

Simulación energética de la sala en una vivienda social con muro trombe para evaluar el confort térmico

SERRANO-ARELLANO, Juan *†, AGUILAR-CASTRO, Karla María', TREJO-TORRES, Zaira Betzabeth y MÉNDEZ-TORRES Zeus David'

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

'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.

Recibido Julio 29, 2017; Aceptado Agosto 30, 2017

Resumen

Se realizó una simulación energética de un espacio arquitectónico -sala- al cual se le incorporó un elemento bioclimático pasivo (muro trombe) dentro de un prototipo de vivienda de interés social que se ubica en la comunidad del Saucillo, municipio de Huichapan Hidalgo, el espacio arquitectónico se analizó bajo el programa comercial TRNSYS para determinar las cargas térmicas. Se realizó un modelo tridimensional de la vivienda con sus componentes y elementos que la constituyen con parámetros reales discretizando el espacio arquitectónico de análisis junto con el muro trombe. 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 18%. 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 an architectural space - living room- to which a passive bioclimatic element (trombe wall) was incorporated into a prototype residential housing that is located in the community of Saucillo, Huichapan Hidalgo. The architectural space was analyzed with a commercial software TRNSYS to determine the thermal loads. A tridimensional model of house with its 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 physical model was compared 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 physical 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 18% was obtained in the results. In this work the correct use of bioclimatic elements coupled with typical elements of the region coupled are shown.

Bioclimatic, Thermal Efficiency, Numerical simulation.

Citación: SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla María', TREJO-TORRES, Zaira Betzabeth y MÉNDEZ-TORRES Zeus David. Simulación energética de la sala en una vivienda social con muro trombe para evaluar el confort térmico. Revista de Investigación y Desarrollo 2017, 3-9:31-39.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jserrano@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Durante muchos años se han empleado diversas estrategias como alternativas para obtener un confort energético dentro de los espacios arquitectónicos, debido a las constantes variaciones en las condiciones climáticas que se han presentado alrededor del mundo durante las últimas décadas, provocadas por el consumo energético desmedido y la necesidad del hombre de permanecer en condiciones de confort. Expertos en el cambio climático afirmaron que entre 1970 y 2004 las emisiones globales de gases de efecto invernadero se elevaron alrededor del 70% [1].

Actualmente son notables los cambios en el medio ambiente como el aumento de la temperatura en la atmósfera, 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 CO₂ 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 [2].

Por lo anterior se buscan alternativas que ayuden a mitigar los impactos negativos energéticos siendo un ejemplo la arquitectura bioclimática que toma en cuenta las condiciones climáticas de una zona y aprovecha al máximo los recursos naturales, contribuyendo a la disminución del impacto ambiental y la reducción del consumo energético [3]. La disminución de los impactos negativos energéticos se puede lograr por medio de la incorporación de elementos bioclimáticos pasivos, denominados así porque actúan de manera sensible y no necesitan de un agente energético para funcionar.

Se han llevado a cabo diversos estudios de simulación energética de prototipos de vivienda en el estado de Hidalgo, México específicamente en la ciudad de Pachuca, donde Torres-Aguilar “et al” realizaron la simulación energética de un prototipo de vivienda social, por un lado la modelación se llevo a cabo con materiales no endémicos de la región y a la par llevaron a cabo otras simulaciones donde incorporaron materiales vernáculos de la zona siendo en este segundo caso donde añadieron un elemento bioclimático pasivo específicamente una chimenea solar.

En el primer caso obtuvieron datos que muestran el comportamiento de la temperatura interna de la vivienda, en el segundo caso se hace notable la reducción del impacto energético gracias a la incorporación del elemento bioclimático pasivo, dando como resultado que se logra un aumento de la eficiencia térmica en un 35% [4].

Un caso análogo desarrollado fue el presentado por [8] en el que se realizó un estudio de simulación energética de viviendas unifamiliares en el sur de Chile, además realizó entrevistas a usuarios sobre las condiciones de las mismas. En los resultados mostraron características significativas en el estudio energético.

Otro estudio fue el [9] donde se presentó un estudio para una rehabilitación de un edificio partiendo del estudio de eficiencia energética para lograr optimizar la energía de consumo. Se propusieron mejoras de acuerdo a la normativa europea y se propusieron medidas activas como mejorar instalaciones.

En este trabajo se reportan los resultados obtenidos a partir de la simulación energética de un prototipo de vivienda social ubicada en la comunidad del Saucillo, municipio de Huichapan Hidalgo.

De la vivienda propuesta, se eligió un espacio arquitectónico siendo en este caso la -sala- a la cual se le incorporó el elemento bioclimático pasivo - muro trombe-. Para realizar la simulación en primer instancia se generó la geometría de la edificación, para lograr este objetivo se utilizó el programa SketchUp Pro 2014, donde se delimitaron los componentes geométricos-arquitectónicos del espacio arquitectónico interno a analizar, los componentes que se discretizaron fueron: dimensiones, muros, vanos, losa, piso y el muro trombe; posteriormente a la generación de la geometría de la edificación se importó al programa TRNSYS para realizar la simulación energética de la edificación 3D, aquí se establecieron los parámetros de la construcción, desde el tipo de material hasta las condiciones climáticas de la zona, para observar su comportamiento térmico y evaluar los beneficios energéticos y de confort térmico para futuros diseños.

Método

En la Figura 1 se muestra la planta arquitectónica del prototipo de vivienda social simulado, en ella se encuentran marcadas las dimensiones del modelo físico. De este prototipo de vivienda se seleccionó un espacio arquitectónico interno (sala) en donde realizaremos la simulación energética, en la Figura 1 se observó este espacio delimitado por una línea continua color rojo.

Al espacio arquitectónico interno incorporamos el elemento bioclimático pasivo - muro trombe- para realizar la valoración energética. Este prototipo de vivienda social se ubica en la comunidad del Saucillo, municipio de Huichapan, Hidalgo; una vivienda de planta única y que presenta el siguiente programa arquitectónico: dos habitaciones, cocina, sala-comedor, y un baño.

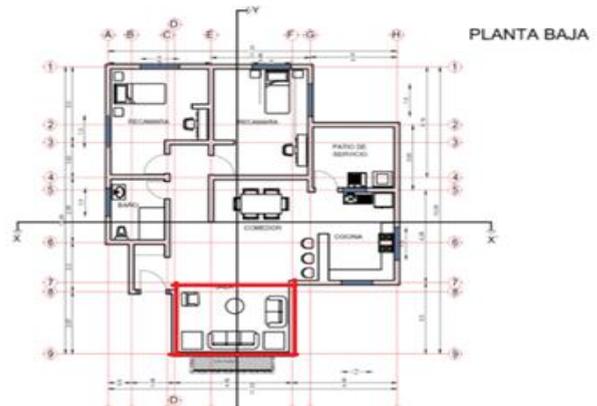


Figura 1 Prototipo de vivienda de interés social

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un estudio de las condiciones climatológicas de la comunidad del Saucillo, la cual se encuentra ubicada en el estado de Hidalgo en el municipio de Huichapan. La localidad se encuentra en las siguientes coordenadas: Longitud (-99.707500), Latitud (20,317222), y una altura de 2170 metros sobre el nivel del mar [5]. La región cuenta con un clima templado frío, y tiene una temperatura promedio anual de 16°C, con un periodo lluvioso contando una precipitación total anual de 543.4mm [5]. La distribución de tales habitaciones no se considero para este estudio sino solo las dimensiones de sus elementos externos y los materiales que lo conforman. La orientación de esta edificación esta dada con respecto a los puntos cardinales. El frente de la edificación esta orientado hacia el sur.

Cuenta con solo un acceso y una puerta de servicio; cinco ventanas, todas del mismo tipo de cristal y propiedades físicas. Se realizó el modelo volumétrico de la vivienda social y posteriormente se discretizó el espacio arquitectónico interno -sala-. La simulación se realizó para la sala este espacio de la vivienda es el que tiene más impacto por el elemento bioclimático. En la Figura 2 se muestra el modelo volumétrico integral de la vivienda social donde se ubica el espacio arquitectónico de análisis y al cual se le incorporó el elemento bioclimático pasivo (muro trombe).

Para el modelado volumétrico se utilizó el programa SketchUp Pro 2014, el cual es un programa de dibujo que nos permite generar una geometría espacial del prototipo de vivienda social, la cual posteriormente exportaremos al programa TRNSYS para llevar a cabo la simulación energética.



Figura 2 Modelo volumétrico de la vivienda donde se incorporó el elemento bioclimático pasivo (muro trombe)

Fuente: Elaboración propia

Del modelo integral de la vivienda, se seleccionó solo un espacio arquitectónico interno para el caso de estudio, como tal se eligió la sala, la cual cuenta con un área total de 15.00 m^2 . En la Figura 3 observamos una vista en isométrico del modelo volumétrico del espacio interno seleccionado –sala– del prototipo de vivienda social.

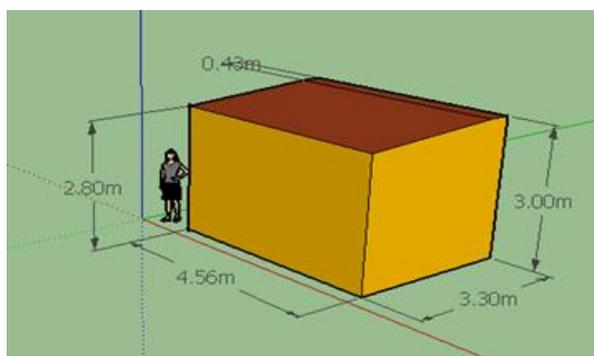


Figura 3 Modelo volumétrico en isométrico del espacio arquitectónico interno seleccionado para reliazar la simulación energética.

Fuente: Elaboración propia

Esta discretización del espacio arquitectónico interno se considera como modelo inicial, realizando los siguientes planteamientos: el espacio lo delimitamos por medio de los siguientes componentes arquitectónicos: muros, losas y pisos, no se consideran las generaciones internas de calor para cuestiones de análisis, se definió la orientación del muro principal de la sala (donde en su momento ubicaremos el elemento bioclimático pasivo) el cual esta orientado hacia el sur, la parte que conecta a este espacio arquitectónico con el resto de la vivienda específicamente su vínculo directo con el comedor se considera como un aislante térmico estableciendo la configuración espacial con base a un muro (orientación norte) el cual no tiene incidencia solar (al ser interno) y de este modo no afectaría los resultados.

Los materiales empleados para la construcción del modelo del espacio arquitectónico interno a analizar y que fueron usados para las configuraciones de las simulaciones energéticas que se llevaron a cabo, se muestran en la Tabla 1, aquí se muestra también las propiedades térmicas respecto a cada material empleado.

Muros				
Materiales	Conductividad térmica (kJ/hmK)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (kJ/kgK)	Espesor (m)
Mortero de concreto	0.0282	1400	0.83716	0.01
Ladrillo macizo	21	2312.5	1.05	0.12
Mortero de concreto	0.0282	1400	0.83716	0.01
Losa				
Mortero de concreto	0.0282	1400	0.83716	0.02
Ladrillo macizo	21	2312.5	1.05	0.12
Piso				
Losa de Concreto	0.03	1600	0.83716	0.05

Tabla 1 Materiales empleados en la simulación energética

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4, muestra el mismo modelo volumétrico del espacio arquitectónico seleccionado –sala- del prototipo de vivienda social que visualizamos en la Figura 3, sólo que con la particularidad que ahora se agregó el elemento biclimático pasivo en este caso de estudio se especifica un muro.

Trombe con el objetivo de realizar la simulación energética ante este nuevo escenario. La ubicación del muro trombe coincide con el muro de orientación sur que se especifico en la simulación anterior (sin elemento pasivo bioclimático), solo que ahora se reemplaza el muro convencional por el elemento bioclimático pasivo para realizar la simulación.

Para esta simulación se respetarán los material, coeficientes y propiedades físicas mostradas en la Tabla 1. La simulación se realizo tomando como la zona del muro trombe dependiente de la habitación.

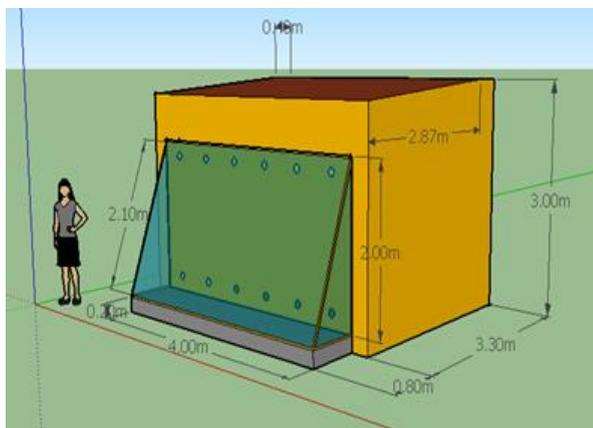


Figura 4 Modelo volumétrico en isométrico del espacio arquitectónico interno seleccionado con el elemento biclimático pasivo adosado en su configuración

Fuente: Elaboración: propia

En la Tabla 2 se muestran las propiedades térmicas del material que integra al muro Trombe.

Vidrio				
Tipo de vidrio	Coefficiente global de transferencia de calor (W/m^2K)	Coefficiente de ganancia solar	Área (m^2)	Espesor (mm)
Vidrio Claro Simple	5.73	0.789	7.702	6
Vidrio Claro Simple	5.73	0.789	1.361	6
Vidrio Claro Simple	5.73	0.789	1.361	6

Tabla 2 Propiedades termofísicas de los materiales que integran al muro trombe.

Fuente: Elaboración propia

Para las simulaciones del modelo físico, se realizó el dibujo en tres dimensiones en el programa SketchUp Pro 2014 y posteriormente se trasladó al simulador. Se realizó la simulación energética en el programa 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 (se considero un estado transitorio de una semana lo que equivale a un total de 168 horas).

Ecuaciones Gobernantes

Para la simulación de las edificaciones en TRNSYS 17, se empleó un modelo de balance de energía [6], el software TRNSYS que trabaja bajo la plataforma de Fortran, es un simulador para sistemas térmicos. Su programación se estableció básicamente para resolver ecuaciones de transferencia de calor del estado transitorio. TRNSYS trabaja estos casos con un modelo de ecuaciones de balance de energía, a pesar que los métodos analíticos existentes se basan en ecuaciones diferenciales de conservación de energía, masa y momento [7]. En la ecuación se muestra un modelo de balance de energía:

$$Q_i = Q_{surf,i} + Q_{inf,i} + Q_{vent,i} + Q_{g,c,i} + Q_{cptg,i} + Q_{solar,i} + Q_{ISHCCI,i} \quad (1)$$

SERRANO-ARELLANO, Juan, AGUILAR-CASTRO, Karla María, TREJO-TORRES, Zaira Betzabeth y MÉNDEZ-TORRES Zeus David. Simulación energética de la sala en una vivienda social con muro trombe para evaluar el confort térmico. Revista de Investigación y Desarrollo 2017.

En donde:

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

$Q_{surf,i}$: 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.

$Q_{solar,i}$: 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 en la Figura 5.

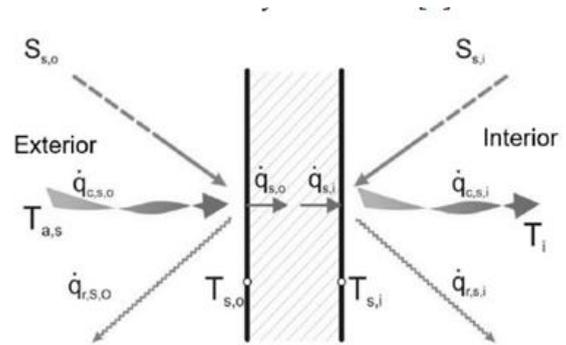


Figura 5 Modelación de los muros en TRNSYS 17

Fuente: Elaboración propia

$$q_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,0}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k q_{s,i}^k \quad (2)$$

$$q_{s,0} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,0}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k q_{s,0}^k \quad (3)$$

Las ecuaciones 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 termino del tiempo discreto en el que se evalua la función. Para la modelación de las ventanas se considera la suma de la radiación de onda corta absorbida por todos los vidrios del muro.

$$Q_{abs} = 0.5[Q_{abs} + h(T_i - T_{zone}) - h_{c,0}(T_o - T_{amb}) - Q_{sky}] \quad (4)$$

De donde:

Q_{abs} : Es la tasa de cambio de calor absorbido por el vidrio.

h_i : Es el coeficiente convectivo al interior.

T_i : Es la temperatura de la superficie interior.

T_{zone} : Es la temperatura del aire interior.

$h_{c,0}$: Es el coeficiente convectivo exterior.

T_o : Es la temperatura de la superficie exterior.

T_{amb} : Es la temperatura del ambiente.

Q_{sky} : Es la tasa de cambio del flujo de calor de la bóveda celeste [7]

Al realizar la simulación el programa tiene valores preestablecidos de la temperatura ambiente de la región de estudio.

Resultados

Los resultados que se obtuvieron, fueron a partir de las dos discretizaciones de modelo que se llevaron a cabo, en primer instancia la simulación del espacio arquitectónico interior seleccionado (sala) sin elemento bioclimático pasivo y posteriormente la simulación del espacio arquitectónico interior seleccionado (sala) con la incorporación del elemento bioclimático pasivo (muro trombe adosado al espacio arquitectónico). La orientación y geometría de ambas simulaciones permanecieron constantes. El Gráfico 1 muestra los resultados del comportamiento de la temperatura interior del espacio interior seleccionado (sin elemento bioclimático pasivo incorporado).

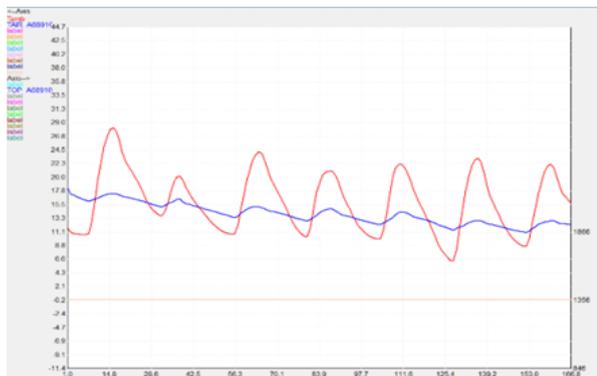


Gráfico 1 Oscilaciones de las temperaturas interior y exterior del espacio arquitectónico seleccionado (sala)
Fuente: Elaboración propia

La línea roja muestra la temperatura ambiente, esta temperatura durante la simulación alcanzó una máxima de 27.3°C y una mínima de 6°C. La línea azul nos revela el comportamiento de la temperatura interior, presentándose oscilaciones con cambios muy drásticos, alcanzando una temperatura máxima de 17.09°C y una mínima de 10.5°C.

Estos resultados nos revelan que el material con que se estructura la edificación no es suficiente para obtener un confort térmico dentro del espacio arquitectónico, ya que contar con temperaturas que oscilan entre 17.09°C y 10.5°C provocarán que el usuario experimente sensación de frío aun durante el día. La llave azul fuera del gráfico muestra el intervalo de confort, se puede observar que la configuración con el elemento bioclimático acerca las temperaturas a la temperatura de confort.

En el Gráfico 2, se muestra la radiación solar total máxima y mínima 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.

Debido a que las dos simulaciones llevadas a cabo se realizaron con los mismos parámetros climáticos, las incidencias solares son las mismas.

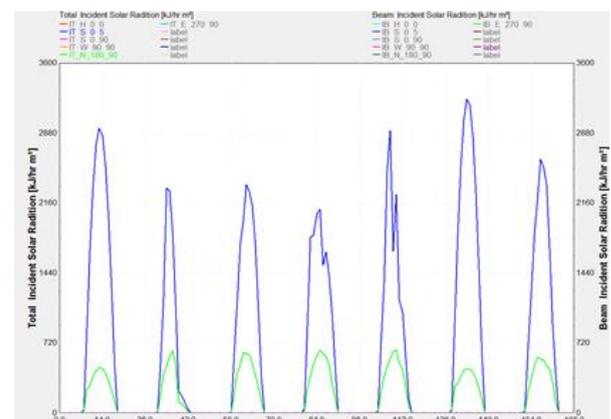


Gráfico 2 Radiación solar incidente máxima y mínima
Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 3 muestra el comportamiento de la temperatura del espacio interior seleccionado de la sección de la edificación pero con la particularidad de que se ha incorporado un muro Trombe como elemento pasivo a la construcción. Para esta simulación se utilizaron los mismos materiales y orientación que el caso anterior. Así como en el caso anterior, la línea roja representa la temperatura ambiental, sin embargo, como se trata de las mismas condiciones climáticas, su comportamiento es exactamente igual al caso anterior. La línea rosa representa a la temperatura interior del muro trombe, esta alcanza oscilaciones impresionantes.

Como puede notarse las oscilaciones de la línea azul son menos prolongadas con cambios de temperatura mucho más suaves, estabilizando de manera tenue la temperatura interior, alcanzando como temperatura máxima de 20°C y una mínima de apenas 14.8°C. Por lo que estos resultados demuestran que la incorporación del elemento pasivo es capaz de elevar el confort térmico y una pequeña aunque significativa estabilidad térmica dentro de la edificación.



Gráfico 3 Comportamiento de las temperaturas interior y exterior de la edificación, con la incorporación del muro Trombe

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 muestra un comparativa de las temperaturas internas alcanzadas de acuerdo a las dos escenarios que se simularon.

	Temp. Max (°c)	Temp. Min. (°c)	Temp. Prom. (°c)	Temp. Confort (°c)	Confort (%)	Δ%
Sin muro	17.09	10.5	13.795	20	68.97	18.03
Con muro	20	14.8	17.4	20	87	

Tabla 3 Comparativa de temperaturas internas alcanzadas en el espacio arquitectónico interior

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que el confort térmico se alcanza dentro de un intervalo de 20 a 24 °C, las temperaturas alcanzadas con el elemento bioclimático se acercan más al intervalo de confort. Es de mencionar que se puede mejorar aun las condiciones térmicas de la vivienda propuesta, sin embargo, adicionar otros elementos bioclimáticos está fuera del alcance del presente trabajo.

Conclusiones

En esta investigación se incorporó un elemento bioclimático pasivo (muro trombe) a una sala de un prototipo de vivienda de interés social, la vivienda se localiza en el municipio de Huichapan Hidalgo, en la comunidad del Saucillo.

Al incorporar el elemento bioclimático pasivo se obtuvieron resultados positivos, ya que se presentó un ligero aumento en la estabilidad de la temperatura interior del espacio arquitectónico seleccionado (sala) de la vivienda social, sin embargo se logró que las temperaturas interiores del espacio arquitectónico alcanzarán un rango de confort térmico con la incorporación del muro trombe, ya que sin la inclusión del elemento pasivo.

La sala de esta construcción, presentaría una temperatura media de 13.79°C, la cual contaba con oscilaciones durante los días, con picos bajos que llegaban hasta los 10°C, esto mostraba un estado de bajo confort térmico, sin embargo al agregar el muro trombe se pudo observar un aumento de la temperatura media alcanzando los 17.4°C.

Teniendo suaves oscilaciones, que no representan ningún estado mayor de inconformidad térmica, esto significa que tuvimos un aumento de temperatura de 3.61°C en la temperatura media interior de la edificación.

La incorporación de un elemento pasivo para una edificación como la antes mencionada, es una alternativa para lograr una mejor eficiencia térmica y mantener un ambiente de confort dentro de las edificaciones, de manera sustentable; dicha alternativa no es limitada a la región, ya que el muro no sirve sólo para aumentos de temperatura, con algunas modificaciones simples, es accesible para el enfriamiento de edificaciones, si las condiciones climáticas de la región lo requiere, y de esta forma poder beneficiar a muchas localidades.

Agradecimientos

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

[1] Rodríguez-Muñoz, N. A., Najera-Trejo, M., Alarcón-Herrera, O., Matin-Dominguez, I. R. (2016). Thermal evaluation of a ventilated building using dynamic simulations. *Energy Procedia*, 91, 963-969.

[2] Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., SabioOrtega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736755. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095

[3] Xi, Zhang., Zhiwei, Lian. (2015). The bioclimatic design approach to plateau region buildings: Case of the Lhasa. *Procedia Engineering*, 121, 2044-2051.

[4] Torres-Aguilar, C., Serrano-Arellano, J., Macías Melo, E., Aguilar-Castro, K. (2016). Diseño arquitectónico con elementos bioclimáticos para el confort térmico en viviendas de Hidalgo. *Revista de aplicaciones de ingeniería*, 3, 90-97.

[5] Muñoz-Gaspar, P. (2016). Diseño arquitectónico bioclimático con muro trombe para enfriamiento o calentamiento pasivo en la edificación (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo.

[6] 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

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

[8] R. García-Alvarado, A. González, W. Bustamante, A. Bobadilla, C. Muñoz, Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares, *Informes de la Construcción*, Vol 66, No 533 (2014).

[9] F. Martín-Consuegra, I. Oteiza, C. Alonso, T. Cuerdo-Vilches y B. Frutos, Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC, *Informes de la Construcción*, Vol 66, No 536 (2014).