

## Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico

### Energy simulation of a social interest housing prototype to evaluate thermal comfort

TORRES-AGUILAR, Carlos<sup>†</sup>, SERRANO-ARELLANO, Juan<sup>\*´</sup>, MACIAS-MELO, Edgar y TREJO-TORRES, Betzabeth<sup>´</sup>

*División de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Vhsa, Centro, Tabasco, C.P. 86040, México.*

*´División de Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan-ITESHU-TecNM. Dom. Conocido S/N, El Saucillo, Huichapan, Hgo, C.P. 42411. México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Carlos, Torres-Aguilar*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Juan, Serrano-Arellano*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Edgar, Macias-Melo*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Betzabeth, Trejo-Torres*

DOI: 10.35429/JCE.2020.11.4.16.21

Recibido 20 de Enero, 2020; Aceptado 30 de Junio, 2020

#### Resumen

Se realizó una simulación energética de un prototipo de vivienda de interés social de la ciudad de Pachuca Hgo., el prototipo se analizó bajo un programa comercial para determinar las cargas térmicas. Se realizó un modelo tridimensional de la vivienda con sus componentes y elementos que la constituyen con parámetros reales. Se obtuvieron datos del clima de la región y se importaron al programa de análisis. El modelo de estudio se comparó con distintas configuraciones en cuanto a los materiales empleados para su construcción tomando en cuenta condiciones de sombreado y orientación con respecto al sol. Se presentó un análisis térmico con los beneficios del modelo de estudio. Finalmente, se realizó un análisis de los resultados obtenidos a partir de las distintas configuraciones en la simulación, en el que se presenta un incremento en la eficiencia térmica del 35%. Con el análisis se mostró el uso adecuado de elementos bioclimáticos combinado con elementos constructivos de la región.

**Bioclimática, Eficiencia térmica, Simulación numérica**

#### Abstract

An energetic simulation of a prototype social interest housing was made for the Pachuca City Hgo., the prototype was analyze with a commercial software to determinate the thermal loads. A tridimensional model of house with his respective real parameters, components and elements was made. The real weather data of the region were obtained and were imported to the software to analyze it. The fisical model was compare with different material sets used in typical constructions, where the shading devices and orientation respective to sun were considered. A thermal analysis with benefits of fisical model was shown. Finally, an analysis of the results obtained in different sets in the simulation was made, an increment in the thermal efficiency of 35% was obtained in the results. In this work the correctly use of bioclimatic elements coupled with typical elements of the region coupled are shown.

**Bioclimatic, Thermal efficiency, Numerical simulation**

**Citación:** TORRES-AGUILAR, Carlos, SERRANO-ARELLANO, Juan, MACIAS-MELO, Edgar y TREJO-TORRES, Betzabeth. Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico. Revista de Ingeniería Civil. 2020. 4-11:16-21.

\*Correspondencia del Autor (Correo electrónico: jserrano@iteshu.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Actualmente son notables los cambios en el medio ambiente como el aumento de la temperatura en la atmosfera, la disminución de la capa de ozono entre otros aspectos. Todo esto como una consecuencia de la creciente explotación de los recursos naturales y la contaminación generada por el consumo de energía. De acuerdo con “Energy Information Administration” (EIA) de los Estados Unidos, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo principal de energía han aumentado del 85% al 75% de 1980 a 2012 con un promedio anual de incremento de 2% y 1.7% respectivamente [1]. Las proyecciones a futuro con respecto al consumo de energía, el uso de carbón mineral y la emisión de CO<sub>2</sub> predicen que todo esto aumentara en un 32%, 19% y 16% respectivamente del 2012 al 2035. Esto quiere decir que la degradación de nuestro entorno natural aumenta y es alarmante para los gobiernos de todos los países en todo el mundo.

Una de las razones por las que se ha incrementado la demanda energética durante los últimos años recae en el estilo de vida de las personas ya que estadísticas muestran que los personas pasan el 80% de sus vidas dentro de viviendas, oficinas, centros comerciales, entre otras edificaciones [2], y esto se traduce en el uso de sistemas y aparatos eléctricos que nos permitan vivir en comodidad. Una de las formas en el que el ser humano basa su criterio de comodidad es en el “confort térmico” en las edificaciones. Durante años, nuestros antepasados construían sus hogares con base en formas y materiales que, más allá del aspecto estético, fueran lugares adecuados para vivir en climas extremos.

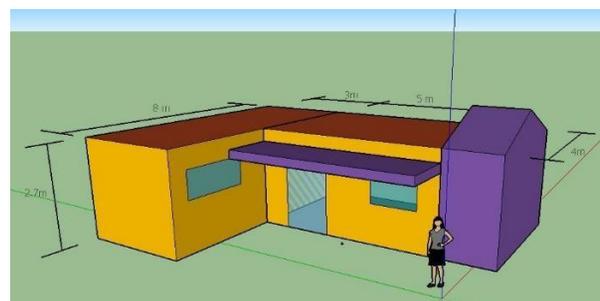
Es por ello que, en los últimos años, se han estado estudiando elementos arquitectónicos para construir viviendas y edificaciones bioclimáticas, amigables con el medio ambiente y que ayuden a reducir el alto consumo de energía por el uso de sistemas de aire acondicionado y calefacción para alcanzar el estado de confort.

En el estudio y análisis de edificaciones se encuentran los métodos experimentales para la medición de las temperaturas al interior, sin embargo, este método suele ser más costoso y puede llevar más tiempo su implementación, sin mencionar el hecho de que debe estar construido completamente la edificación, por esta razón las modelaciones numéricas de edificaciones reducen el costo del que depende la compra de instrumentos para la medición. Como en el trabajo de Stefanovic et al (2016), en el que realizó la simulación de un edificio de oficinas ubicada en Madrid España, para analizar el consumo de energía debido a las cargas térmicas que se generaban al interior.

En este trabajo se reportan los resultados obtenidos a partir de la simulación energética en un prototipo de vivienda de interés social de la ciudad de Pachuca, en el estado de Hidalgo. Se analizaron distintos materiales para observar su comportamiento térmico y evaluar los beneficios energéticos y de confort térmico para futuros diseños. Se empleó el programa TRNSYS para la simulación de la edificación 3D y una base de datos de una estación meteorológica del lugar para el análisis.

## Descripción del método

### Caso de estudio



**Figura 1** Prototipo de vivienda de interés social

En la Figura 1 se muestra el modelo de la vivienda de interés que se tomó como prototipo para la simulación energética, en ella se encuentran marcadas las dimensiones del modelo físico. Este modelo en particular es originario de la ciudad de Pachuca, Hidalgo; una vivienda de una sola planta que cuenta con dos habitaciones, cocina, sala-comedor, y un sanitario. La distribución de tales habitaciones no se consideró para este estudio sino solo las dimensiones de sus elementos externos y los materiales que lo conforman.

La orientación de esta edificación está dada con respecto a los puntos cardinales. El frente de la edificación está orientado hacia el oeste. Cuenta con dos puertas, una delantera que se muestra en la figura, y una trasera ubicada hacia la pared este del modelo; cuatro ventanas, todas del mismo tipo de cristal y propiedades físicas; y dos elementos de sombreado externo que son la casa adyacente a la vivienda y una marquesina ubicada al frente superior de la entrada principal, ambos elementos se encuentran en la Figura 1 como los objetos color púrpura. Los materiales empleados para la construcción del modelo y que fueron usados para las configuraciones de dos simulaciones que se llevaron a cabo, se muestran en la Tabla 1 a continuación:

Elemento	Conductividad térmica (kJ/hmK)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (KJ/kgK)
Mortero de revoco gris	0.028200	1400	0.83716
Ladrillo macizo	21	2312.5	1.05
Concreto (mezcla para losa)	0.030	1600	0.83716
Roca natural porosa	1.980	1600	1

**Tabla 1** Propiedades físicas de los materiales empleados para la simulación

La primera simulación que se realizó fue con paredes construidas con ladrillo macizo recubiertos con mortero de revoco gris, materiales comunes en el mercado de la construcción. La segunda simulación empleó roca natural porosa como elemento principal para las paredes. Esto último debido a que en el estado de Hidalgo se cuenta con abundantes yacimientos de piedra de toba, elemento natural extraído de las canteras localizadas principalmente en la zona conocida como Valle del Mezquital y comúnmente empleado por los habitantes como materia prima para sus viviendas.

Para las simulaciones del modelo físico, se realizó el dibujo en tres dimensiones en un programa CAD y posteriormente se trasladó al simulador. Para este caso se realizó la simulación en Simulation Studio de TRNSYS 17, programa que se enfoca en la simulación de sistemas térmicos.

Por medio de programación en bloques, se establecieron las condiciones de frontera, propiedades de los materiales y se añadieron las condiciones meteorológicas de la región, para luego configurar el intervalo de tiempo en el que se realizaron las simulaciones el cual fue de un total de 168 horas, equivalente a una semana.

### Ecuaciones Gobernantes

Para la simulación de las edificaciones en TRNSYS 17, se empleó un modelo de balance de energía [4]:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{vent,i} + \dot{Q}_{g,c,i} + \dots \quad (1)$$

En donde:

$Q_i$  : representa el flujo de calor total al interior de la vivienda.

$Q$  : ganancia por convección de las superficies interiores

$Q_{inf,i}$  : ganancia por infiltración por parte del flujo del exterior.

$Q_{vent,i}$  : ganancias por ventilación debido a una fuente definida por el usuario.

$Q_{g,c,i}$  : ganancias internas como lo son iluminación, equipos, personas, etc.

$Q_{cplg,i}$  : ganancias de habitaciones aledañas a la del análisis.

$Q_{solair,i}$  : fracción de radiación solar que se transfiere por las ventanas y por convección al aire interior.

$Q_{ishcci,i}$  : radiación solar absorbida por los elementos internos de sombreado y que pasan por convección al aire interior.

La modelación de los muros es importante en el análisis térmico de edificaciones.

Como se mencionó anteriormente, la programación de la solución general es mediante diagramas de bloques, que estos a su vez, están conformados por las funciones de transferencia de cada uno de los componentes de la edificación. Tales como se muestran a continuación:

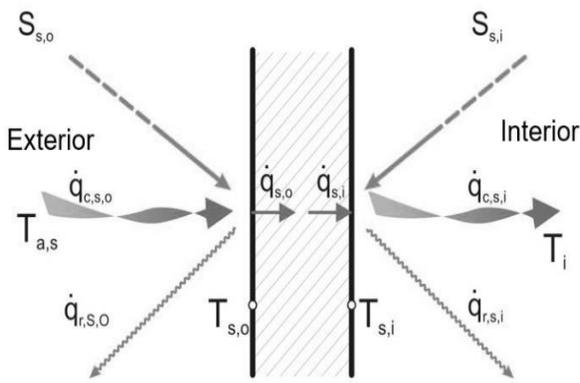


Figura 2 Modelación de los muros en TRNSYS 17

$$\dot{q}_{z,i} = \sum_{k=0}^{N_{s,i}} b_k T_{z,i}^k - \sum_{k=0}^{N_{s,i}} c_k T_{z,i}^k - \sum_{k=1}^{N_{s,i}} d_k \dot{q}_{z,i}^k \quad (2)$$

$$\dot{q}_{z,o} = \sum_{k=0}^{N_{s,o}} a_k T_{z,o}^k - \sum_{k=0}^{N_{s,o}} b_k T_{z,i}^k - \sum_{k=1}^{N_{s,o}} d_k \dot{q}_{z,o}^k \quad (3)$$

La ecuación 2 y 3, son las relaciones de los flux de calor obtenidas a partir de las funciones de transferencia y son definidas entre la superficie exterior e interior. En donde:

$q_{s,i}$ : es el flux de calor de la superficie interior.

$q_{s,0}$ : es el flux de calor de la superficie exterior.

$a, b, c$  y  $d$ : son los coeficientes de transferencia de calor.

$k$ : se refiere al término del tiempo discreto en el que se evalúa la función.

Continuando con otros elementos, el balance de energía para los cristales se expresa como:

$$\dot{Q}_{abs,i} = 0.5 \left( \begin{matrix} Q_{abs,i} + h_i(T_i - T_{zone}) - \dots \\ \dots - h_{c,o}(T_o - T_{amb}) - \dot{Q}_{sky} \end{matrix} \right) \quad (4)$$

En donde:

$Q_{abs}$ : es la tasa de cambio del flujo de calor absorbido por el cristal.

$h_i$ : es el coeficiente convectivo al interior.

$T_i$ : es la temperatura de la superficie interior.

$T_{zone}$ : es la temperatura del aire al interior.

$h_{c,o}$ : es el coeficiente convectivo exterior.

$T_o$ : es la temperatura de la superficie exterior.

$T_{amb}$ : es la temperatura ambiente.

$Q_{sky}$ : es la tasa de cambio del flujo de calor de la bóveda celeste.

Resultados

Los resultados que se obtuvieron fueron a partir de los cambios en la selección de materiales en muros y techos, la geometría y orientación del modelo permaneció sin modificaciones. A continuación, se muestran los gráficos de las simulaciones que se obtuvieron:

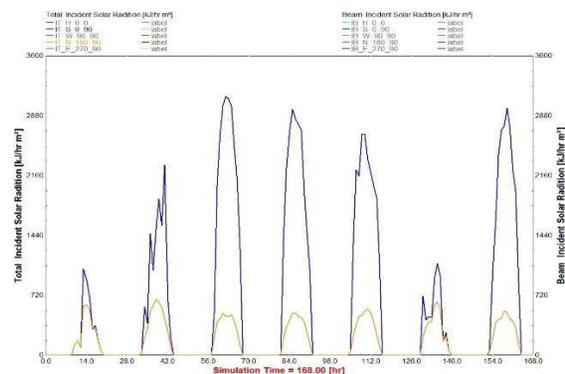
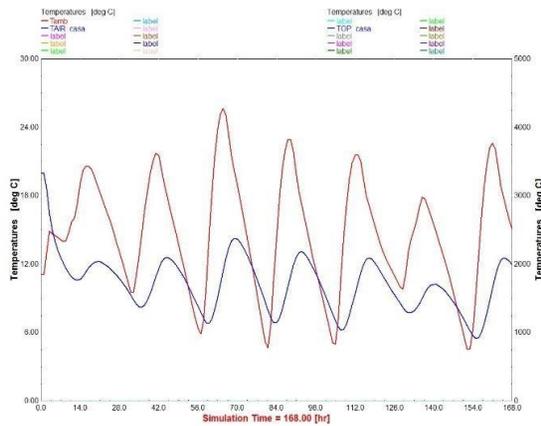


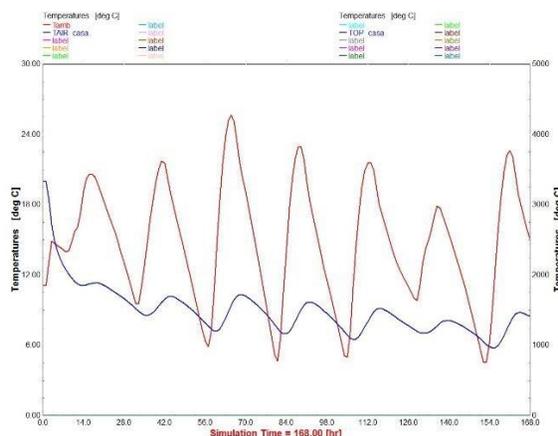
Figura 3 Radiación total incidente máxima y mínima

En la Fig. 1, se muestra la radiación máxima recibida durante el día (línea azul) a lo largo de la semana, la cual se presenta en la dirección de la pared sur, en comparación con la radiación mínima (línea amarilla) la cual fue sobre la pared norte. Es importante la orientación de las paredes con mayor área, ya que, si estos elementos son orientados hacia las zonas de mayor radiación incidente, las ganancias de calor hacia el interior aumentan y esto se traduce en elevaciones de la temperatura ambiente interior, como consecuencia principal decaería el confort térmico de la edificación. Este gráfico es el mismo para ambas simulaciones con distintos materiales.



**Figura 4** Temperaturas exterior e interior promedio. Configuración 1

En la Fig. 2, se muestran las oscilaciones de las temperaturas ambiente exterior e interior promedio del modelo en el que las paredes son conformadas de ladrillo macizo y mortero de revoco gris. La temperatura ambiente exterior promedio (línea roja) muestra un pico superior de  $26.5^{\circ}\text{C}$  en el día más caluroso, sin embargo, la temperatura interior promedio (línea azul) se reduce a  $14.5^{\circ}\text{C}$ . Una de las razones por las que existe una reducción considerable entre ambas temperaturas es debido al elemento de sombreado que cubre la pared sur, y como se menciono anteriormente, la mayor cantidad de radiación solar se presenta en esta dirección.



**Figura 5** Temperaturas exterior e interior promedio. Configuración 2

En la Fig. 3, se muestra las oscilaciones de la temperatura ambiente exterior promedio (línea roja), y la temperatura ambiente interior promedio (línea azul), para el modelo con paredes de roca natural porosa. Observando el mismo día con la temperatura máxima exterior de  $26.5^{\circ}\text{C}$ , es notable la reducción de la temperatura ambiente al interior de la edificación, con una lectura de  $9.7^{\circ}\text{C}$ .

Lo que significa que la diferencia entre las configuraciones 1 y 2 es de  $4.8^{\circ}\text{C}$  bajo las mismas condiciones climatológicas y sin cambios en la orientación.

## Conclusiones

En este trabajo se presentó el resultado de las simulaciones energéticas de una edificación con el fin de evaluar el confort térmico. Como se observan en los resultados, la mayor reducción de temperatura se presenta en la edificación con materiales típicos de la región. La eficiencia térmica de esta configuración aumento en un 35% con respecto a aquella con materiales comerciales. Por lo que su aplicación a climas más cálidos ayudaría a mejorar el confort térmico y reducir el uso de sistemas de aire acondicionado en viviendas.

En este estudio se resalta la importancia del análisis de sistemas con elementos bioclimáticos, como lo son considerar la orientación de los muros y dispositivos de sombreado, junto con el uso de elementos constructivos típicos de la región para analizar el confort térmico y el aprovechamiento de la energía.

## Agradecimiento

Al Instituto Tecnológico Superior de Huichapan y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo y las facilidades para la realización de este trabajo.

## Referencias

Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198-213. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>

Solar Energy Laboratory, 2005, University of Wisconsin-Madison, TRNSYS 17 Volume 5 Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild.

Stefanović, A., & Gordić, D. (2016). Modeling methodology of the heating energy consumption and the potential reductions due to thermal improvements of staggered block buildings. *Energy and Buildings*, 125. 244-253. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.058>

Soutullo, S., Sánchez, M. N., Enríquez, R., Olmedo, R., Jiménez, M. J., & Heras, M. R. (2016). Comparative thermal study between conventional and bioclimatic office buildings. *Building and Environment*, 105,95-103. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.017>