7-19.

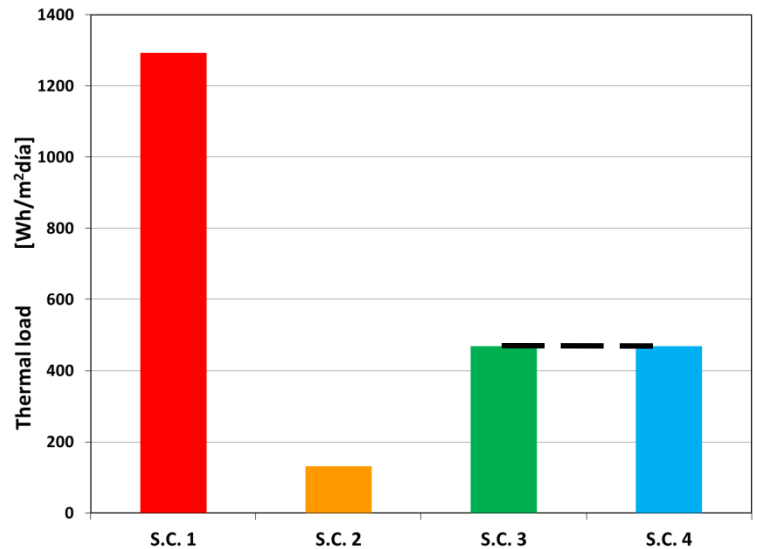
Con aire acondicionado - Carga térmica

Dependiente tiempo (Dt)
(si considera la masa térmica)



4 1 2 3
orden de mejor a peor

Independiente del tiempo (It)
(sólo valor R, no considera la masa térmica)



4 1 2-3 2-3
orden de mejor a peor

S.C.1 CAD (10cm) R=0.3 m^2ºC/W
S.C.2 EPS (10cm) R=2.7 m^2ºC/W
S.C.3 EPS (2cm) + CAD (8cm) R=0.8 m^2ºC/W
S.C.4 CAD (8cm) + EPS (2cm) R=0.8 m^2ºC/W

CAD Concreto alta densidad

EPS Poliestireno expandido

Observación

- **It y Dt clasifican S.C casi en mismo orden (al menos en estos ejemplos)**
- **It no distingue orden capas**

Con aire acondicionado - Carga térmica

Comparación Independiente del tiempo (It) VS Dependiente tiempo (Dt)

S.C.	Descripción ext a int (espesor)	*Valor R*	Dif It vs Dt
S.C.1	Concreto (10cm)	0.3 $m^{2o}C/W$	**34%**
S.C.2	EPS (10cm)	2.7 $m^{2o}C/W$	-1%
S.C.3	EPS 2cm + Concreto (8cm)	0.8 $m^{2o}C/W$	**74%**
S.C.4	Concreto (8cm) + EPS (2cm)	0.8 $m^{2o}C/W$	**35%**

Conclusión

Independiente del tiempo (solo valor R, no considera la masa térmica)

- **En sistemas constructivos con masa térmica sobre estima el valor de la carga térmica. Sobredimensionando equipos de aire acondicionado para esos S.C.**
- **Resultado señalado por referencias como Kuehn et al. 1998 y Energy Plus 2012.**

Kuehn T H, Ramsey J W, Threlkeld J L, 1998 Thermal environmental engineering /

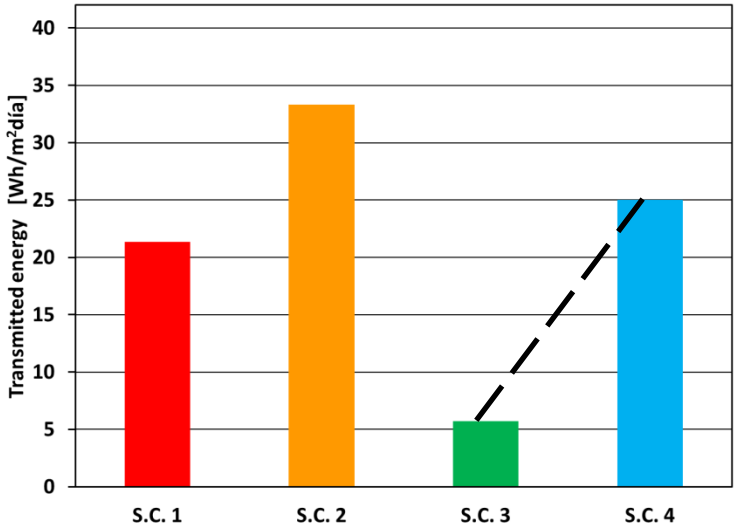
- 3rd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, p. 485
- Energy Plus, 2012, EnergyPlus University Course Teaching Material, Lecture 7: Building Modeling Questions. p.26.

Sin aire acondicionado – Energía transmitida*

*** Como las simulaciones son para un día típico del mes, son condiciones periódicas, por lo que la energía que entra por un sistema constructivo es la misma que sale del sistema y se reporta con el nombre de energía transmitida.**

Dependiente tiempo (Dt)

(si considera la masa térmica)

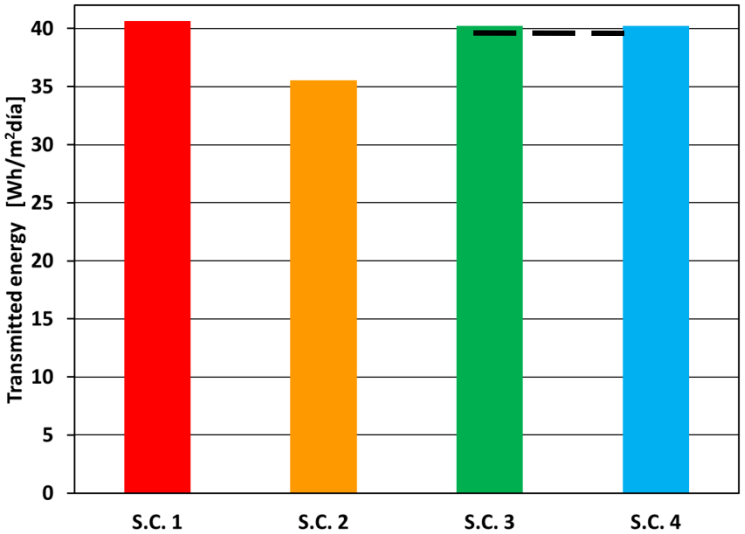


2 4 1 3

orden de mejor a peor

Independiente tiempo (It)

(no considera la masa térmica)



4 1 2-3 2-3

orden de mejor a peor

S.C.1 CAD (10cm) R=0.3 m²°C/W
S.C.2 EPS (10cm) R=2.7 m²°C/W
S.C.3 EPS (2cm) + CAD (8cm) R=0.8 m²°C/W
S.C.4 CAD (8cm) + EPS (2cm) R=0.8 m²°C/W

CAD Concreto alta densidad

EPS Poliestireno expandido

Observaciones

- **It sobre estima la energía transmitida.**
- **It y Dt NO clasifican S.C en mismo orden de mejor a peor**
- **It NO distingue posición de capas dentro del S.C.**

Sin aire acondicionado – Energía transmitida

Comparación Independiente del tiempo (It) VS Dependiente tiempo (Dt)

S.C.	Descripción ext a int (espesor)	*Valor R*	Dif It vs Dt
S.C.1	Concreto (10cm)	0.3 $m^{2o}C/W$	**91%**
S.C.2	EPS (10cm)	2.7 $m^{2o}C/W$	7%
S.C.3	EPS 2cm + Concreto (8cm)	0.8 $m^{2o}C/W$	**606%**
S.C.4	Concreto (8cm) + EPS (2cm)	0.8 $m^{2o}C/W$	**61%**

Conclusión

Independiente del tiempo (solo valor R, no considera la masa térmica)

- **En sistemas constructivos con masa térmica sobre estima el valor de la energía térmica transmitida.**
- **Puede clasificar incorrectamente el orden de mejor a peor configuración.**

Normatividad en México

Normas mexicanas para la eficiencia energética de la envolvente de edificios:

- **NOM-008_ENER-2001 (no residenciales)**
- **NOM-020_ENER-2011 (uso habitacional)**

Tienen por objetivo racionalizar el uso de energía en los sistemas de enfriamiento

- **No son operativas porque la construcción es competencia municipal**
- **Existe incongruencia entre objetivo y aplicabilidad en todo el país**
- **Están basadas en modelo de trasferencia de calor independiente del tiempo inadecuado para climas de México, ya que este presenta grandes variaciones de la temperatura a lo largo del día y alta radiación solar**

- **Sistema de calificación SiseVive del INFONAVIT también está basado en el modelo de trasferencia de calor no dependiente del tiempo.**

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER

Herramienta numérica

- De acceso gratuito, previo registro.
- Está disponible en la página **www.enerhabitat.unam.mx**
- Fácil uso (no toma en cuenta otros factores, como ventilación, cargas internas)
- Evalúa el desempeño térmico:
  - De techos y muros de la envolvente formados por capas homogéneas y algunos con una capa no homogénea
  - En el clima de las principales ciudades de México (día típico de cada mes)
  - En condiciones de:
    - Aire acondicionado (fija temperatura)
    - No aire acondicionado
  - Usa el modelo de transferencia de calor dependiente del tiempo
  - Es útil para comparar el desempeño de sistemas constructivos en una ciudad específica, en condiciones específicas de uso (con o sin aire acondicionado).

Ener-Habitat

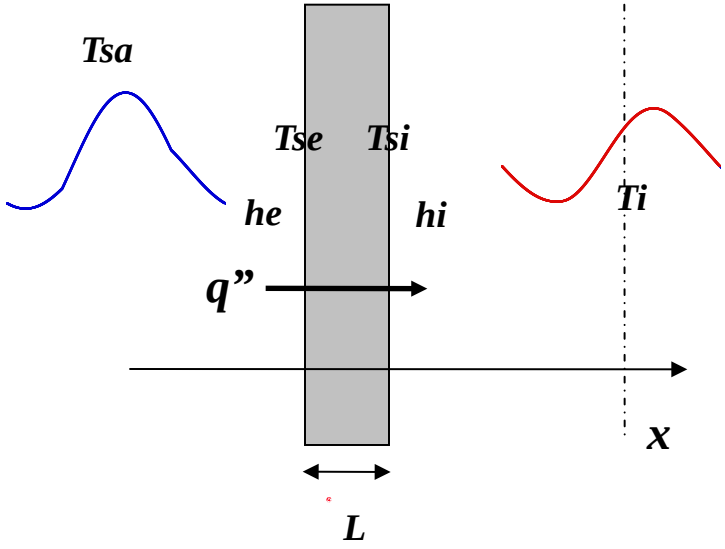
EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

Es el principal producto de un proyecto patrocinado por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER

Realizado por:

- **Instituto de Energías Renovables (antes Centro de Investigación en Energía) – Universidad Nacional Autónoma de México (líder)**
- **Programa de Arquitectura, Departamento de Bellas Artes - Universidad de Sonora**
- **Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo- Universidad Autónoma de Tamaulipas**
- **Facultad de Arquitectura y Diseño – Universidad de Colima**
- **Ingeniería Mecánica – Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico**
- **Arquitectura Bioclimática – Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco**

Modelo de transferencia de calor dependiente del tiempo (Simulación dinámica)



Muro o techo una capa

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \qquad \alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Condiciones de frontera

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{se} = \boxed{he}\,(Tsa - Tse)$$

$$q'' = -k \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{si} = \boxed{hi}\,(Tsi - Ti)$$

Condiciones iniciales (arbitrarias – hasta periódico)

$$Tsa = \boxed{Ta} + \frac{A\,\boxed{I}}{\boxed{he}} + \boxed{C_E}$$

Sin aire acondicionado

$$\boxed{d\rho_a c_a \frac{\partial T}{\partial t}} = \boxed{hi}\,(Tsi - Ti)$$

Con aire acondicionado

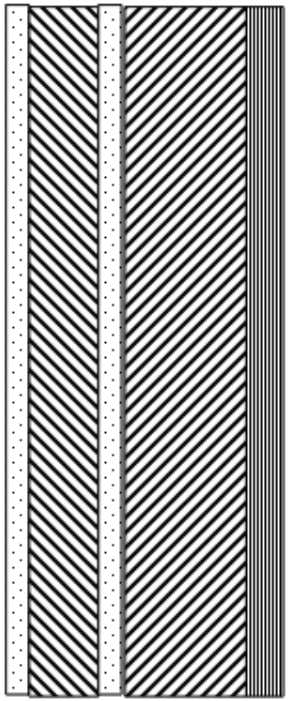
$$Ti = \boxed{T_{AC} = T_c}$$

he = 13W/m^2 °C
hi = 6.6W/m^2 °C
d =2.5m

$$C_E = \begin{cases} -3.9^oC & \text{techo} \\ 0^oC & \text{muro} \end{cases}$$

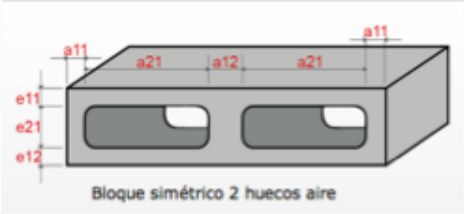
Base de datos de 80 ciudades de la República Mexicana

Sistemas constructivos formados por capas homogéneas (hasta 7 capas)

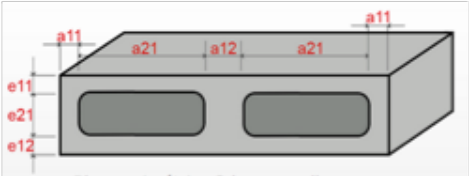


Sistemas constructivos con una capa no homogénea - Modelo en dos dimensiones

Muro

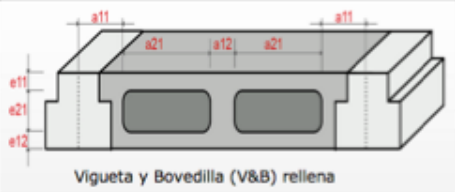


Bloque simétrico 2 huecos aire



Bloque simétrico 2 huecos relleno

Techo



Vigueta y Bovedilla (V&B) rellena

Doble vigueta y bovedilla sólida

En los huecos de aire se considera

- **Convección**
- **Radiación**

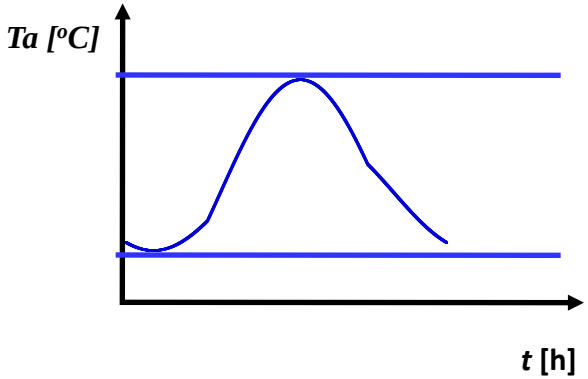
Cálculo de T_c

Modelo de temperatura de confort térmico o neutralidad

Adaptativo de Humphreys y Nicol y amplitud de zona de confort adaptado de Morillón

$$T_c - \Delta T_c/2 \leq Ti \leq T_c + \Delta T_c/2,$$

$$T_c = 13.5^oC + 0.54\ Ta$$



ΔTa (°C)	ΔT_c (°C)
ΔTa < 13	2.5
13 ≤ ΔTa < 16	3.0
16 ≤ ΔTa < 19	3.5
19 ≤ ΔTa < 24	4.0
24 ≤ ΔTa < 28	4.5
28 ≤ ΔTa < 33	5.0
33 ≤ ΔTa < 38	5.5
38 ≤ ΔTa < 45	6.0
45 ≤ ΔTa < 52	6.5
52 ≤ ΔTa	7.0

- Humphreys, M. A. y Nicol, F. J., "Outdoor tempera the relationship for the 1998 ASHRAE database files studies", ASHRAE Transactions, 106 (2), 2000, p. 485-492.
- Morillón, D. 2004, Atlas del bioclima de México, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.

Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

Con aire acondicionado

- ***Qe*** **Carga térmica de enfriamiento** **[Wh/m²dia]**

$$Qe = \sum_j hi\,(Tsi - Ti)\,\Delta t_j \qquad si \qquad Tsi > Ti$$

- ***Qc*** **Carga térmica de calentamiento** **[Wh/m²dia]**

$$Qc = \sum_j hi\,(Ti - Tsi)\,\Delta t_j \qquad si \qquad Ti > Tsi$$

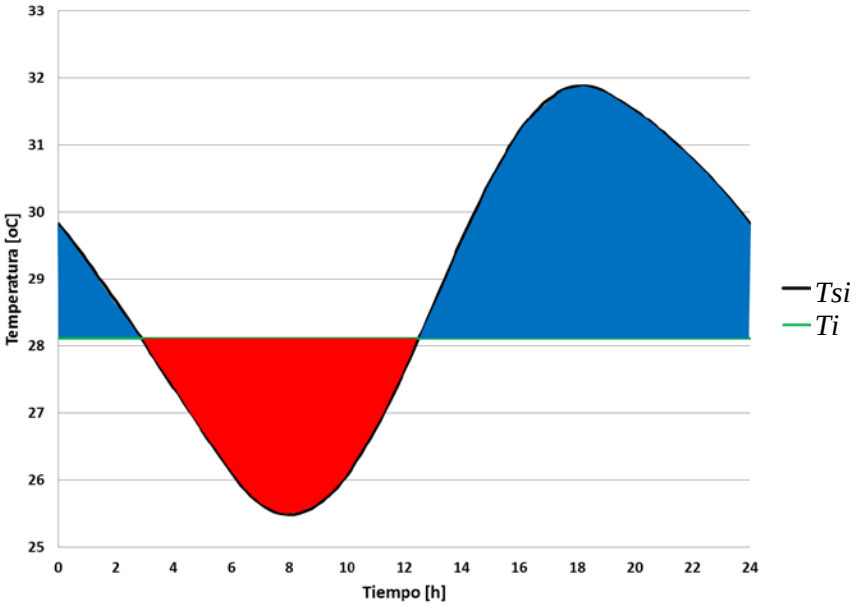
- ***Q*** **Carga térmica total (enfriamiento + calentamiento)** **[Wh/m²dia]**

$$Q = Qe + Qc$$

Menor valor

- ***Qe***
- ***Qc***
- ***Q***

Mejor sistema constructivo



Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

Con aire acondicionado

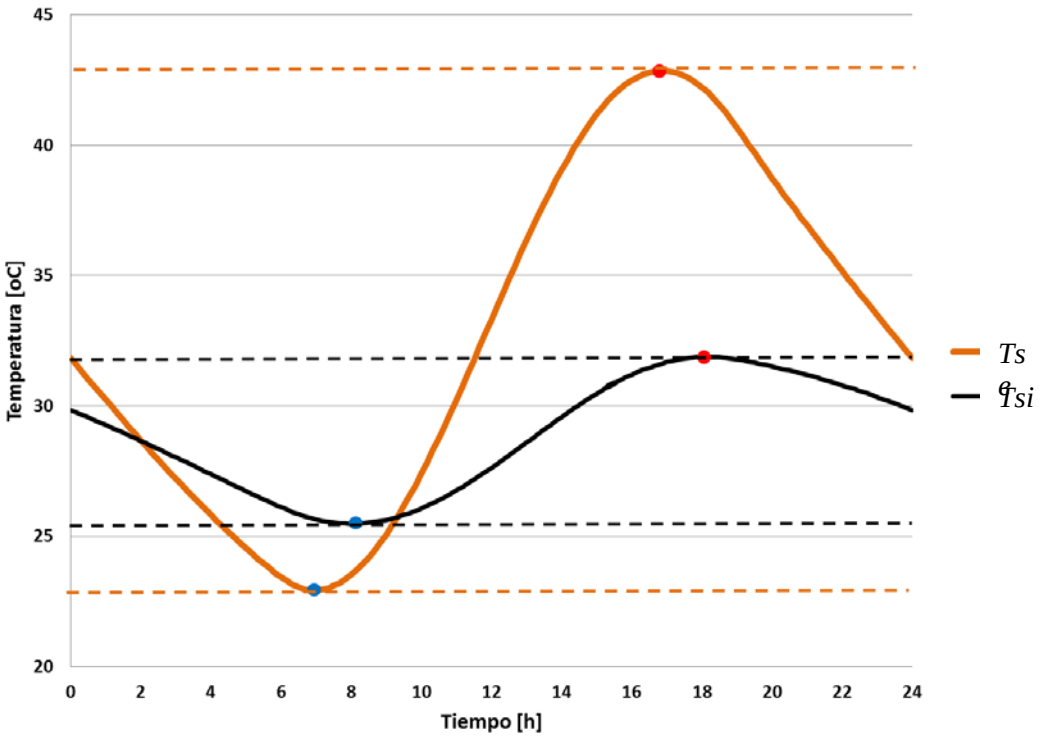
- FD_s **Factor de decremento superficial** **[-]**

$$FD_s = \frac{Tsi_{max} - Tsi_{min}}{Tse_{max} - Tse_{min}} \qquad 0 \leq FD_s \leq 1$$

Menor valor

- FD_s

Mejor sistema constructivo



Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

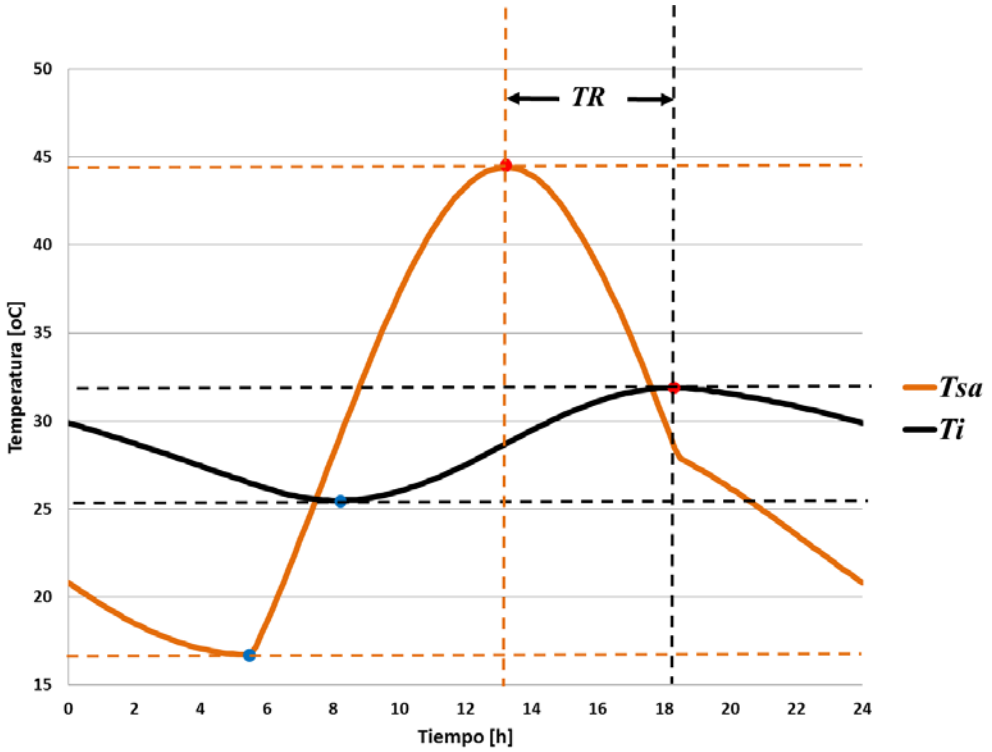
Sin aire acondicionado

- ***FD*** **Factor de decremento** **[-]**

$$FD = \frac{Ti_{\max} - Ti_{\min}}{Tsa_{\max} - Tsa_{\min}} \qquad 0 \le FD \le 1$$

- ***TR*** **Tiempo de retraso** **[h]**

$$TR = t(Ti_{\max}) - t(Tsa_{\max})$$



Menor valor

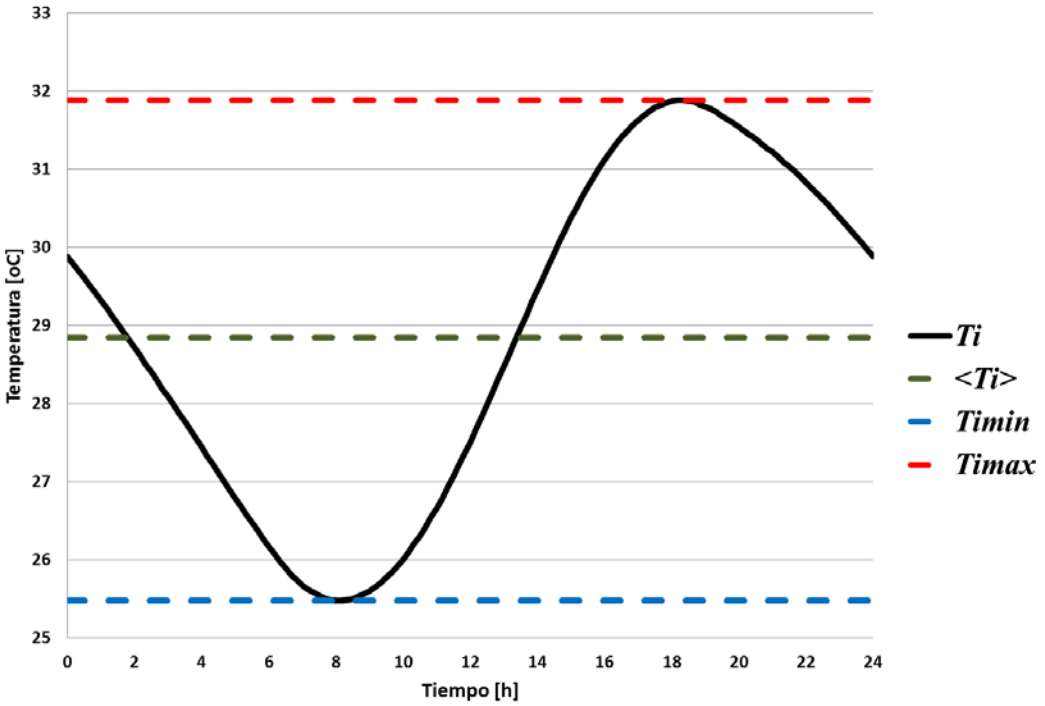
- ***FD***

Mejor sistema constructivo

Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

Sin aire acondicionado

- *<Ti>* Temperatura interior promedio [ºC]
- *Timin* Temperatura interior mínima[ºC]
- *Timax* Temperatura interior máxima [ºC]



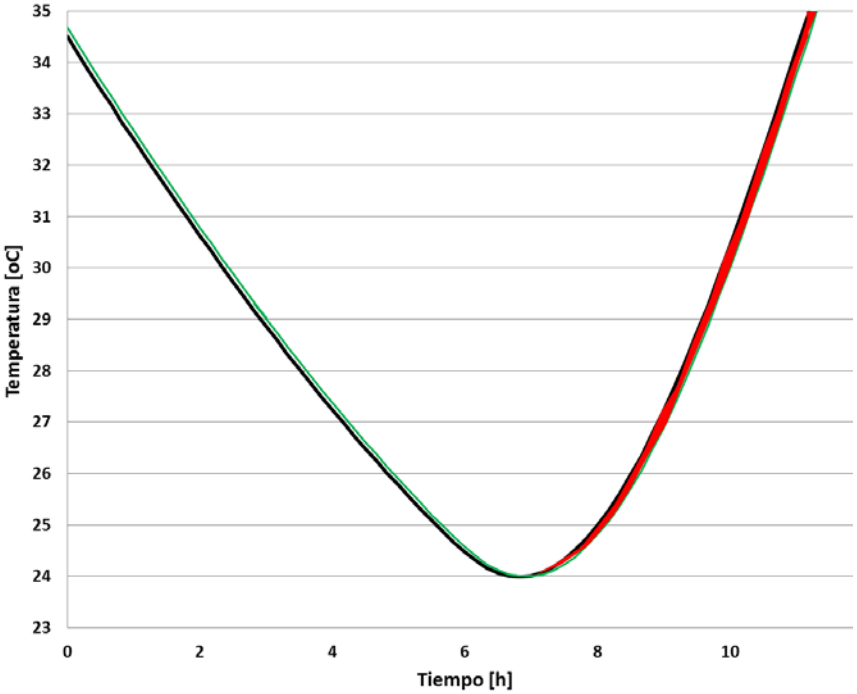
Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

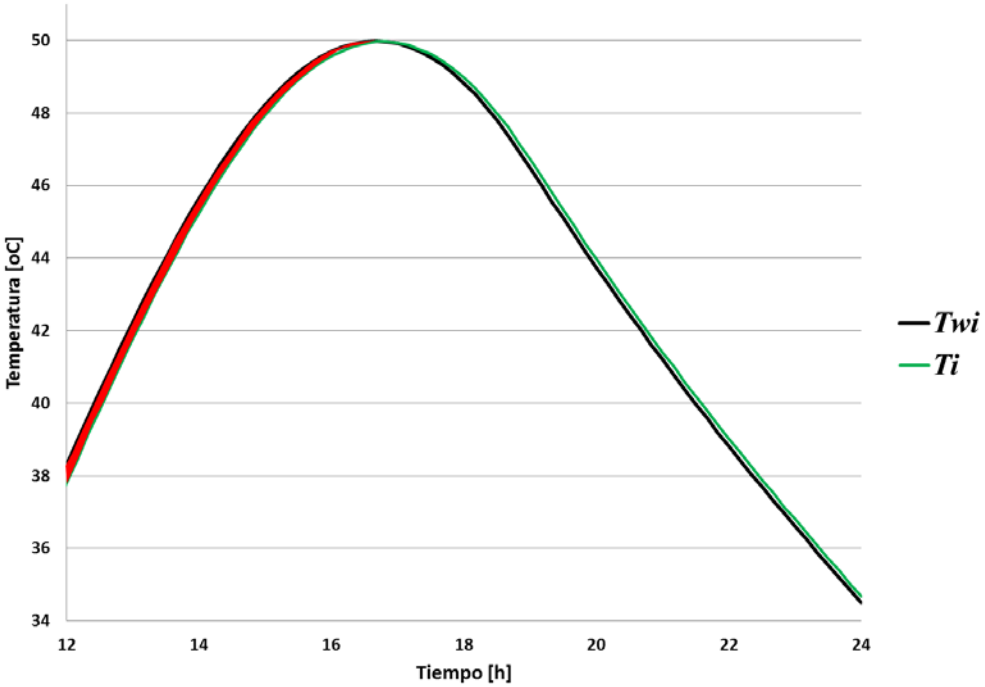
Sin aire acondicionado

- ET Energía transferida [Wh/m²dia]

  como es periódico se toma solo la energía de entrada

$$ET = \sum_j hi(Tsi - Ti)\Delta t_j \qquad \text{si} \qquad Tsi > Ti$$





Menor valor ET Mejor sistema constructivo

Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

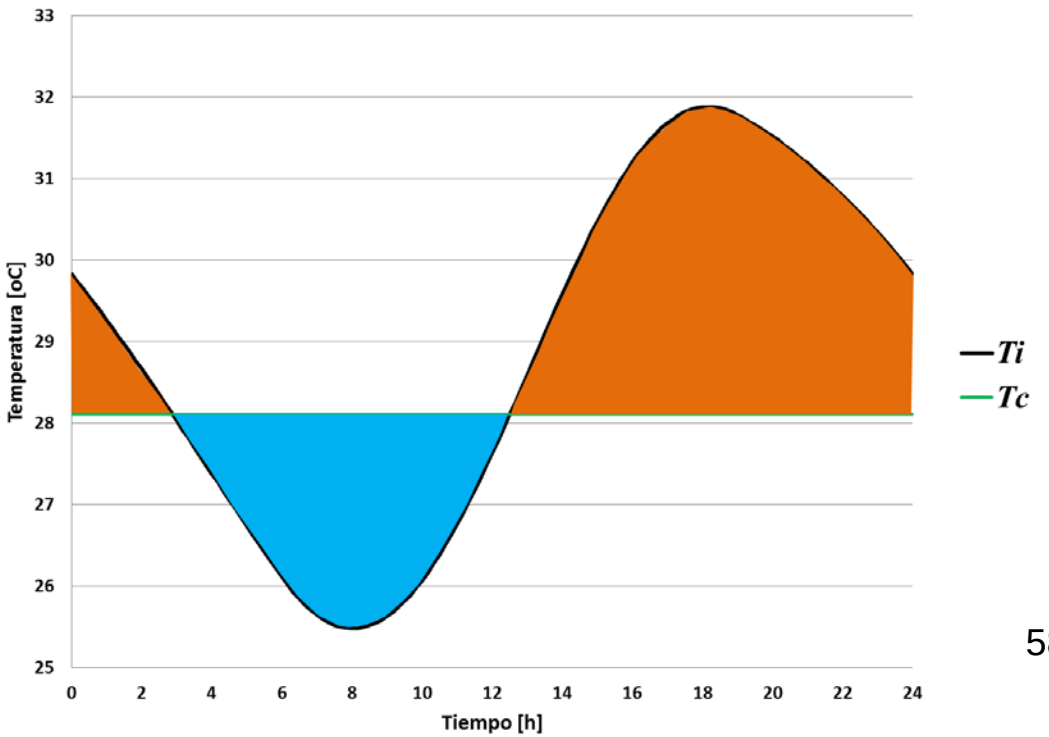
Sin aire acondicionado

- **DDHcal** **Grados hora de disconfort cálido** **[ºC h]**

$$DDHcal = \sum_j (Ti - T_c)\Delta t_j \qquad \text{si} \qquad Ti > T_c$$

- **DDHfrio** **Grados hora de disconfort frío** **[ºC h]**

$$DDHfrio = \sum_j (T_c - Ti)\Delta t_j \qquad \text{si} \qquad Ti < T_c$$

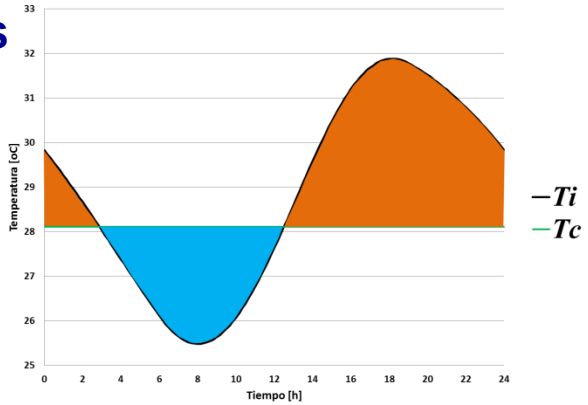


Menor valor

- *DDHcal*
- *DDHfrio*

Mejor sistema constructivo

Parámetros de evaluación de sistemas constructivos



Sin aire acondicionado

$$Tsa = Ta + \frac{AI}{ho} + C_E$$

- **IDTcal** **Índice de disconfort térmico cálido** **[-]**

$$IDTcal = \left(1 - \frac{\sum (Ti - T_c)}{\sum (Tsa_1 - T_c)}\right) \times 100 \quad \text{si} \quad Ti > T_c \ \text{ y } \ Tsa_1 > T_c$$

$$0 \le IDTcal \le 100$$

$$Tsa_1 = Ta + \frac{I}{he} + C_E \qquad A = 1$$

lámina delgada captador solar perfecto

- **IDTfrio** **Índice de disconfort térmico frío** **[-]**

$$IDTfrio = \left(1 - \frac{\sum (T_c - Ti)}{\sum (T_c - Tsa_0)}\right) \times 100 \quad \text{si} \quad Ti < T_c \ \text{ y } \ Tsa_0 < T_c$$

$$0 \le IDTfrio \le 100$$

$$Tsa_0 = Ta + C_E \qquad A = 0$$

lámina delgada cero captación solar

Mayor valor ***IDTcal*** **e** ***IDTfrio*** **Mejor sistema constructivo**

Parámetros de evaluación de sistemas constructivos

Sin aire acondicionado

Parámetro	Sistema constructivo	Absortancia solar	Clima Ta - I	Temperatura confort
FD				
TR				
<Ti>				
Timin				
Timax				
ET				
DDHcal				
DDHfrio				
IDTcal				
IDTfrio				

- **Barrios G, Huelsz G, Rojas J, Ochoa J. M, Marincic I. 2012 Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. Energy and Buildings 50, 120-127.**

www.enerhabitat.unam.mx

www.enerhabitat.unam.mx **Registro**

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

Política de uso de Ener-Habitat

El registro y el uso de Ener-Habitat son gratuitos. Si el usuario publica o hace uso de resultados generados con este programa para cualquier fin, se compromete a manifestar explícitamente que los datos fueron generados por Ener-Habitat.

La herramienta Ener-Habitat está siendo desarrollada por académicos con el propósito de colaborar en el diseño y uso de sistemas constructivos de muros y techos de la envolvente acordes al clima y a la condición de operación de la edificación.

Registro

Usuario:

Contraseña:

Contraseña:

Nombre:

Actividad: Constructor

Empresa o institución:

e-mail:

- [ ] Acepto las políticas de uso de Ener-Habitat y de uso de datos personales
- [ ] Deseo recibir información sobre actualizaciones
- [ ] Acepto ser consultado sobre mi opinión de este programa

Borrar | Crear

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

Los resultados de la herramienta son con fines comparativos. La temperatura del aire al interior, los valores de la energía y otros parámetros reportados, son resultado de la trasferencia de calor exclusivamente por el sistema constructivo en evaluación. No representan los valores que tendrán en situaciones reales en donde existen otros factores a considerar. Los desarrolladores de esta herramienta deslindamos toda responsabilidad de los resultados utilizados en otro sentido. Al ser una herramienta en desarrollo, pueden existir errores, si detecta alguno, favor de comunicarlo a enerhabitat@cie.unam.mx , ayúdanos así a mejorarla.

Registro

Usuario:

Contraseña:

Contraseña:

Nombre:

Actividad: Constructor

Empresa o institución:

e-mail:

- [ ] Acepto las políticas de uso de Ener-Habitat y de uso de datos personales
- [ ] Deseo recibir información sobre actualizaciones
- [ ] Acepto ser consultado sobre mi opinión de este programa

Borrar | Crear

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER SECRETARÍA DE ENERGÍA

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

valores que tendrán en situaciones reales en donde existen otros factores a considerar. Los desarrolladores de esta herramienta deslindamos toda responsabilidad de los resultados utilizados en otro sentido. Al ser una herramienta en desarrollo, pueden existir errores, si detecta alguno, favor de comunicarlo a enerhabitat@cie.unam.mx , ayúdanos así a mejorarla.

Política de uso de datos personales

La información que se solicita no será proporcionada a terceros. Sólo será utilizada con fines estadísticos sobre el uso de la herramienta.

- [x] Acepto las políticas de uso de Ener-Habitat y de uso de datos personales
- [ ] Deseo recibir información sobre actualizaciones
- [ ] Acepto ser consultado sobre mi opinión de este programa

Registro

Usuario:

Contraseña:

Contraseña:

Nombre:

Actividad: Constructor

Empresa o institución:

e-mail:

Borrar | Crear

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

valores que tendrán en situaciones reales en donde existen otros factores a considerar. Los desarrolladores de esta herramienta deslindamos toda responsabilidad de los resultados utilizados en otro sentido. Al ser una herramienta en desarrollo, pueden existir errores, si detecta alguno, favor de comunicarlo a enerhabitat@cie.unam.mx , ayúdanos así a mejorarla.

Política de uso de datos personales

La información que se solicita no será proporcionada a terceros. Sólo será utilizada con fines estadísticos sobre el uso de la herramienta.

- [x] Acepto las políticas de uso de Ener-Habitat y de uso de datos personales
- [ ] Deseo recibir información sobre actualizaciones
- [ ] Acepto ser consultado sobre mi opinión de este programa

Registro

Usuario:

Contraseña:

Contraseña:

Nombre:

Actividad: Estudiante

Empresa o institución:

e-mail:

Borrar | Crear

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER

Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

¿Qué es? | ¿Cómo se usa? | ¿Quiénes somos? | Contacto

valores que tendrán en situaciones reales en donde existen otros factores a considerar. Los desarrolladores de esta herramienta deslindamos toda responsabilidad de los resultados utilizados en otro sentido. Al ser una herramienta en desarrollo, pueden existir errores, si detecta alguno, favor de comunicarlo a enerhabitat@cie.unam.mx , ayúdanos así a mejorarla.

Política de uso de datos personales

La información que se solicita no será proporcionada a terceros. Sólo será utilizada con fines estadísticos sobre el uso de la herramienta.

- [x] Acepto las políticas de uso de Ener-Habitat y de uso de datos personales
- [ ] Deseo recibir información sobre actualizaciones
- [ ] Acepto ser consultado sobre mi opinión de este programa

Registro

Usuario:	gpecie
Contraseña:	••••••
Contraseña:	••••••
Nombre:	Guadalupe Huelsz
Actividad:	Investigador
Empresa o institución:	UNAM
e-mail:	ghl@cie.unam.mx

Borrar | Crear

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

IER FADU cenidet CONACYT SENER

Después de crear la cuenta **(para verificar que el correo es válido)**

Ener-Habitat envía un correo con una liga

Darle *click* a esa liga

Se activa la cuenta

Guadalupe Huelsz
Investigadora IER-UNAM
http://www.ier.unam.mx/academicos/ghl/

Ana Gómez
Investigadora Universidad Autónoma de Coahuila
Colaboró en la elaboración de esta presentación

IER
Instituto de Energías Renovables

GRUPO DE ENERGÍA EN EDIFICACIONES – IER-UNAM
http://www.ier.unam.mx/investigacion/gee.html

POSGRADOS EN EL IER- UNAM Temixco, Morelos
Maestría y doctorado en:

- » **Ingeniería en Energía**
  - **Diseño bioclimático de edificaciones**
- » **Ciencias Físicas**
- » **Ciencias e Ingeniería de Materiales**
- » **Ciencias de la Sostenibilidad**

http://www.ier.unam.mx/