

**Ener-Habitat: Herramienta para seleccionar sistemas constructivos que propicien el confort térmico al interior de la edificación sin acondicionamiento de aire o el que reduzca la demanda de energía cuando se usa acondicionamiento de aire**

Guillermo Barrios, Guadalupe Huelsz y Jorge Rojas

Instituto de Energías Renovables - UNAM

[jrm@ier.unam.mx](mailto:jrm@ier.unam.mx)

# ¿que es E-H?

- Ener-Habitat es una herramienta de cálculo que fue desarrollada para analizar el desempeño térmico de sistemas constructivos opacos de la envolvente de una edificación.
- Toma en cuenta la variación diaria de la temperatura y de la radiación solar.
- 
- Puede seleccionar el sistema constructivo que propicie el confort higrotérmico al interior de la edificación cuando no se usa acondicionamiento de aire o seleccionar el que reduzca la demanda de energía cuando se usa acondicionamiento de aire.



# Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

[¿Qué es?](#)

[¿Cómo se usa?](#)

[¿Quiénes somos?](#)

[Contacto](#)



No eres usuario

[Regístrate](#)

Usuario:

Contraseña:

[Entrar](#)

[Editar cuenta](#)

Olvidaste tu contraseña

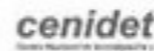
[Recupera](#)

Proyecto: Vivienda Bioclimática. Laboratorio de Energía, Medio Ambiente y Arquitectura UNISON. Imagen Arq. Carlos B. Gámez

Ruiz

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome



## 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)
- Departamento de Arquitectura - 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



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



**cenidet**  
Centro Nacional de Investigación y  
Desarrollo Tecnológico



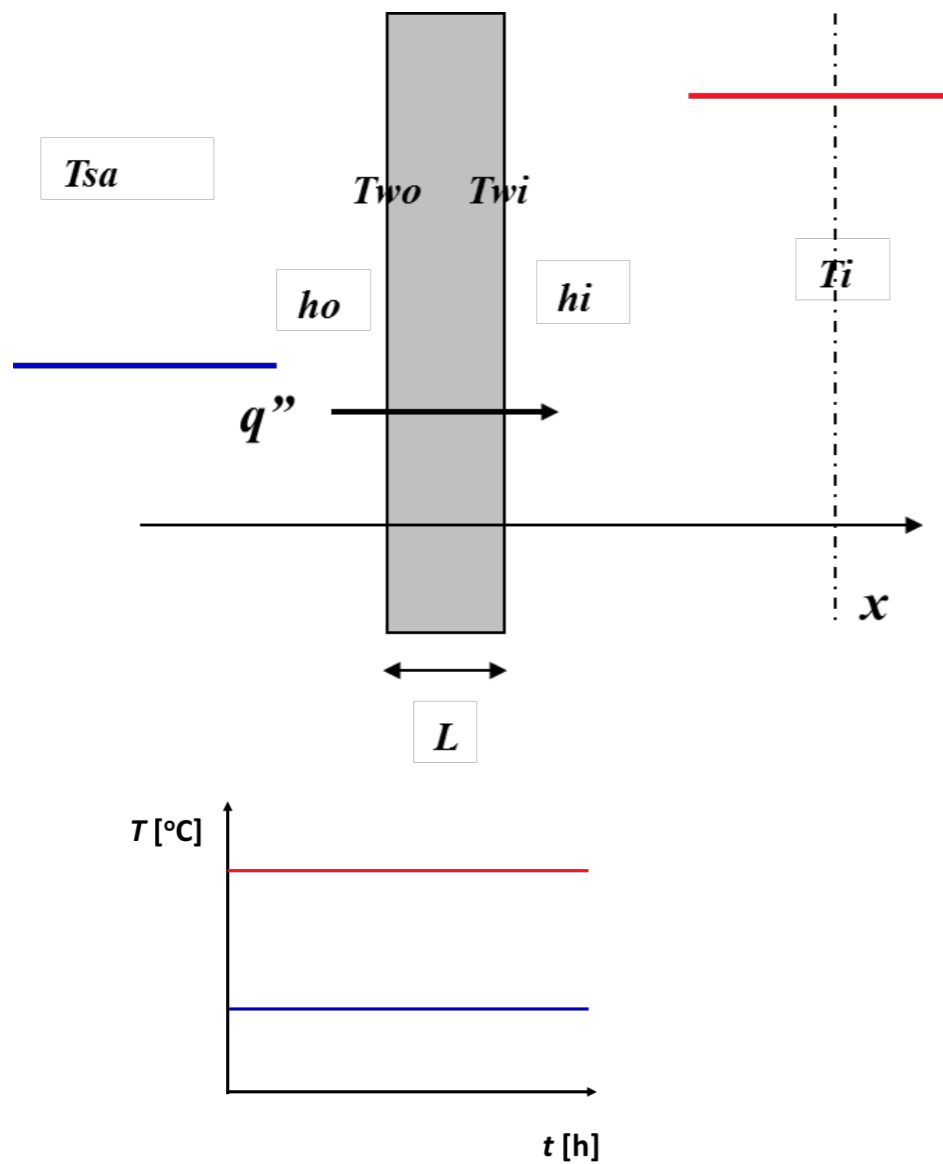
# Herramienta numérica



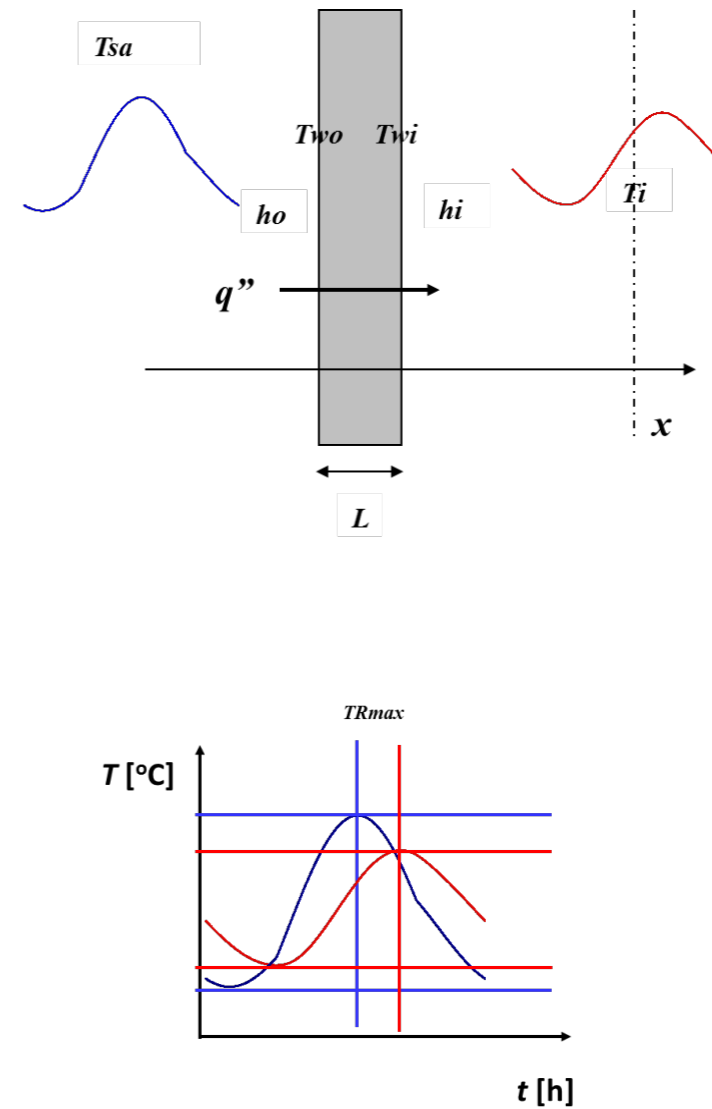
- De acceso **gratuito**, previo registro.
- Está disponible en la página [www.enerhabitat.unam.mx](http://www.enerhabitat.unam.mx)
- Fácil uso (no toma en cuenta otros factores, como ventilación, cargas internas)
- Evalúa el desempeño térmico:
  - De techos y muros de la envolvente formados por capas 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).

# Diferencias de la evaluación de sistemas constructivos de muro y techo de la envolvente entre los modelos de transferencia de calor independiente del tiempo y del dependiente del tiempo

## independiente del tiempo



## dependiente del tiempo

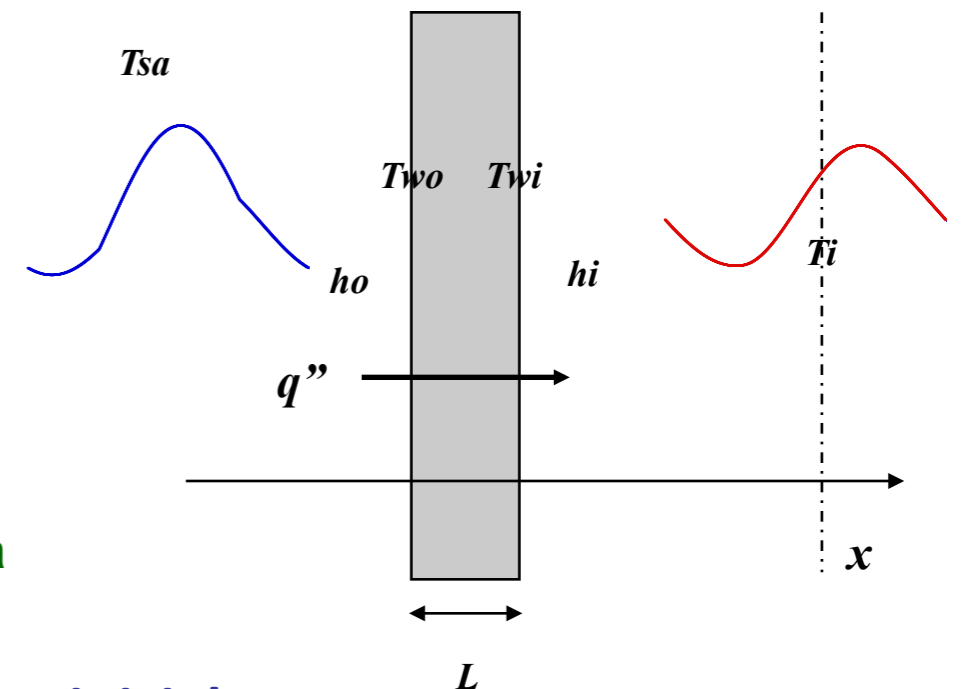


# Modelo de transferencia de calor **dependiente del tiempo** (Simulación dinámica)

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

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Masa térmica



Condiciones iniciales (arbitrarias)

Condiciones de frontera

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{wo} = ho(Tsa - Ttwo)$$

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{wi} = hi(Tw_i - Ti)$$

Sin aire acondicionado

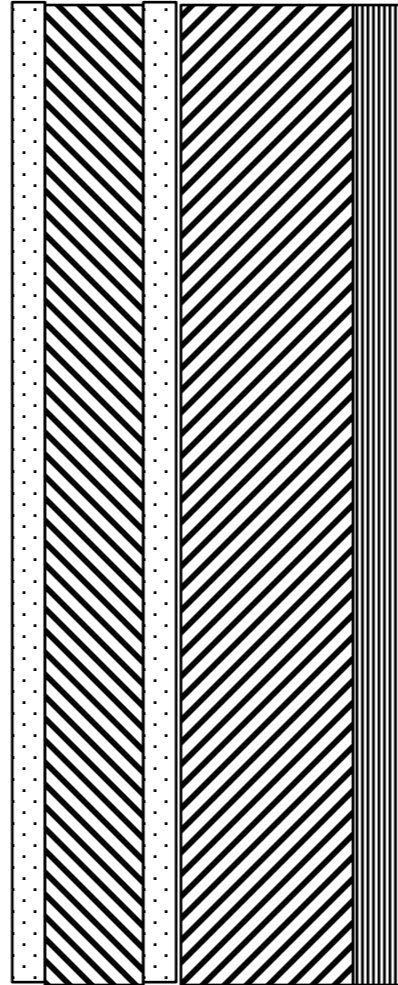
$$d\rho_a c_a \frac{\partial Ti}{\partial t} = hi(Tw_i - Ti)$$

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

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

**Si toma en cuenta la masa térmica**

# Sistemas constructivos formados por capas homogéneas (hasta 7 capas)





# Lugar

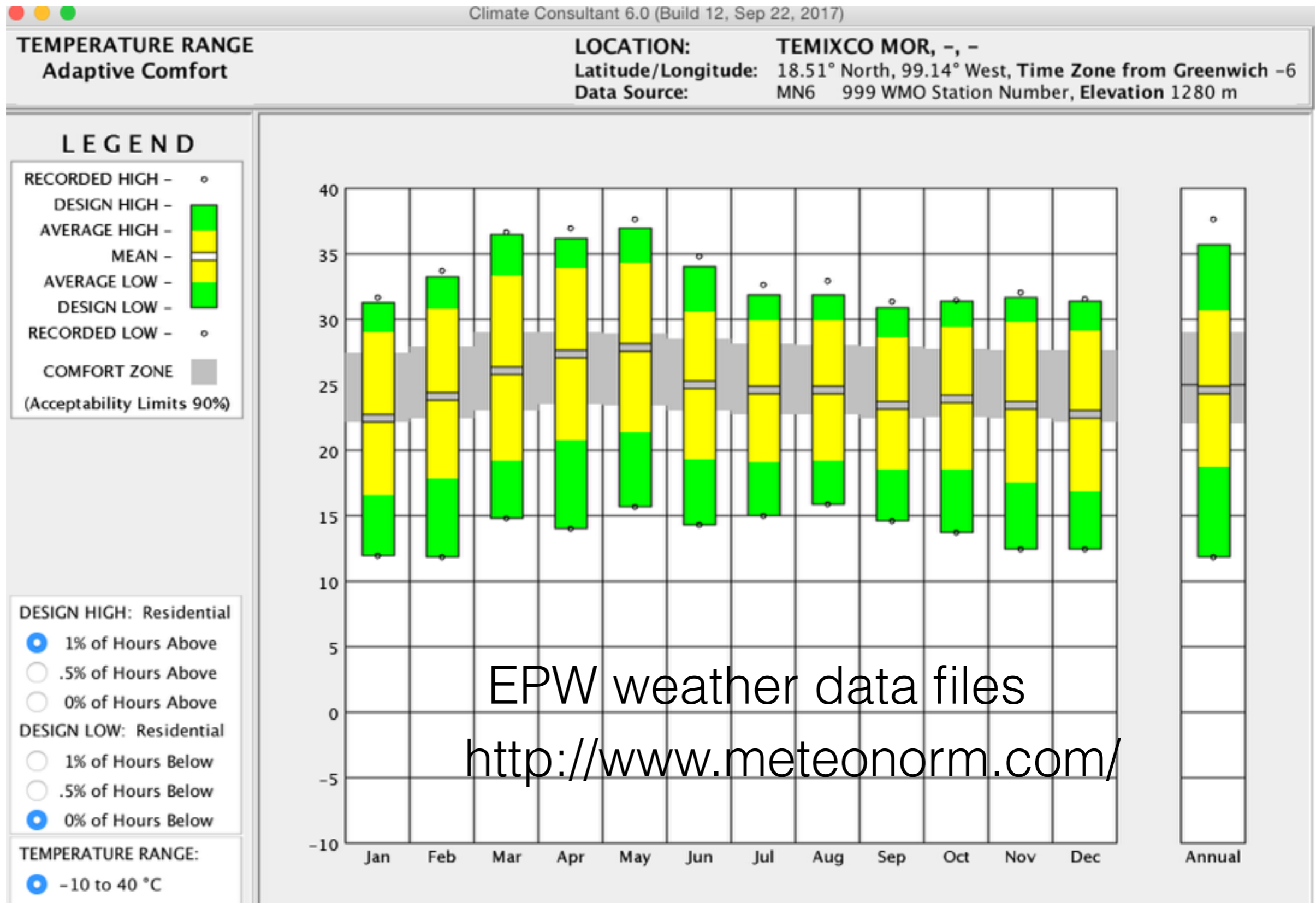
- **Temixco**
- **Se ubica en la parte noroeste del Estado, en las coordenadas 18° 51' de latitud norte y los 99°14' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, se encuentra a una altura de 1,280 msnm.**
- **Clima**
- **El municipio cuenta con tres zonas climatológicas que son: templado, subhúmedo la cual presenta una temperatura media de 18 a 21 °C; semicálido que presenta una temperatura media de 21° a 24° grados centígrados; y el cálido semihúmedo que presenta una temperatura media de 24° a 26° grados centígrados.**
- **La presentación pluvial en la cota de 1900 msnm presenta una precipitación pluvial de 1200 mm anuales, entre las cotas 1900 y °500, su precipitación pluvial anual es de 1000 mm. los vientos dominantes son del noroeste hacia el suroeste con velocidad promedio. El período de lluvias es del mes de junio a octubre.**

# Otros lugares

- **Puebla:** El clima es de tipo templado, influenciado mucho por la altitud de la ciudad (algo más de 2000 msnm). Con una oscilación térmica anual en las temperaturas medias bastante pequeña, 7°C de diferencia. La temperatura media anual se sitúa en los 17°C
- **Monterrey:** El clima es de tipo semiárido cálido. Con las estaciones bien delimitadas y condiciones bastante extremas. En verano el calor llega a ser agobiante, y los inviernos son bastante fríos. La temperatura media de la ciudad ronda los 24°C – 25°C. Con una amplitud térmica anual elevada; las máximas superan en ocasiones los 40°C mientras que las mínimas llegan a estar cerca de 0°C
- **Mérida:** clima es tipo cálido, húmedo, con lluvias en verano (de junio a octubre) y una temperatura media mensual de 25°C

# Temperaturas Temixco

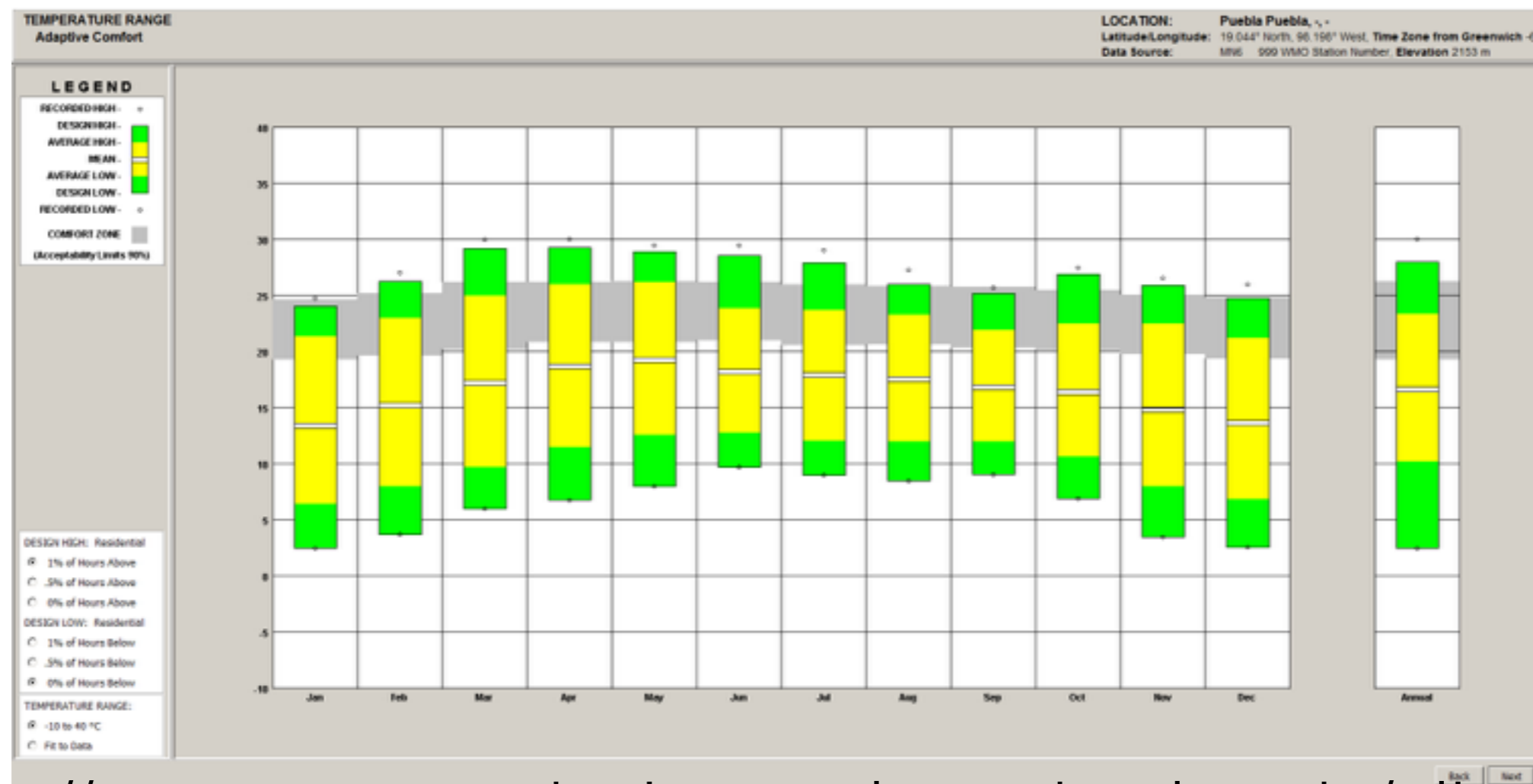
[www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php](http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php)



# Temperatura Puebla

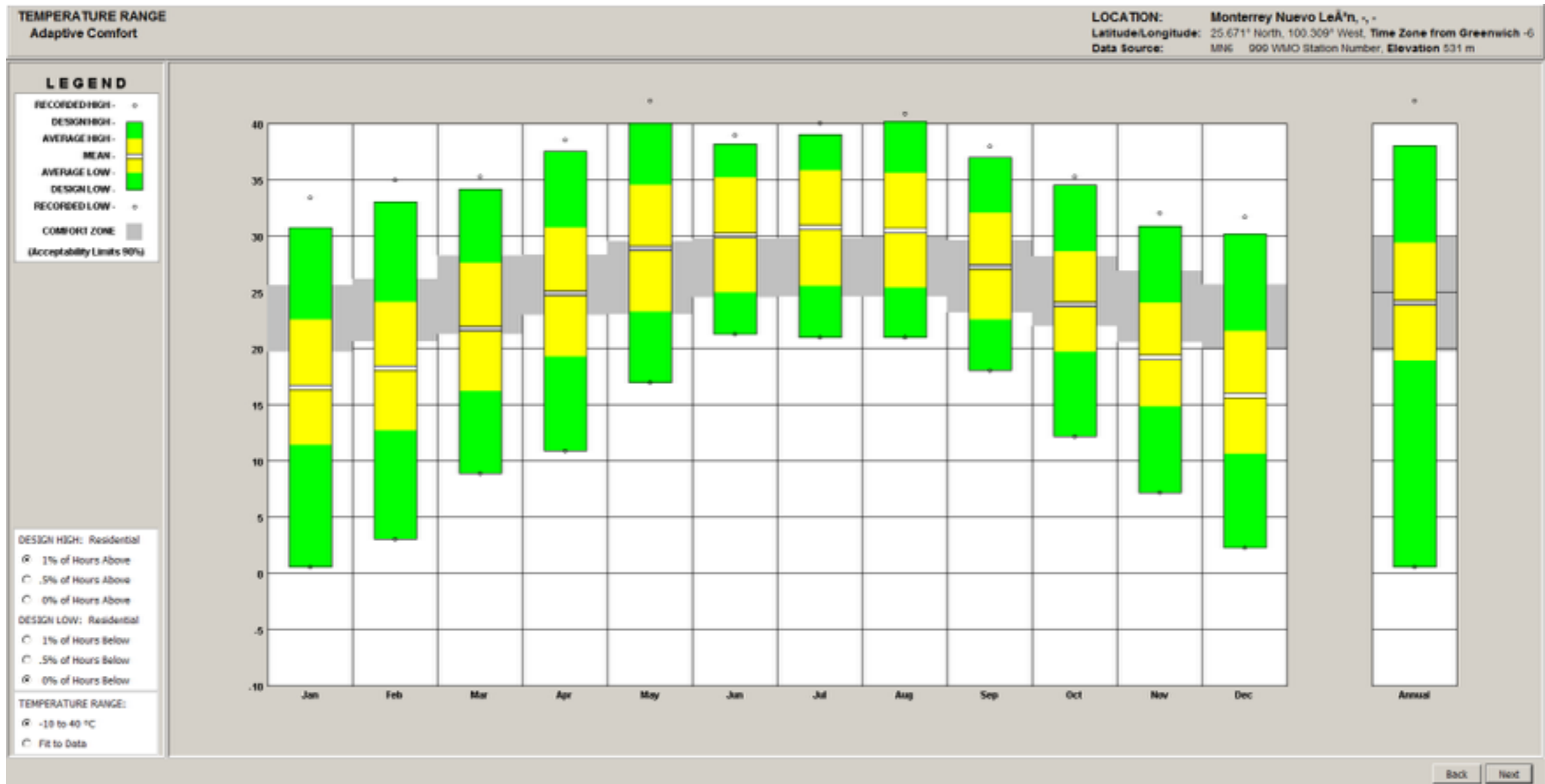
<http://www.meteonorm.com/>

EPW weather data files

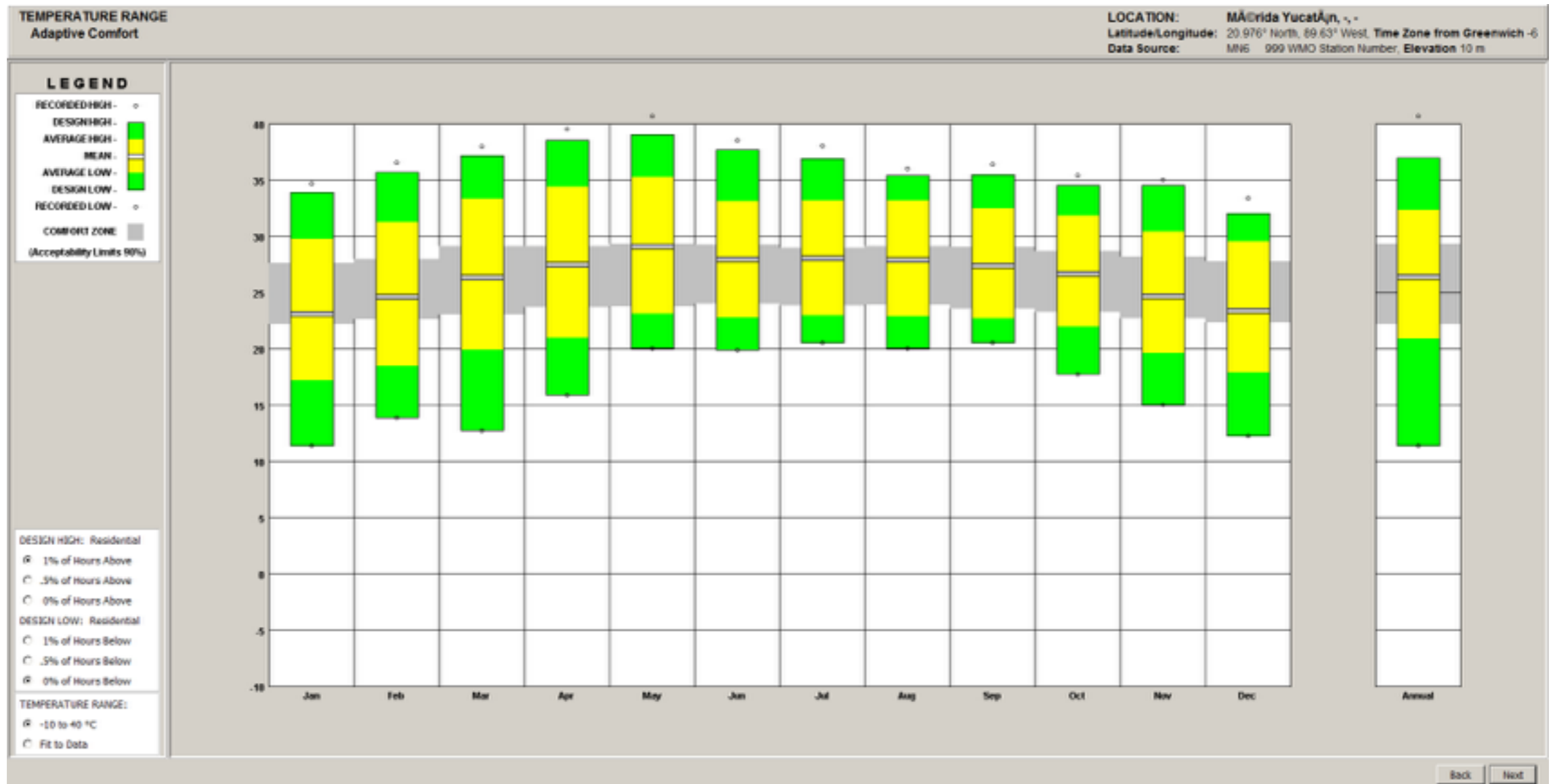


<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

# Temperatura Monterrey



# Temperatura Mérida





# Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

[¿Qué es?](#)

[¿Cómo se usa?](#)

[¿Quiénes somos?](#)

[Contacto](#)



No eres usuario

[Regístrate](#)

Proyecto: Vivienda Bioclimática. Laboratorio de Energía, Medio Ambiente y Arquitectura UNISON. Imagen Arq. Carlos B. Gámez Ruíz

Usuario:

Contraseña:

[Entrar](#)

[Editar](#)

Olvidaste tu contraseña

[Recupera](#)

Ener-Habitat v2.0.0 2012

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome





**Ener-Habitat** permite la evaluación de sistemas constructivos formados por capas homogéneas y algunos sistemas constructivos formados por capas homogéneas y una capa no homogénea.

Una capa homogénea es aquella que tiene un solo material y no tiene huecos de aire. Por ejemplo: la capa de concreto de una losa de concreto, la capa de cualquier acabado, la capa de un material aislante que cubre todo el muro o techo.

Una capa no homogénea es aquella que tiene dos o más materiales o presenta huecos de aire en su interior. Por ejemplo: el bloque hueco de concreto, la vigueta y bovedilla hueca de concreto, la vigueta y bovedilla de poliestireno.

Las capas no homogéneas que esta versión de **Ener-Habitat** puede evaluar son para muros: bloque simétrico de 2 huecos de aire y bloque simétrico de 2 huecos rellenos.

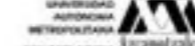
### Selección de tipo de sistema constructivo

- Sistemas con capas homogéneas
- Sistemas con una capa no homogénea

Continuar

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome







## Selección de los parámetros de simulación

Lugar	<input type="text" value="Temixco, Mor."/> ▾
Periodo	<input type="text" value="Mayo"/> ▾
Condición	<input type="text" value="Sin aire acondicionado"/> ▾
Ubicación	<input type="text" value="Techo"/> ▾
Número de sistemas constructivos	<input type="text" value="2"/> ▾

[Continuar](#)

# Parámetros de Simulación

Sistemas con capas homogéneas

Lugar **Temixco**

Periodo **Mayo**

Condición **Sin aire acondicionado**

Ubicación **Techo**

Número de sistemas constructivos **2**

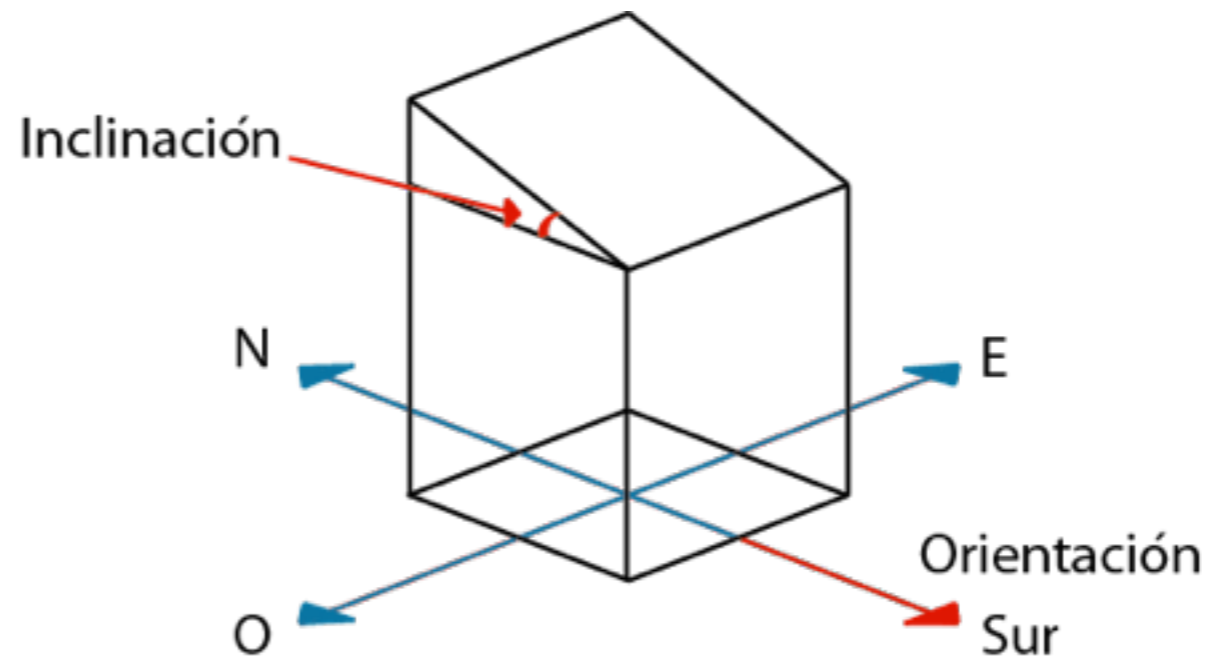
# Definición de la inclinación y la orientación

Techo

Inclinación

0

Orientación





Un sistema constructivo está formado por una o varias capas. **Ener-Habitat** evalúa sistemas constructivos de hasta siete capas.

## Definición de número de capas del sistema constructivo

Techo 1

Número de capas

1

Continuar

Las capas del sistemas constructivo se describen del exterior hacia el interior. Para la capa exterior se especifica el espesor (Espesor 1) en metros, la absorción y el material. Para las demás capas solo el espesor y el material. Para la definición del material hay dos opciones, elegir el material de una base de datos general BD o de la base de datos del usuario. En la BD, las tres cifras que acompañan al nombre del material indican la conductividad térmica, la densidad y el calor específico, todas en unidades del sistema internacional. Con la opción Agregar se puede introducir un material a la base de datos del usuario, se requiere conocer las tres propiedades físicas mencionadas.

## Definición de las capas del sistema constructivo

Espesor 1	<input type="text" value="0.1"/> [m]	Absortancia (A)	<input type="text" value="0.2"/>
Material 1	<input checked="" type="radio"/> BD <input type="text" value="Concreto_Alta_Densidad"/>		
	<input type="radio"/> Jorge <input type="text" value="aire 0.2 1.2 800"/>		<input type="button" value="Accesar"/>

[Continuar](#)

Exterior

Material 1

Interior

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome



# Definición de número de capas del sistema constructivo

## Techo 1

Número de capas 1

Espesor 0.1 m Absortancia (A) 0.2 (0.7)

ConcretoAltaDensidad  $\alpha = 2/(2400 \cdot 1000) = 8.33333E-07$

Conductividad térmica (W/mK) 2

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 2400

Calor específico (J/kgK) 1000

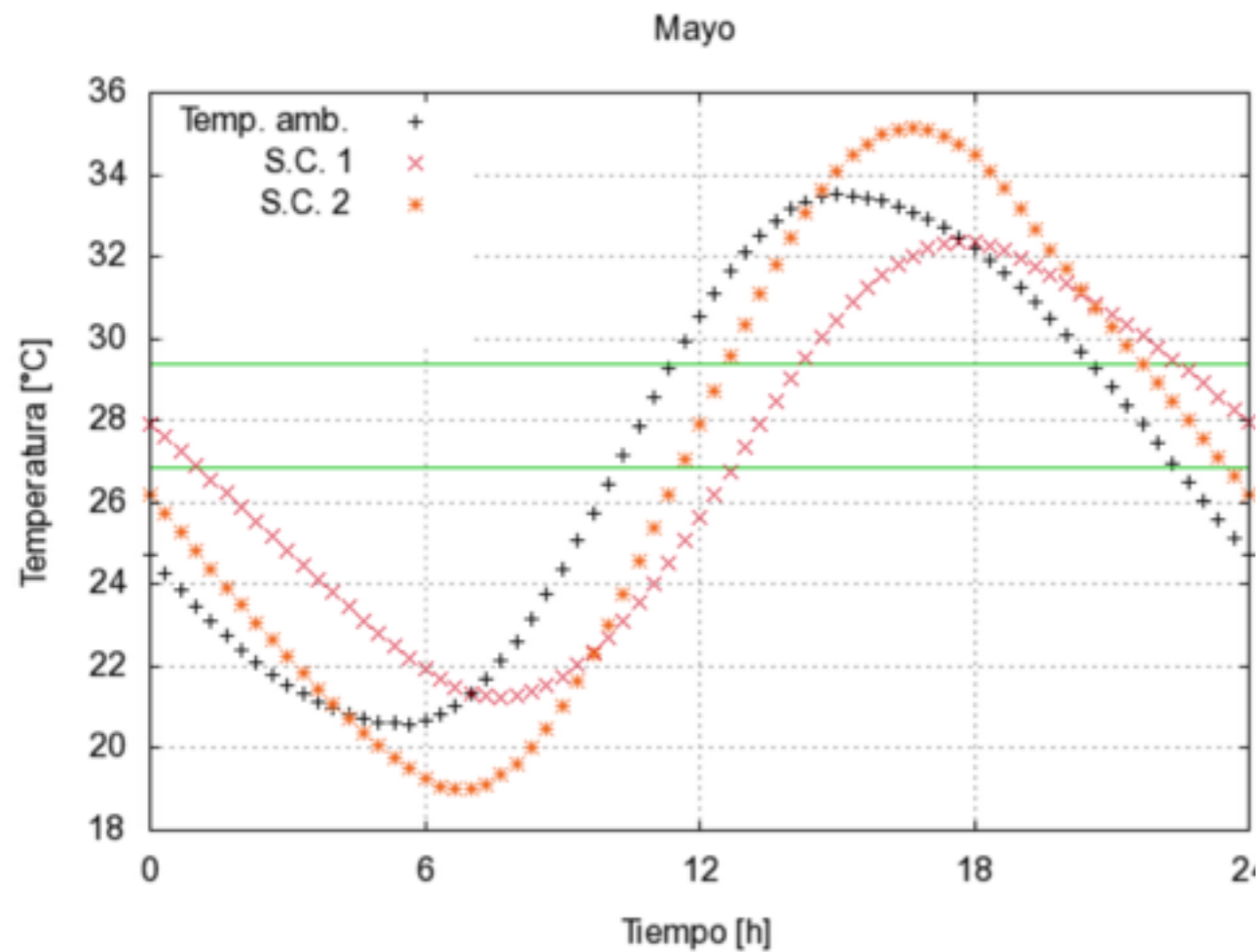
## Techo 2

Número de capas 1

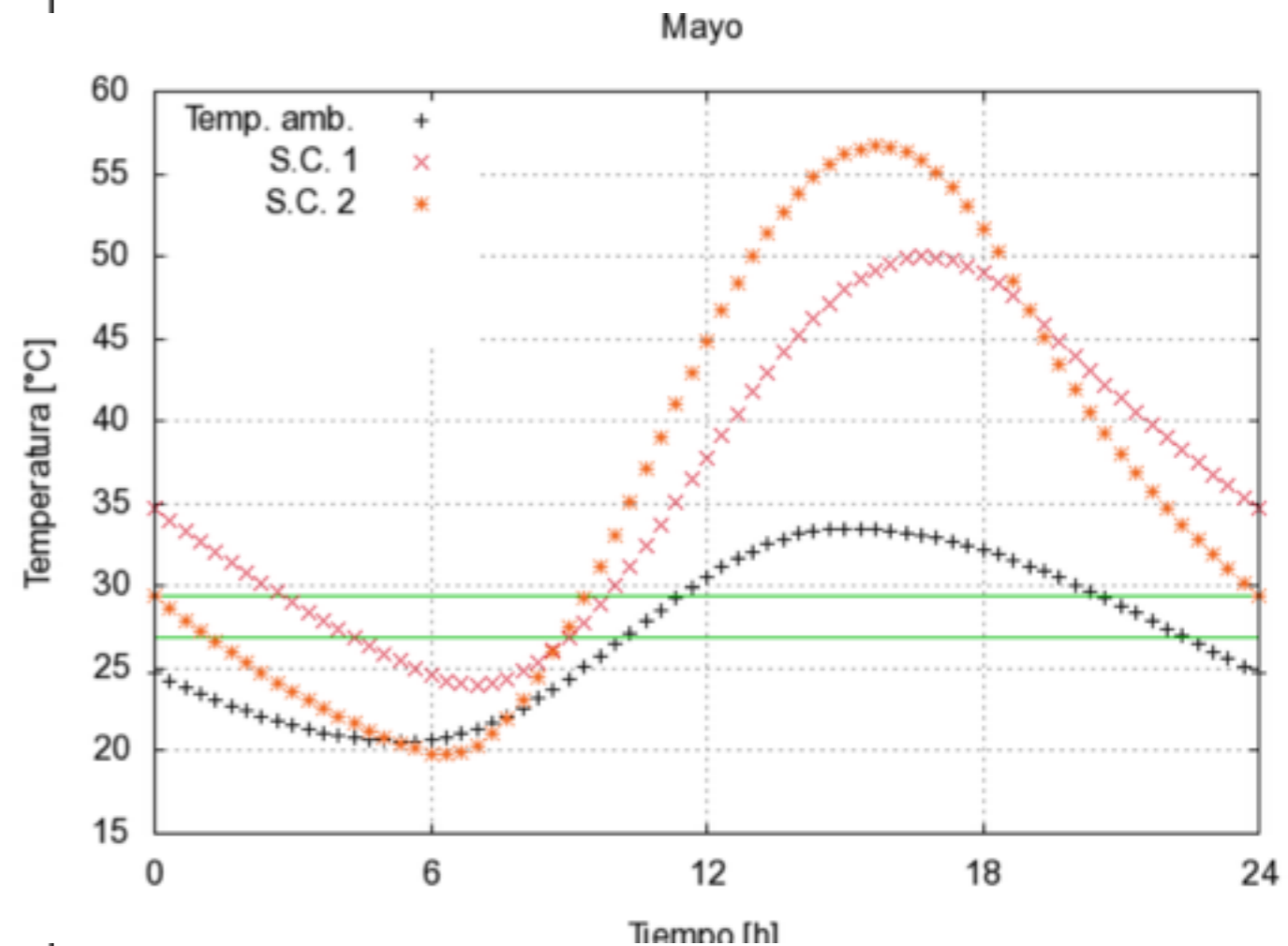
Espesor 0.1 m Absortancia (A) 0.2 (0.7)

PoliestirenoAltaDensidad 0.035 25 1400  $\alpha = .035/(25 \cdot 1400) = 1E-06$

# Resultados Temixco



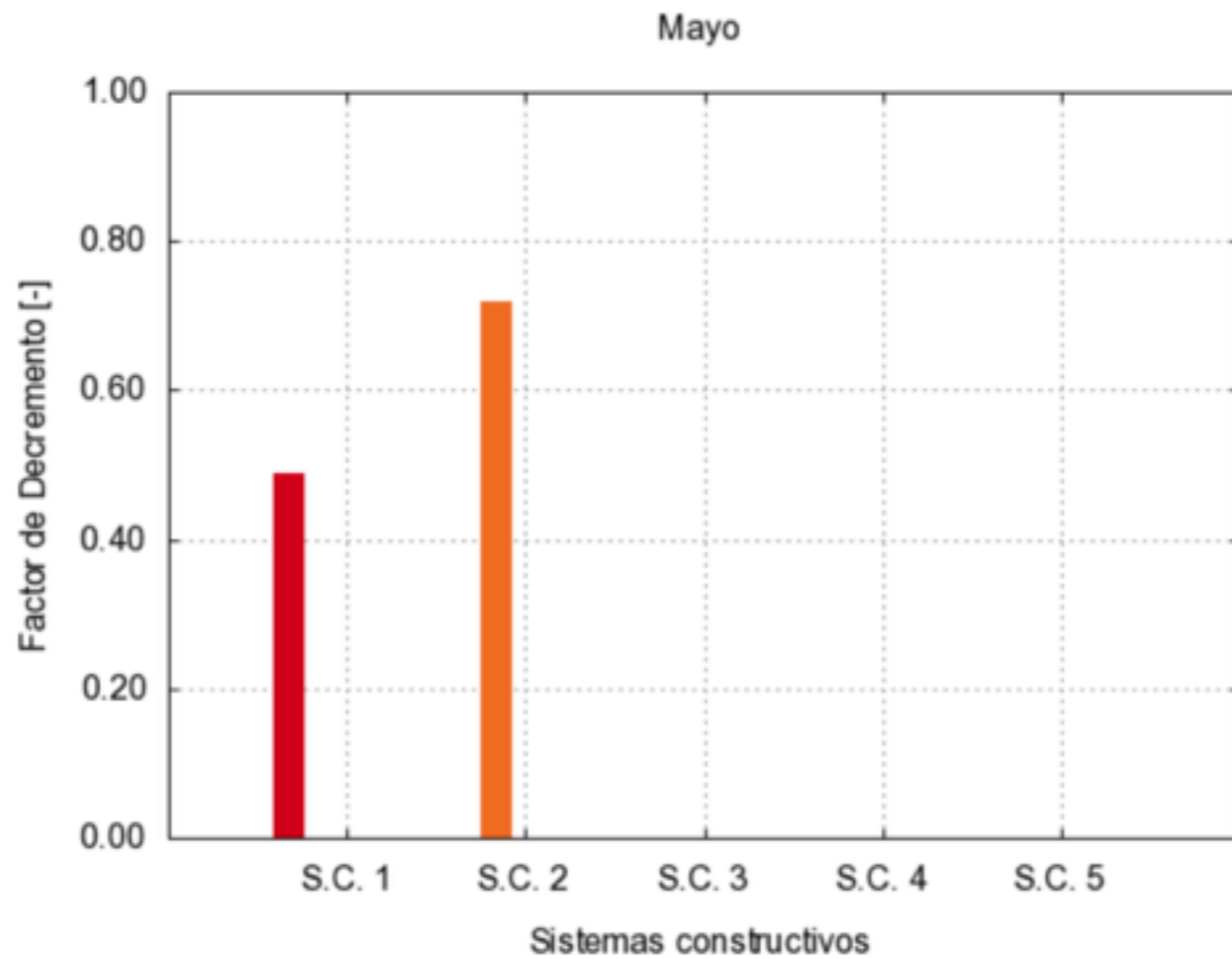
absortancia 0.2



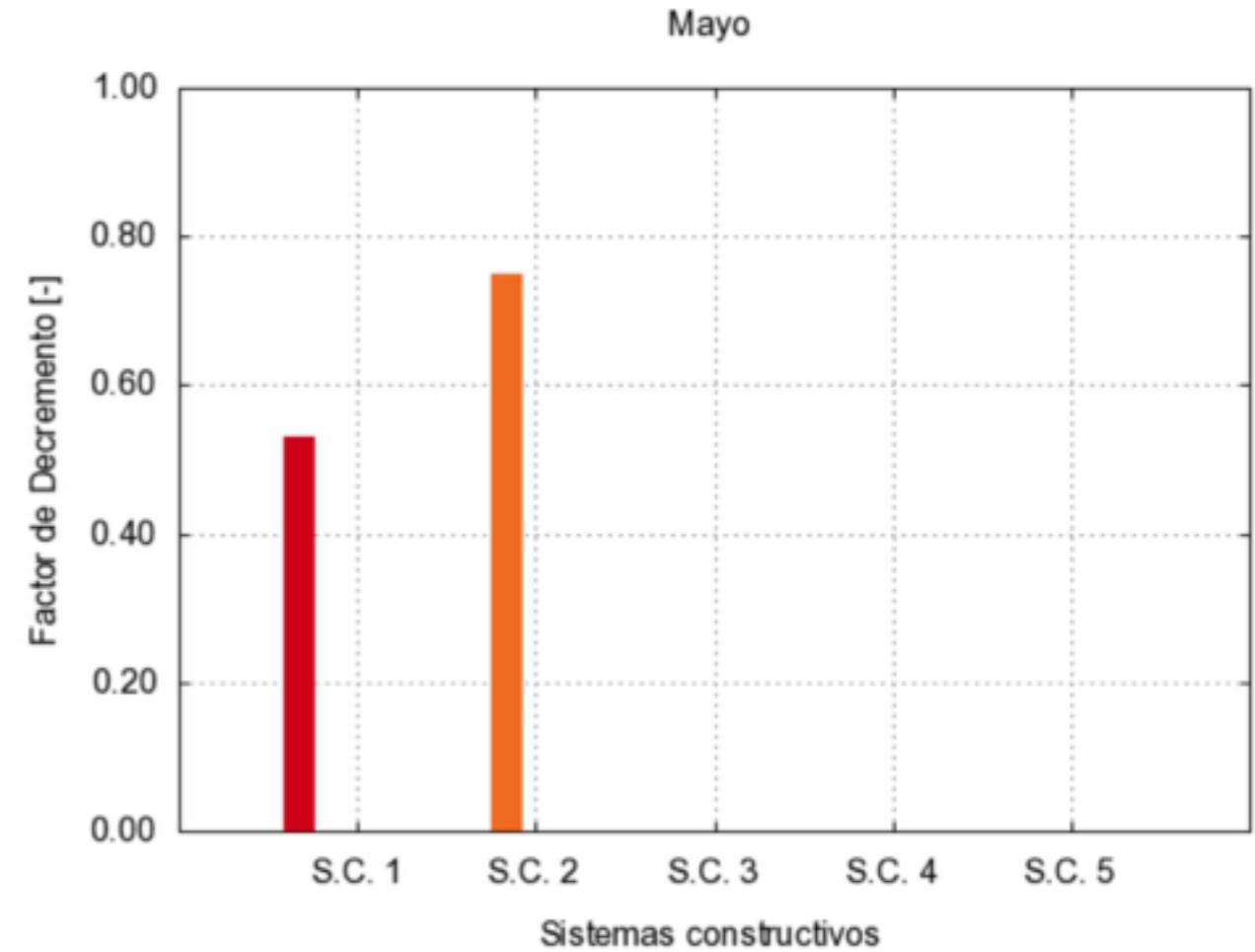
absortancia 0.7



# Resultados Temixco



absortancia 0.2



absortancia 0.7

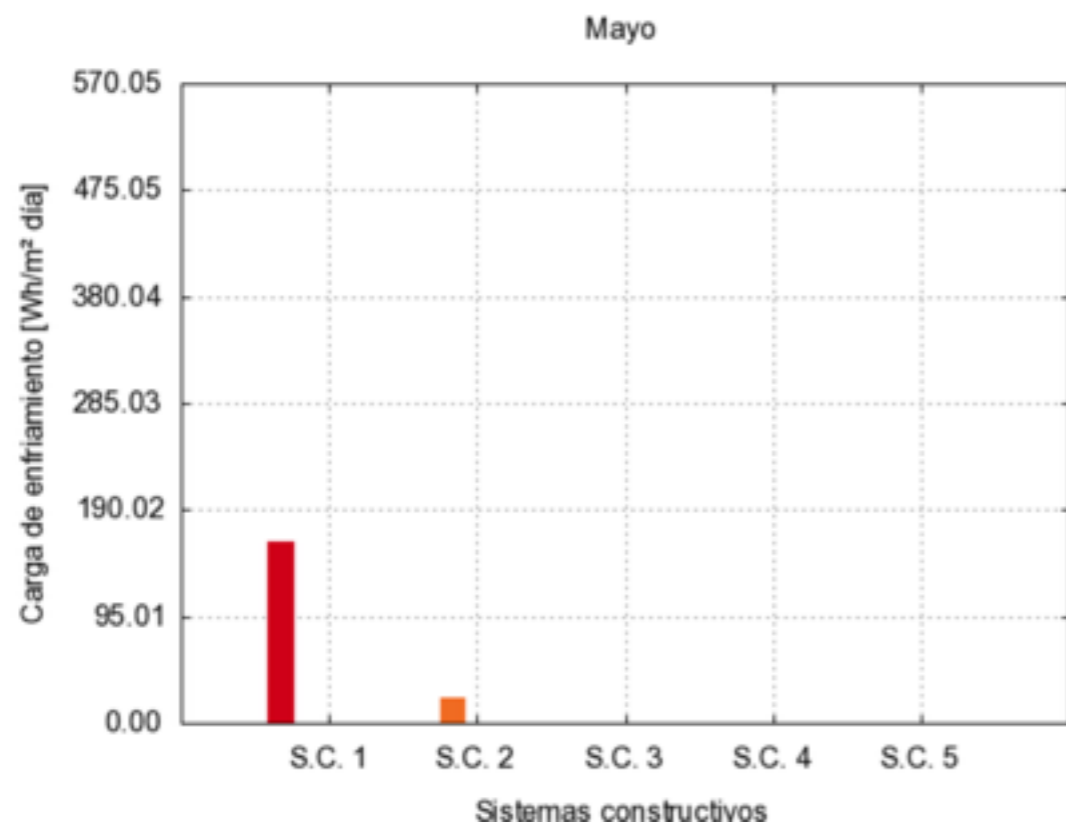


Lugar	Periodo	Condición		Orientación	Inclinación
Temixco, Mor.	Mayo	Con aire acondicionado	Techo	Norte	0 [°]

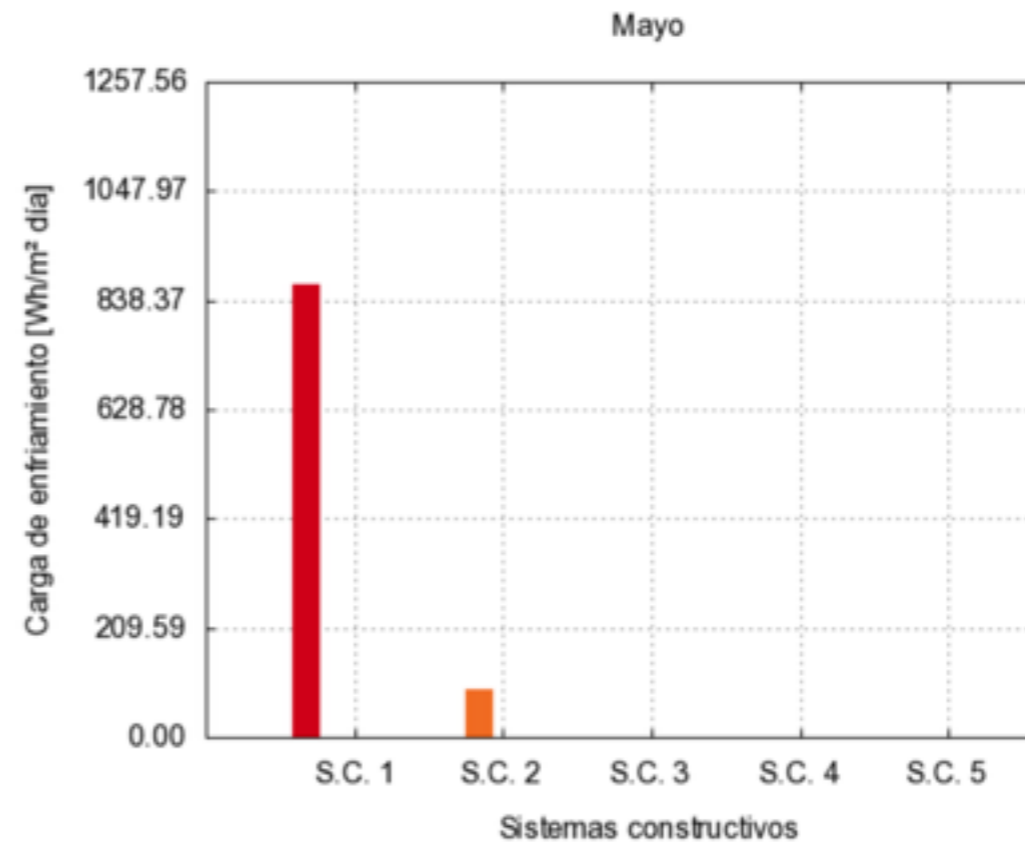
S.C.	Material	Espesor	A
1	<input checked="" type="radio"/> BD 1 <input type="radio"/> Jorge Concreto_Alta_Densidad aire 0.2 1.2 800	0.1 [m]	0.2
2	<input checked="" type="radio"/> BD 1 <input type="radio"/> Jorge PoliestirenoAltaDens 0.0 aire 0.2 1.2 800	0.1 [m]	0.2

# Resultados Temixco

## Aire acondicionado



absortancia 0.2



absortancia 0.7

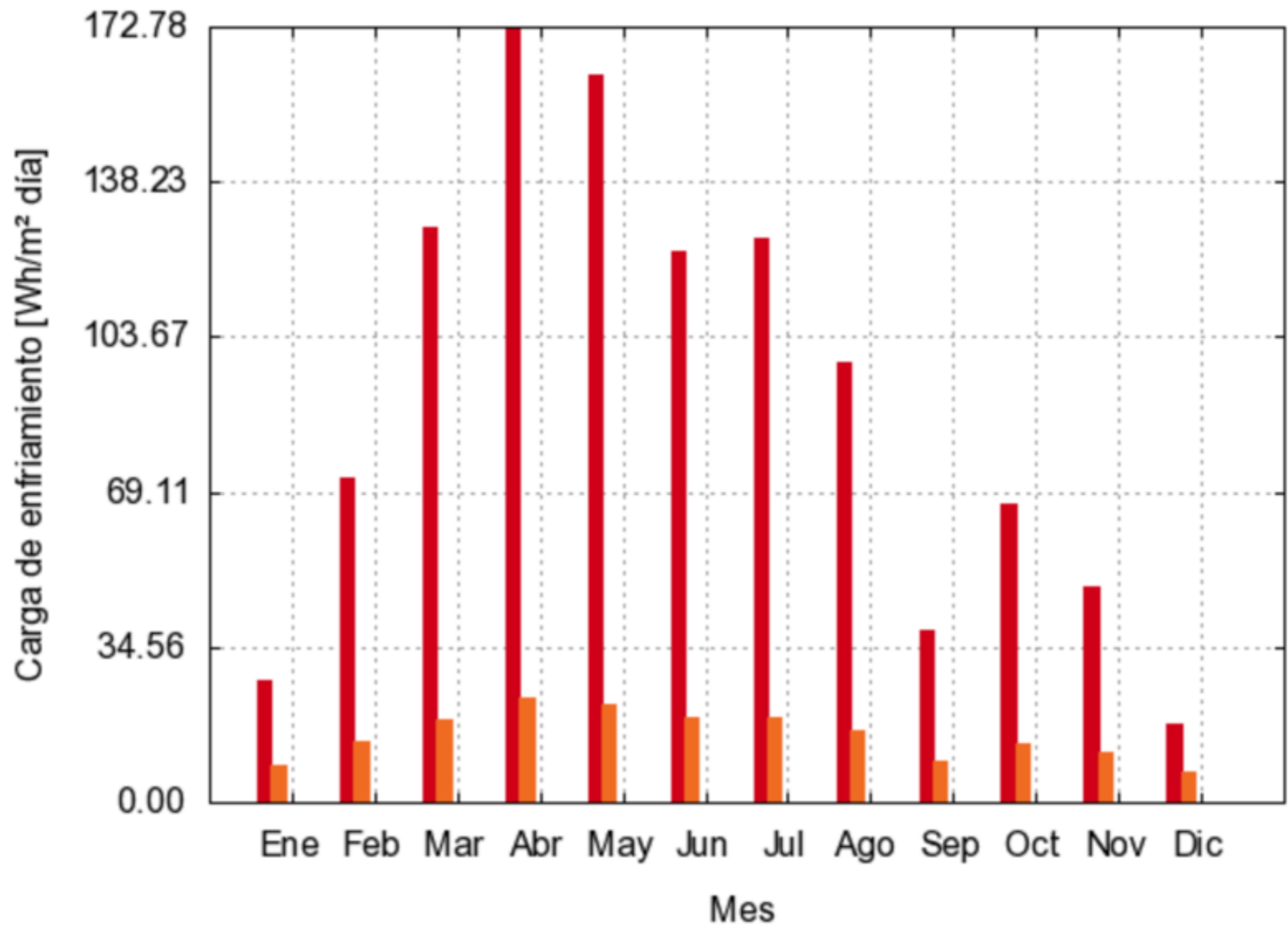
# Resultados Monterrey

## Aire acondicionado

Lugar	Periodo	Condición		Orientación	Inclinación
mixco, Mor.	Anual	Con aire acondicionado	Techo	Norte	0 [°]

S.C.	Material	Espesor	A
1	<input checked="" type="radio"/> BD 1 Concreto_Alta_Densidad <input type="radio"/> Jorge aire 0.2 1.2 800	0.1 [m]	0.7
2	<input checked="" type="radio"/> BD 1 PoliestirenoAltaDens 0.0 <input type="radio"/> Jorge aire 0.2 1.2 800	0.1 [m]	0.7

### Día típico



absortancia 0.2

Carga_térmica_ enfriamiento	Carga_térmica_ calentamiento	Carga_térmica_ total	FD_s
--------------------------------	---------------------------------	-------------------------	------

[kWh/m2 año]	[kWh/m2 año]	[kWh/m2 año]	[-]
--------------	--------------	--------------	-----

33.452

155.756

189.208

0.67

## Parámetros de evaluación de sistemas constructivos con aire acondicionado

- **$Q_e$  Carga térmica de enfriamiento [Wh/m<sup>2</sup>dia]**

$$Q_e = \sum_j h_i (T_{si} - T_i) \Delta t_j \quad \text{si } T_{si} > T_i$$

- **$Q_c$  Carga térmica de calentamiento [Wh/m<sup>2</sup>dia]**

$$Q_c = \sum_j h_i (T_i - T_{si}) \Delta t_j \quad \text{si } T_i > T_{si}$$

- **$Q$  Carga térmica total (enfriamiento + calentamiento) [Wh/m<sup>2</sup>dia]**

# Parámetros sin AA

	ET	FD	TR	<Tin>	Tinmin	Tinmax
	[Wh/m <sup>2</sup> dia]	[-]	[h]	[oC]	[oC]	[oC]
S.C.1	21.404	0.53	4.1	36.4	24	50
S.C.2	30.402	0.75	3.1	36.4	19.8	56.7

IDTcal	IDTfrio	DDHcal	DDHfrio
[-]	[-]	[oC h]	[oC h]
48.7	88	213.9	14.9
42	65.4	241.6	43

# Parámetros sin AA

***ET*** Energía transferida [Wh/m<sup>2</sup>dia]

como es periódico se toma solo la energía de entrada

$$ET = \sum h_i (T_{si} - T_i) \Delta t \quad \text{si } T_{si} > T_i$$

***FDs*** Factor de decremento superficial

$$FDs = (T_{smax} - T_{smin}) / (T_{semax} - T_{semin})$$

***FD*** Factor de decremento

$$FD = (T_{imax} - T_{imin}) / (T_{samax} - T_{samin})$$

Menor valor FD Mejor sistema constructivo

$$T_{sa} = T_a + (AI/he) + CE$$

***t<sub>sa</sub>*** temperatura sol – aire

***T<sub>a</sub>*** temperatura ambiente

***A*** absortancia

***I*** radiación solar

***h<sub>e</sub>*** coeficiente convectivo en exterior

***CE*** coeficiente de radiación infrarroja



# Parámetros sin AA

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

$$TR = t(T_{imax}) - t(T_{samax})$$

**IDTcal** Índice de discomfort térmico cálido

**IDTfrio** Índice de discomfort térmico frío

**DDHcal** Grados hora de discomfort cálido

**DDHfrio** Grados hora de discomfort frío



**Ener-Habitat** permite la evaluación de sistemas constructivos formados por capas homogéneas y algunos sistemas constructivos formados por capas homogéneas y una capa no homogénea.

Una capa homogénea es aquella que tiene un solo material y no tiene huecos de aire. Por ejemplo: la capa de concreto de una losa de concreto, la capa de cualquier acabado, la capa de un material aislante que cubre todo el muro o techo.

Una capa no homogénea es aquella que tiene dos o más materiales o presenta huecos de aire en su interior. Por ejemplo: el bloque hueco de concreto, la vigueta y bovedilla hueca de concreto, la vigueta y bovedilla de poliestireno.

Las capas no homogéneas que esta versión de **Ener-Habitat** puede evaluar son para muros: bloque simétrico de 2 huecos de aire y bloque simétrico de 2 huecos rellenos.

## Selección de tipo de sistema constructivo

- Sistemas con capas homogéneas
- Sistemas con una capa no homogénea

Continuar



# Ener-Habitat

EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA

[¿Qué es?](#)

[¿Cómo se usa?](#)

[¿Quiénes somos?](#)

[Contacto](#)

## Selección del modelo no homogéneo

- 2D
- Modelo (EHLS)

Continuar

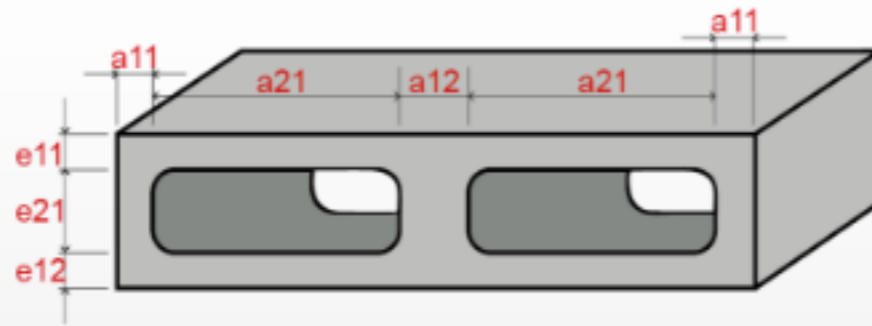
Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome





## Selección del tipo de capa no homogénea



Bloque simétrico 2 huecos aire

Tipo Muro

e11  [m]

a11  [m]

e21  [m]

a21  [m]

e12  [m]

a12  [m]

Material  BD

material1  misaro

[Continuar](#)

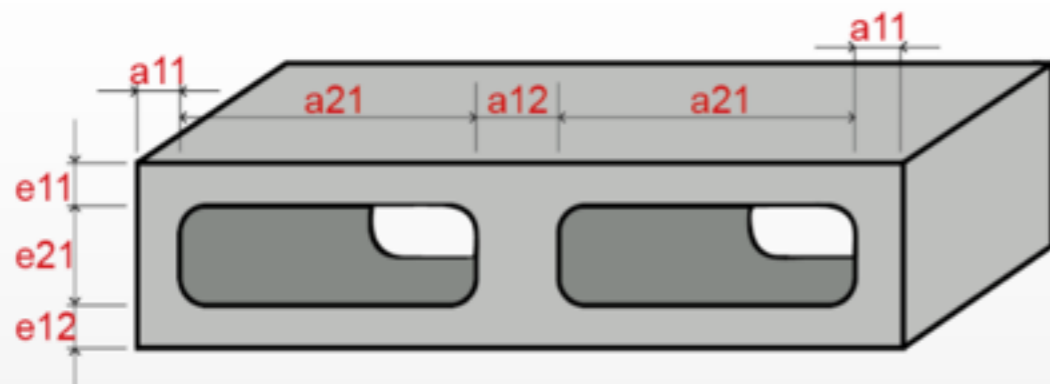
Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome





## Selección del tipo de capa no homogénea



Bloque simétrico 2 huecos aire

Tipo Muro

e11	<input type="text" value="0.035"/>	[m]	a11	<input type="text" value="0.037"/>	[m]
e21	<input type="text" value="0.055"/>	[m]	a21	<input type="text" value="0.135"/>	[m]
e12	<input type="text" value="0.035"/>	[m]	a12	<input type="text" value="0.037"/>	[m]

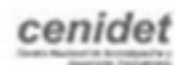
Material  BD

material1  misaro

[Continuar](#)

Ener-Habitat v2.2.0 2014

Esta página funciona mejor en Firefox y Chrome

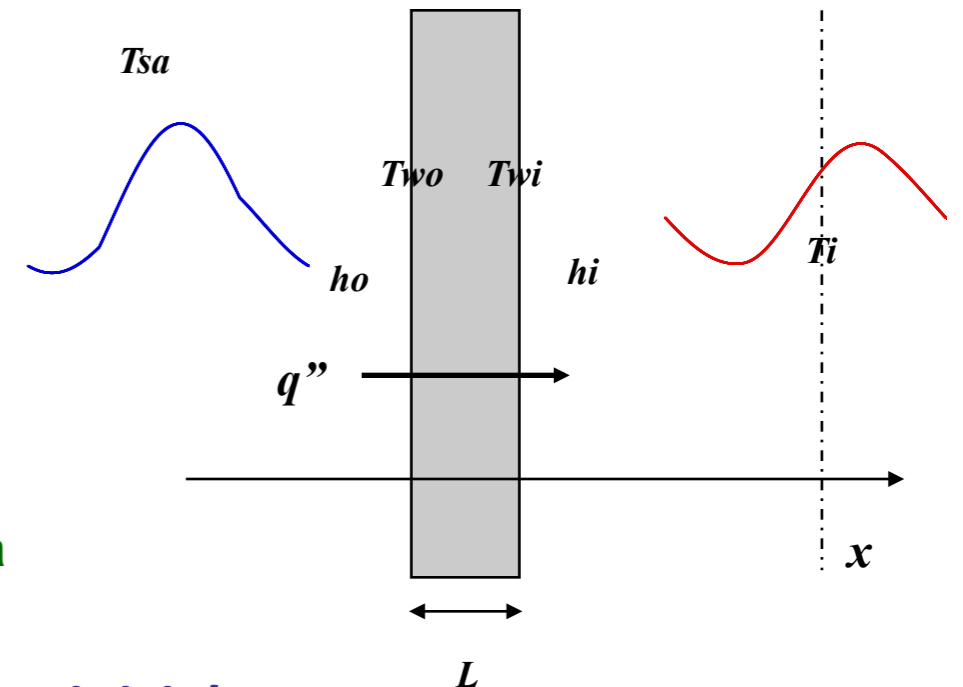


# Modelo de transferencia de calor **dependiente del tiempo** (Simulación dinámica)

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

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

Masa térmica



Condiciones iniciales (arbitrarias)

Condiciones de frontera

$$q'' = -k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{wo} = ho(Tsa - Ttwo)$$

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

Sin aire acondicionado

$$d\rho_a c_a \frac{\partial Ti}{\partial t} = hi(Twi - Ti)$$

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

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

**Si toma en cuenta la masa térmica**



Huelsz G., Barrios G., **Rojas J.** (2016) *Equivalent-homogeneous-layers-set method for time-dependent heat transfer through hollow-block walls.* Applied Thermal Engineering 102 (2016) 1019–1023. ISSN: 1359-4311  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.113>



Laboratorio de Edificaciones  
Sustentantes