

# ENER-HABITAT: HERRAMIENTA NUMÉRICA PARA LA EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE DE UNA EDIFICACIÓN

Guadalupe Huelsz, Guillermo Barrios, Jorge Rojas y Mirel Salas

Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 34 Temixco Centro, Morelos, México,  
Teléfono/Fax 55+56-22-97-41, [ghl@cie.unam.mx](mailto:ghl@cie.unam.mx)

J. Manuel Ochoa e Itzia Barrera

Dpto. de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, Blvd. Encinas y Rosales, Col. Centro, (83000) Hermosillo, México.  
Tel. +52 662 2592179.

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de Ener-Habitat, una herramienta numérica para la evaluación del desempeño térmico de sistemas constructivos multicapas de muro o techo de la envolvente. El análisis se hace considerando la transferencia de calor dependiente del tiempo. Esta herramienta es de acceso gratuito vía internet [www.enerhabitat.unam.mx](http://www.enerhabitat.unam.mx), permite al usuario seleccionar: el lugar de evaluación entre varias ciudades de la República Mexicana, el periodo de análisis, si es mensual o anual, la condición de uso, con o sin aire acondicionado y la componente de la envolvente, si es muro o techo. Ener-Habitat permite comparar simultáneamente hasta cinco sistemas constructivos, cada uno formado hasta de siete capas homogéneas. Para la condición sin aire acondicionado, calcula la energía térmica transferida por unidad de área del sistema constructivo al interior durante el día típico del mes o durante el año, según el periodo seleccionado. Para el caso con aire acondicionado, calcula la energía térmica o carga térmica por unidad de superficie necesaria para mantener el interior a la temperatura de confort durante el periodo respectivo. Se presenta también la validación de la herramienta. Ener-Habitat es parte del proyecto S0019-2009-01-118665 financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética Conacyt-SENER.

## ABSTRACT

In this work the latest advances in the development of Ener-Habitat are presented. Ener-Habitat is a numerical tool to evaluate the thermal performance of multilayer constructive systems of the envelope wall or roof considering the time dependent heat transfer. The tool is of free access on the internet page [www.enerhabitat.unam.mx](http://www.enerhabitat.unam.mx), it allows the user to select: the evaluation place, within several cities of the Mexican Republic, the period of the analysis, monthly or annually, the operation condition, with or without air-conditioning, and the envelop section, wall or a roof. Ener-Habitat permits the simultaneous comparison of up to five constructive systems, each composed by up to seven homogenous layers. For the non-air-conditioning, the tool calculates the thermal energy transferred per area unit of the constructive system to the indoor during the typical day of the month or during the year, accordingly to the selected period. When using air-conditioning, it calculates the thermal energy or thermal load per area unit needed to keep the indoor temperature constant during the respective period. The validation of the tool is also presented. Ener-Habitat is part of the project S0019-2009-01-118665 sponsored by the Fondo de Sustentabilidad Energética Conacyt-SENER.

Palabras claves: evaluación térmica, transferencia de calor, muro, techo, envolvente, aire acondicionado, energía.

## INTRODUCCIÓN

La envolvente de una edificación es un factor importante para su desempeño térmico. La selección de una adecuada configuración en climas con una gran oscilación de temperatura durante el día y una alta insolación solar requiere de un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo.

El sector de la construcción en México en los últimos años ha empezado a mostrar un poco de interés hacia el ahorro de energía. El Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación propuso una norma (ONNCE 2009) para reducir el consumo de energía en viviendas con acondicionamiento de aire. Esta norma, al igual que las normas oficiales mexicana NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011 para la eficiencia energética en edificaciones, envolventes de edificios no residenciales (SENER 2001) y residenciales (SENER 2011), utilizan métodos basados en un análisis de transferencia de calor en estado estacionario. Definen valores mínimos de la resistencia térmica de la envolvente pero no toman en cuenta su capacidad de almacenamiento térmico. Estos métodos son útiles para estimar las necesidades de calentamiento en países en las zonas templadas o polares donde las ganancias de calor por la energía solar son pequeñas (Kuehn et al 2001). Cuando la variación diaria de la temperatura externa es grande o la radiación solar importante, la capacidad de almacenamiento térmico del muro/techo es muy relevante. En estos casos, se debe emplear un método basado en un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo. Ya se ha demostrado que cuando las oscilaciones de la temperatura externa y el valor de la radiación solar son importantes, un muro/techo construido con materiales con una combinación adecuada de los valores de conductividad, densidad y calor específico tiene un comportamiento más adecuado que si sólo se considera una baja resistencia (Huelsz et al 2009 y Barrios et al 2011).

Como ya se mencionó, en la mayor parte de nuestro país la radiación solar es significativa y la oscilación de la temperatura diaria importante (SMN 2009). La mayor demanda de energía para acondicionamiento de edificaciones es para el enfriamiento de las mismas (Morillón-Gálvez et al 2004, INEGI 2005), es por ello que para estimar el ahorro de energía por el uso adecuado de muros/techos en los climas de México debe usarse un método basado en un análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo. Este análisis se puede hacer por medio de programas como Energy Plus y TRANSYS, sin embargo requieren de usuarios con un conocimiento especializado en transferencia de

calor y no permiten evaluar de manera separada a los sistemas constructivos. Es por eso que se está desarrollando una herramienta numérica simple para evaluar por separado sistemas constructivos de muros/techos de la envolvente, la cual requiere menos datos que los programas mencionados anteriormente y es más sencilla de usar e interpretar. En este trabajo se reportan los avances del desarrollo de la herramienta numérica, algunos de los cuales, fueron reportados al Fondo de Sustentabilidad Energética (Huelsz et al 2011 y Huelsz et al 2012).

### MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para analizar la transferencia de calor a través de un techo compuesto por  $N$  capas de materiales, con un espesor total  $L$ , se emplea para cada  $j$ -ésima capa, la ecuación de conducción de calor en una dimensión dependiente del tiempo

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} - \alpha_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Esta ecuación describe la variación de la temperatura dentro de la  $j$ -ésima capa  $T_j$  como función del tiempo  $t$  y de la posición transversal al techo  $x$ . El coeficiente  $\alpha_j$  es la difusividad térmica del material de la  $j$ -ésima capa ( $m^2/s$ ) y se define como la relación entre la conductividad térmica  $k$  y la capacidad de almacenamiento térmico del material

$C_j = \rho_j c_j$ , donde,  $\rho_j$   $Tsa = Ta + \frac{aI}{ho} - CF$ , es la densidad ( $kg/m^3$ ) y  $c_j$  es el calor específico ( $J/kg^\circ C$ ).

Por conservación de energía en las uniones de las capas

$$-k_j \frac{dT}{dx} \Big|_{j,j+1} = -k_{j+1} \frac{dT}{dx} \Big|_{j,j+1} \quad (2)$$

en la superficie externa

$$-k_j \frac{dT}{dx} \Big|_{wo} = ho(Tsa - Two) \quad (3)$$

e interna del techo

$$-k_N \frac{dT}{dx} \Big|_{wi} = hi(Twi - Ti) \quad (4)$$

donde  $Tsa$  y  $Two$  ( $^\circ C$ ) son las temperaturas sol aire y de la superficie externa del techo o/muro,  $Ti$  y  $Twi$  ( $^\circ C$ ) son las temperaturas interior y de la superficie interna,  $ho$  y  $hi$  son los coeficientes de transferencia de calor de película exterior y el interior. La temperatura sol aire está dada por (ASHRAE 1997)

$$Tsa = Ta + \frac{AI}{ho} - R, \quad (5)$$

donde,  $Ta$  es la temperatura exterior,  $A$  es la absorptividad solar de la superficie exterior y  $R$  es un factor por la radiación infrarroja radiada hacia el cielo.

En el caso donde no se usa aire acondicionado la temperatura del aire al interior es función de la transferencia de calor a través del techo y se calcula a partir de

$$d\rho_a c_a \left( \frac{\partial Ti}{\partial t} \right) = hi(Twi - Ti) + d\rho_a c_a \frac{F}{36000} (Ta - Ti), \quad (6)$$

donde  $\rho_a$  y  $c_a$  son la densidad y el calor específico del aire. Se asume existe una distancia  $d$  desde la superficie interna del mismo a la cual no hay transferencia de calor y  $F$  son los cambios de aire por hora, debidos a la ventilación o infiltración. Ener-Habitat considera que no hay infiltración, esto es,  $F=0$  1/h.

Para el caso donde se usa aire acondicionado, la temperatura del aire al interior es conocida y constante.

### VALIDACIÓN DEL MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La validación del modelo de transferencia de calor que usa la herramienta se realizó con mediciones de temperaturas superficiales de dos sistemas constructivos de techos. Las mediciones fueron realizadas durante un año en dos módulos construidos en Torreón, Coahuila. Los sistemas constructivos evaluados son, R1 de una sola capa de concreto areado de 10cm de espesor, y R2 de dos capas, la exterior de barrera térmica de 2cm de espesor y la interior de concreto de alta densidad de 8cm. Ambos sistemas constructivos con una absorptancia solar de 0.2, correspondiente a un blanco recién pintado. Como datos de entrada se utilizaron datos de temperatura exterior y radiación global de una estación meteorológica cercana. Para la validación, se consideraron  $ho=9.0W/m^2^\circ C$ ,  $hi= 6.6W/m^2^\circ C$  y  $C=0.5$  1/h. La Figura 1 muestra como ejemplo, resultados de una semana de la temperatura superficial del techo al interior obtenida del modelo de transferencia de calor y la obtenida experimentalmente para ambos techos. Como se aprecia en la figura, los resultados del modelo son satisfactorios.

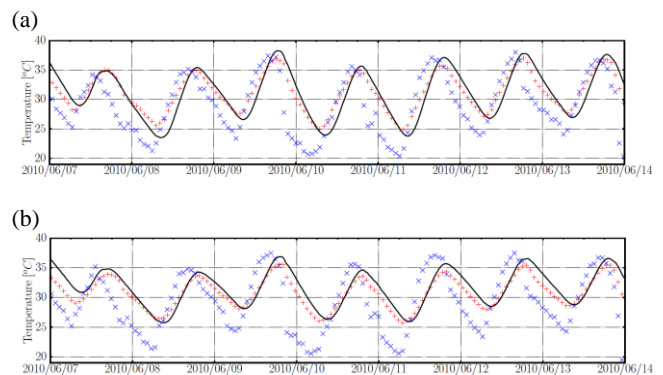


Figura 1: Temperatura superficial al interior obtenida experimentalmente (cruces rojas), obtenida del modelo (línea negra). Se incluye la temperatura exterior  $Ta$  (cruces azules).

Para la validación cuantitativa, se calcularon el promedio anual de la temperatura superficial interior, los resultados se muestran en la Figura 2. La diferencia máxima entre los promedios anuales es de 1.7%.

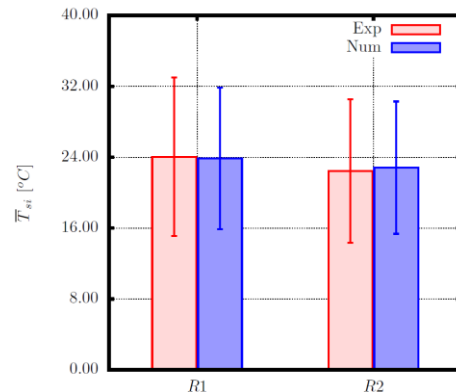


Figura 2: Promedio anual de la temperatura superficial interior experimental y numérico, para ambos techos.

También se calculó el factor de decremento superficial diario y se promedió para todo el año, los resultados se muestran en la Figura 3. La máxima diferencia es de 0.04%.

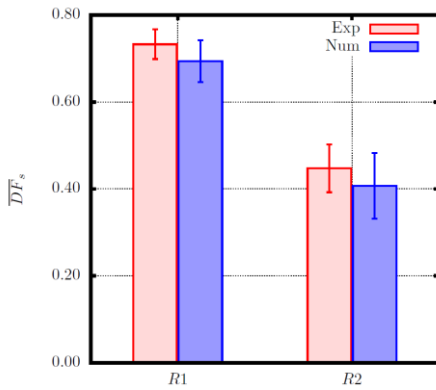


Figura 3: Factor de decremento experimental y numérico, para ambos techos.

Con estos resultados se valida el modelo de transferencia de calor usado por la herramienta.

### PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

El objetivo de la herramienta es comparar el desempeño térmico de configuraciones de muros o techos, por lo que es necesario definir parámetros para este propósito.

Cuando se evalúan en condiciones de no uso de aire acondicionado, el parámetro es la energía térmica transferida por unidad de área del sistema constructivo al interior durante el día típico del mes o durante el año, según el periodo seleccionado, Q. Para el día típico del mes Q se define como,

$$Q = \sum_n hi(Ti - Twi)_n \Delta t \quad \text{if } Ti > Twi, \quad (7)$$

donde la sumatoria se toma durante al día y  $\Delta t$  es el paso temporal de la solución numérica. El valor de Q anual, se obtiene de sumar los valores de Q para los doce meses, cada Q mensual se calcula multiplicando Q del día típico por los días del mes.

Cuando el sistema constructivo se evalúa en situación de aire acondicionado, el parámetro es la energía térmica o carga térmica del sistema de aire acondicionado por unidad de área del muro o techo, E,

$$E = E_h + E_c, \quad (8)$$

donde  $E_h$  y  $E_c$  son las cargas térmicas por calentamiento y por enfriamiento, respectivamente y están dadas para un día por

$$E_h = \sum_n hi(Tc - Twi)_n \Delta t \quad \text{if } Twi < Tc \quad (9)$$

y

$$E_c = \sum_n hi(Tc - Twi)_n \Delta t \quad \text{if } Twi > Tc. \quad (10)$$

Ener-Habitat entrega un archivo de datos donde incluye otros parámetros de evaluación, como son: factor de decremento superficial para la situación de aire acondicionado y para no aire acondicionado, factor de decremento, tiempo de retraso, temperatura del aire interior promedio, mínima y máxima.

### USO DE LA HERRAMIENTA NUMÉRICA

La filosofía de la herramienta numérica desarrollada es que sea lo más simple posible y que no requiera que el usuario sea un experto en transferencia de calor o uso de programas especializados. La herramienta se encuentra disponible vía Internet de manera gratuita a través de la página [www.enerhabitat.unam.mx](http://www.enerhabitat.unam.mx) (Figura 4). Para tener acceso a ella sólo se requiere un navegador (se recomienda usar Firefox o Chrome) y una conexión a internet. Para utilizarla es necesario

realizar un registro inicial y seleccionar un nombre de usuario y una clave. Ener-Habitat presenta secciones con la información de ¿Qué es?, ¿Cómo se usa?, ¿Quiénes somos? y Contacto.

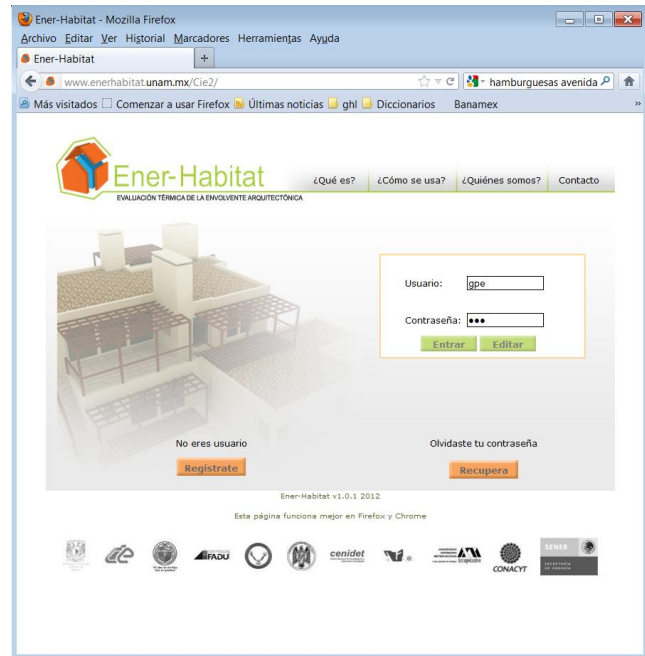


Figura 4: Página de acceso al simulador [www.enerhabitat.unam.mx](http://www.enerhabitat.unam.mx).

Después de entrar a la herramienta, el usuario debe escoger de una lista proporcionada por una base de datos, el lugar donde se evaluará el techo, definir si el análisis se llevará a cabo en un mes en específico o a lo largo de todo un año, escoger si sistema constructivo se evaluará usando o no aire acondicionado, escoger si es un techo o un muro y definir el número de sistemas constructivos a evaluar con un máximo de cinco. Al definir el lugar de la base de datos, la herramienta toma valores típicos de temperatura, radiación y trayectoria solar para el periodo seleccionado. Los valores de temperatura y radiación han sido extraídos previamente del año típico del lugar.

El paso siguiente es definir la orientación y la inclinación. La inclinación se define como el ángulo en grados que forma con la horizontal.

En el siguiente paso, se define la configuración de cada uno de los sistemas constructivos a evaluar. Cada sistema constructivo puede tener un máximo de siete capas homogéneas. En cada capa, se debe definir el espesor en metros. Para el cálculo de la condición de frontera exterior es necesario conocer la absorptancia solar de la superficie exterior de la primera capa. El material se puede seleccionar de una base de datos (BD) o el usuario puede agregar un material con sus respectivas propiedades termofísicas: la conductividad térmica, la densidad y el calor específico, todas en unidades del sistema internacional. El usuario debe definir de esta manera cada una de las configuraciones de los sistemas constructivos a evaluar.

En la base de datos de materiales proporcionada por la herramienta numérica se han agregado los materiales constructivos más utilizados en México con valores de las propiedades termofísicas tomadas del ASHRAE ya que la mayoría de los fabricantes mexicanos no reportan estas propiedades. Sin embargo, si el usuario quiere agregar un material, tiene la

posibilidad de hacerlo en una base de datos a la que sólo él tiene acceso, dando versatilidad de probar nuevos materiales y configuraciones.

Una vez que se han definido todos los elementos de cada uno de los techos o muros a evaluar, la herramienta realiza los cálculos numéricos para resolver las ecuaciones de transferencia de calor dependiente del tiempo junto con las condiciones de frontera correspondientes y presenta los resultados.

### EJEMPLO: SIMULACIONES ANUALES CON AIRE ACONDICIONADO

Habiendo entrado al sistema, en el primer paso, se define el lugar, el periodo, la condición de aire acondicionado, que se evaluará un muro y el número de sistemas constructivos, como se ve en la Figura 5.

Lugar:    
 Período:    
 Condición:    
 Muro:    
 No. de sistemas constructivos:

Figura 5: Selección de lugar, periodo, condición, techo o muro y número de configuraciones a evaluar.

El segundo paso es definir la orientación y la inclinación, en un muro la inclinación por default es 90° correspondiente a un muro vertical, como se observa en la Figura 6.

Orientación:    
 Inclinación:  [°]

Figura 6: Definición de la orientación e inclinación del muro.

Después, se define el número de capas que tendrá el muro 1 (Figura 7). En el siguiente paso se define el espesor de la capa 1 del muro 1, la absorptancia solar y el material. En la Figura 8 se muestra una capa de 0.1m de concreto de alta densidad con una absorptancia de 0.6, correspondiente a un color concreto claro. Los pasos mostrados en las figuras 7 y 8 se repiten para el número de muros seleccionado. El muro 2 se definió de dos capas, la capa 1 es de 0.02m con A=0.6, de un material previamente definido por el usuario Aislante\_P, material con propiedades similares al poliuretano expandido, la capa 2 es de 0.08m de concreto de alta densidad, como puede observarse en la Figura 9. El muro 3 se definió de dos capas, similar al sistema constructivo anterior, pero intercambiando las capas, esto es el material aislante queda del lado interior, esto es como capa 2. El muro 4 es de tres capas, la capa 1 de 0.01m de concreto con A=0.3, la capa 2 de 0.08m de Aislante\_P y la capa 3 de 0.01m de concreto. El muro 5 es igual al muro 1 con excepción del valor de la absorptancia, que se puso A=0.3. Nótese que para este ejemplo, los cinco sistemas constructivos definidos tienen un espesor total de 0.10m, lo que permitirá la comparación de sistemas constructivos, independientemente de esta variable.

Muro 1   
 Número de capas:

Figura 7: Selección del número de capas para el muro 1.

Espesor 1:  [m]   
 Absortancia (A):  ?   
 Material 1:  BD Concreto\_Alta\_Densidad 2 2400 1000   
 gpe Aislante\_P 0.02 17 1450

Figura 8: Definición del espesor, la absorptancia y el material de la única capa del muro 1.

Espesor 1:  [m]   
 Absortancia (A):  ?   
 Material 1:  BD Adobe 0.58 1500 1480   
 gpe Aislante\_P 0.02 17 1450   
   
 Espesor 2:  [m]   
 Material 2:  BD Concreto\_Alta\_Densidad 2 2400 1000   
 gpe Aislante\_P 0.02 17 1450

Figura 9: Definición del espesor, la absorptancia y el material de la capa 1, del espesor y material de la capa 2 del muro 2.

Una vez definidos los sistemas constructivos, en este caso de muros, se corre el programa y éste presenta gráficas de resultados y una tabla con los parámetros de la simulación, tal como se observa en las Figura 10.

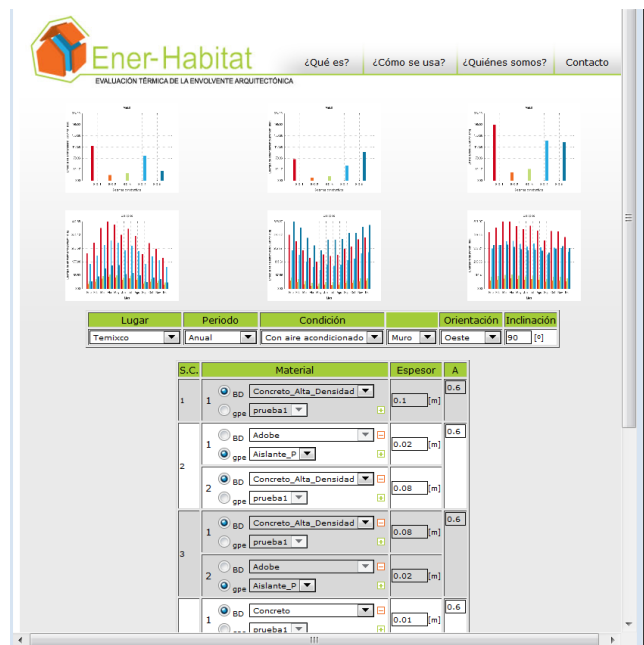


Figura 10: Página de resultados para simulaciones anuales con aire acondicionado.

Las gráficas de la primera fila corresponden a cargas de enfriamiento, de calentamiento y total anuales, por unidad de área. Las de la segunda fila son las correspondientes para los días.

típicos de los doce meses del año. Dando un *click* al *mouse* sobre cualquiera de ellas, se muestra ampliificada. En la Figura 11, se muestra, como ejemplo, la gráfica de la energía térmica total o carga total anual. Se observa que para aire acondicionado, el mejor sistema constructivo de los analizados es el S.C. 4, hecho de un aislante y repellido con una capa delgada de concreto en exterior y en el interior. Seguido del muro de concreto de alta densidad con una capa de aislante al exterior (S.C. 2), cuando se invierte el orden de estos materiales (S.C. 3), se aumenta la carga térmica total. Se observa la disminución en la carga térmica total por cambiar el color exterior en un muro de concreto de alta densidad de color concreto claro (S.C. 1) a blanco (S.C. 6).

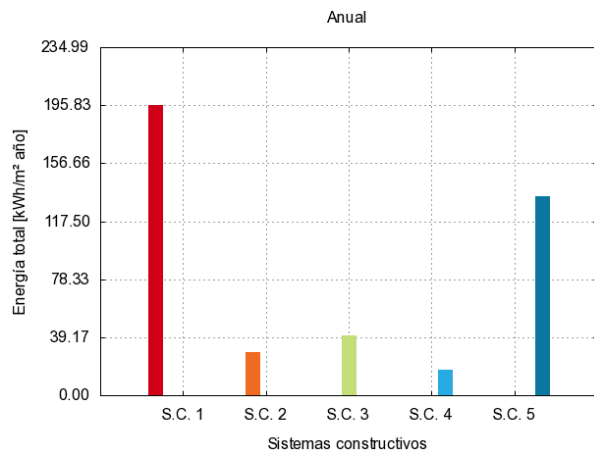


Figura 11: Energía total anual por unidad de área para cada uno de los sistemas constructivos definidos, evaluados en Temixco.

La tabla que se presenta en la hoja de resultados (Ver Figura 12) permite recordar todos los parámetros con que se realizaron las simulaciones. También permite hacer modificaciones a estos parámetros y correr de nuevo el programa. Desde esta pantalla, el programa también permite descargar archivos con los resultados de las simulaciones (ver recuadro azul en la Figura 12).

### EJEMPLO: SIMULACIONES ANUALES SIN AIRE ACONDICIONADO

Para realizar estas simulaciones se puede seguir los mismos pasos descritos, cambiando en la primera pantalla de selección (Figura 5) a condición de Sin aire acondicionado. Si se corrieron primero las simulaciones con aire acondicionado, como en este ejemplo, se puede utilizar la tabla mostrada en la Figura 12 y cambiar solo la condición (ver recuadro rojo) a Sin aire acondicionado y volver a correr el programa.

Cuando se corre el programa, éste presenta gráficas de resultados y una tabla con los parámetros de la simulación, tal como se observa en la Figura 13. En caso de sin aire acondicionado, las gráficas corresponden a la energía transmitida por unidad de área de cada sistema constructivo, la primera anual y la segunda para el día típico de cada mes. También aquí, el programa permite descargar archivos con los resultados de las simulaciones, mostrando más parámetros de evaluación (Barrios 2012)

En la Figura 14 se muestra la gráfica de la energía transmitida anual por unidad de área. Se observa que para la condición de no aire acondicionado, entre los sistemas que tienen el mismo color exterior (S.C. 1 a 4), el muro de concreto de alta densidad con aislante exterior (S.C. 2) es el de mejor desempeño. Cambiar la posición del aislante a la parte interior (S.C. 3) resulta contra productivo, este sistema permite mayor paso de energía incluso

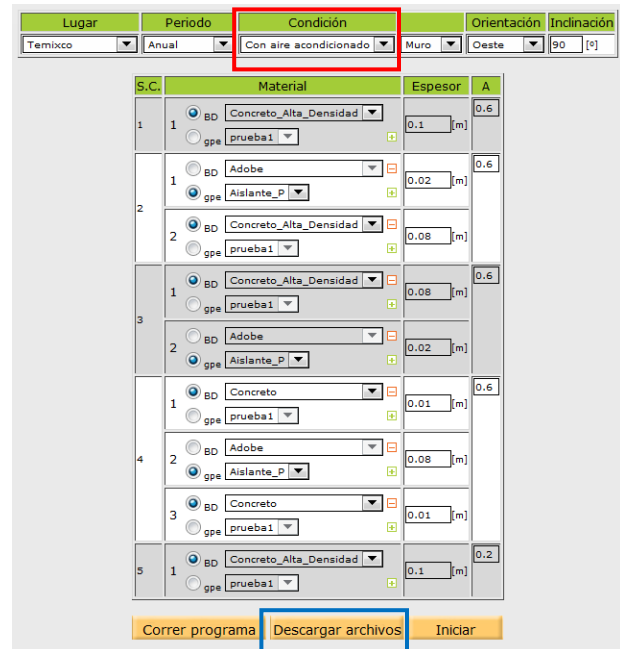


Figura 12: Tabla con los parámetros con los que se realizaron las simulaciones.

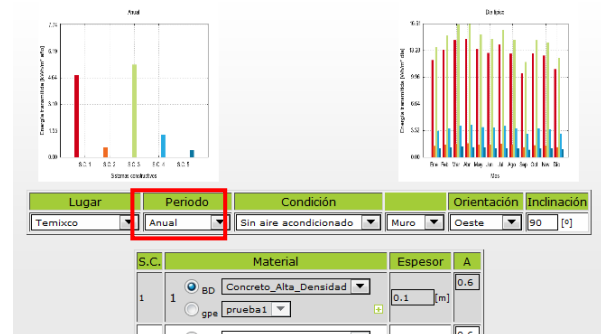


Figura 13: Página de resultados para simulaciones anuales sin aire acondicionado.

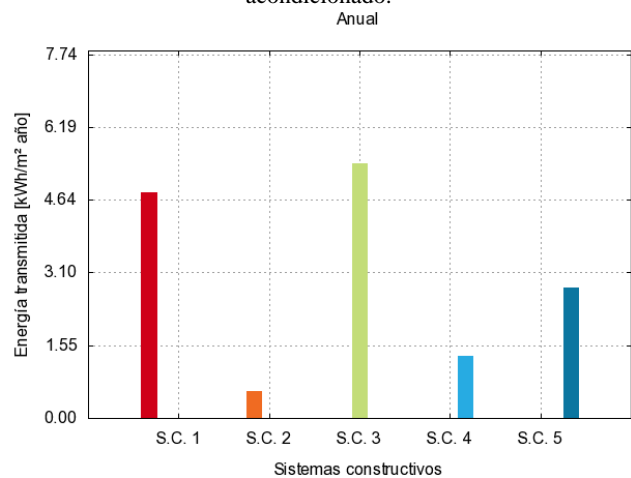


Figura 14: Energía transmitida anual por unidad de área para cada los sistemas constructivos definidos, evaluados en Temixco.

que el muro de concreto de alta densidad sin aislante (S.C. 1). El muro hecho de un material aislante y repellido con una capa delgada de concreto en exterior y en el interior (S.C. 4) tiene un



relativo buen desempeño. Se observa la disminución en la energía transmitida por cambiar el color exterior en un muro de concreto de alta densidad de color concreto claro (S.C. 1) a blanco (S.C. 5).

### EJEMPLO: SIMULACIÓN MENSUAL SIN AIRE ACONDICIONADO

Para realizar estas simulaciones se puede seguir los mismos pasos descritos, cambiando en la primera pantalla de selección (Figura 5) a condición de Sin aire acondicionado y período el mes a elegir, en este ejemplo Mayo. Si se corrieron primero las simulaciones anuales, como en este ejemplo, se puede utilizar la tabla mostrada en la Figura 13 y cambiar solo el período (ver recuadro rojo) y volver a correr el programa. Cuando se corre el programa en simulación mensual sin aire acondicionado, la primera gráfica (Figura 15) es la temperatura del aire al interior obtenida por cada sistema constructivo como función del tiempo, para el día típico del mes. Como referencia también se muestran la temperatura del aire exterior y la zona de confort. La segunda gráfica es la energía transmitida por los sistemas constructivos para el día típico del mes.

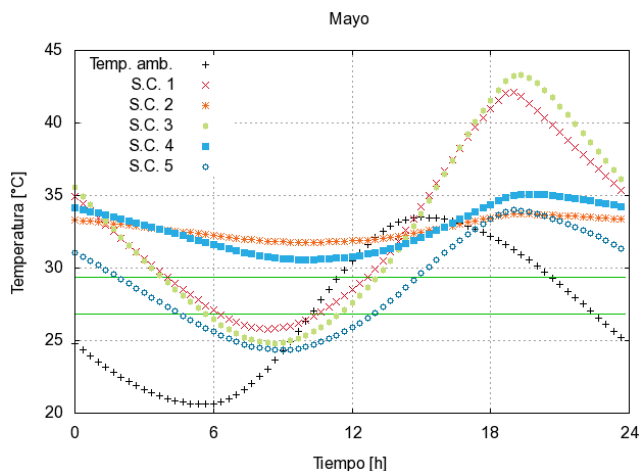


Figura 15: Temperatura del aire interior para los cinco sistemas constructivos, temperatura del aire exterior ( $T_a$ ) y zona de confort marcada con las líneas horizontales verdes.

En la Figura 15 se observa que sin aire acondicionado el efecto de cambiar el color exterior en un muro de concreto de alta densidad de color concreto claro (S.C. 1) a blanco (S.C. 5) disminuye la temperatura máxima del aire interior.

### COMENTARIOS FINALES

La herramienta numérica Ener-Habitat se encuentra en desarrollo. Al momento de escribir este artículo evalúa sistemas constructivos con capas homogéneas. Se espera que en un futuro pueda evaluar sistemas constructivos de capas no homogéneas, como son el bloque hueco de concreto y la vigueta y bovedilla, sistemas que son muy comunes en la construcción de viviendas en México.

Los resultados de los ejemplos presentados en este trabajo, muestran la necesidad de evaluar a los sistemas constructivos bajo las condiciones de uso de la edificación proyectada. Ya que un sistema constructivo adecuado para aire acondicionado puede no serlo para no aire acondicionado (Barrios et al 2011).

### AGRADECIMIENTOS

Esta herramienta es parte del proyecto S0019-2009-01-118665 financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética

CONACyT-SENER. Los autores agradecen la asesoría de Héctor Cortés en el desarrollo de la interface de Internet, a Ileana González por su contribución en el desarrollo de la base de clima de Ener-Habitat y a Meccano de México por permitir el uso de los datos experimentales tomados dentro del proyecto Estudio para mejorar la sustentabilidad de la vivienda construida con el sistema Meccano y a todos los usuarios de Ener-Habitat, en especial los participantes en el proyecto, por sus valiosos comentarios para mejorar la interface *web* de la herramienta.

### REFERENCIAS

- Barrios, G., Huelsz, G., Rechtman, R., and Rojas, R. (2011) Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms, *Energy and Buildings* 43, p. 219-223.
- 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.
- INEGI (2005). Distribución porcentual del clima según clasificación para cada entidad federativa, 2005 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mamb22&s=est&c=6009>
- ONNCCE, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2009). Norma NMX460 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – AISLAMIENTO TÉRMICO – VALOR R PARA LAS ENVOLVENTES EN VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA – ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN.
- SENER, Secretaría de Energía (2001). Norma oficial mexicana NOM-008-ENER-2001 para eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. *Diario Oficial*, Miércoles 25 de abril de 2001, p. 59-100.
- SENER, Secretaría de Energía (2011). Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional. *Diario Oficial*, Martes 9 de agosto de 2011, p. 44-90.
- Kuehn T.H., Ramsey W.W., and Threlkeld J.L. (2001). *Thermal Environmental Engineering*, p. 559-560. Prentice Hall, New Jersey.
- SMN, Sistema Meteorológico Nacional (2009). <http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv/hmproduc.html>
- Morillón-Gálvez D., Saldaña-Flores R., and Tejeda-Martínez A., (2004). *Human bioclimatic atlas for Mexico*, Solar Energy, Vol. 76, p. 781-792.
- Huelsz G., Rechtman R. y Rojas J. (2009). Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación. XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, de la Asociación Nacional de Energía Solar.
- Huelsz G, et al, (2011). Informe Técnico Etapa 1: USO DE SISTEMAS PASIVOS. Proyecto “Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo-constructivos en la edificación para diferentes climas de México”. Fondo Sectorial CONACyT-SENER Sustentabilidad energética 118665. Febrero 2011.
- Huelsz G, et al, (2012). Informe Técnico ETAPA 2: Evaluación casas. Proyecto “Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo-constructivos en la edificación para diferentes climas de México”. Fondo Sectorial CONACyT-SENER Sustentabilidad energética 118665. Febrero 2012.