



Evaluación por simulación dinámica del comportamiento térmico en una casa interés social con la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática en Guanajuato, México

Evaluation by dynamic simulation of thermal behavior in a house of social interest with the incorporation of bioclimatic architecture strategies in Guanajuato, Mexico

Rodríguez-Miranda Sergio

Universidad Politécnica de Guanajuato

Correo: checo_romi@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2456-1596>

Martínez-Álvarez Omar

Universidad Politécnica de Guanajuato

Ingeniería en Energía

Correo: omartinez@upgto.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5314-1745>

González-Nava Catalina

Universidad Politécnica de Guanajuato

Correo: cgonzalezn@upgto.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2846-4766>

Resumen

La climatización electromecánica en edificaciones busca mantener confort térmico para sus ocupantes, sin embargo, este tipo de acondicionamiento representa 40 % del consumo total de energía, generando impacto económico y ambiental, ya que los combustibles fósiles son la principal fuente de energía. Para disminuir el uso del acondicionamiento electromecánico, es posible aprovechar las condiciones climáticas de la región en el diseño arquitectónico. Debido a la poca cantidad de trabajos que sustenten cuantitativamente las medidas orientadas a obtener mejoras en el comportamiento térmico de las viviendas y el crecimiento de la construcción en serie en México, en el presente trabajo se evaluó una propuesta de arquitectura bioclimática para una vivienda de interés social típica en Guanajuato, México; modificando la inercia térmica de los materiales, la absorción y emisividad de la superficie (protección solar), así como un reacomodo de las superficies acristaladas (calentamiento solar pasivo). La evaluación energética se realizó mediante simulación dinámica en la plataforma OpenStudio®, se consideraron las condiciones climáticas del lugar, geometría de la edificación, propiedades de los materiales, horario de ocupación y cargas térmicas. Para fijar las variables de diseño de la propuesta se realizó una comparativa de la energía requerida por acondicionamiento electromecánico para mantener la temperatura entre 20°C y 27°C. Se obtuvieron como resultado, una reducción de 77 % de energía necesaria para el acondicionamiento térmico anual, además de tener una temperatura más estable en el transcurso del día y más equilibrada en los diferentes espacios que la componen.

Descriptores: Arquitectura bioclimática, comportamiento térmico, confort térmico, simulación dinámica, OpenStudio.

Abstract

Electromechanical air conditioning in buildings seeks to maintain thermal comfort for its occupants, however, this type of conditioning represents 40 % of total energy consumption, generating economic and environmental impact since fossil fuels are the main source of energy. To decrease the use of electromechanical conditioning, it is possible to take advantage of the climatic conditions of the region in the architectural design. Due to the small number of works that quantitatively support the measures aimed at obtaining improvements in the thermal behavior of houses and the growth of serial construction in Mexico, in the present work, a bioclimatic architecture proposal for a typical low-income housing in Guanajuato, Mexico was evaluated; modifying the thermal inertia of the materials, the absorption and emissivity of the surface (solar protection), as well as a rearrangement of the glazed surfaces (passive solar heating). The energy evaluation was carried out by means of dynamic simulation on the OpenStudio® platform, considering the climatic conditions of the place, geometry of the building, material properties, occupation schedule and thermal loads. To set the design variables of the proposal, a comparison was made of the energy required by electromechanical conditioning, to maintain the temperature between 20°C and 27°C. As a result, a 77 % reduction in energy needed for annual thermal conditioning was obtained, in addition to having a more stable temperature throughout the day and more balanced in the different spaces that comprise it.

Keywords: Bioclimatic architecture, thermal behavior, Thermal comfort, dynamic simulation, OpenStudio.

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, el ser humano ha buscado protección de las condiciones climáticas para permanecer en un rango donde el desarrollo de sus actividades le requiera el menor consumo de energía corporal (zona de confort térmico). Las edificaciones son la materialización de este objetivo, en primera instancia se tuvo un desarrollo gradual considerando las condiciones ambientales y los recursos disponibles para alcanzar dicha zona. A partir de la revolución industrial y el extendido uso de varias fuentes de energía, se comenzó a desprender de las limitaciones anteriores, alejándose así de la zona de confort térmico y utilizando energía externa para regresar y permanecer en ella. En México 45 % de las viviendas urbanas habitadas cuentan con ventilador mecánico, así como 41 % de las viviendas en zonas rurales. Para el caso de sistemas de aire acondicionado se contabilizan 7 millones de equipos, las viviendas cuentan con este sistema en mayor presencia en la región cálida extrema al norte del país con 48.1 %, el 1.3 % de las viviendas en la región templada del centro y un 12.4 % en la región tropical al sur (SENER *et al.*, 2018).

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

El ser humano busca las condiciones donde adaptarse a su entorno le represente un bajo consumo de energía y estas condiciones se definen como la zona de confort, donde la herramienta principal es la vivienda (Olgay, 1963).

La arquitectura bioclimática surge con la necesidad de adaptar las edificaciones al entorno para aprovechar los recursos disponibles y alcanzar la zona de confort con el menor consumo de energía de fuentes de energía convencionales. Una herramienta importante para ubicar las necesidades energéticas y alcanzar la zona de

confort para un determinado clima es la carta o diagramas bioclimáticos (Manzano *et al.*, 2015). La Figura 1 muestra los diferentes estados de temperatura de bulbo seco y humedad relativa por hora en un año, así como los mecanismos principales para reubicarse en la zona de confort para Guanajuato en la zona centro de México. Para fines prácticos, la zona de confort se encuentra entre los 20°C y 27°C, para una humedad relativa comprendida entre 80 % y 20 %.

Al encontrarse fuera de la zona de confort térmico se requiere un proceso fisiológico o electromecánico de adaptación o acondicionamiento. El proceso de adaptación fisiológico genera una sensación de inconformidad o estrés y el acondicionamiento por medios electromecánicos implica un consumo de energía con el respectivo gasto económico, donde debido a la generación de energía, se generan gases de efecto invernadero como CO₂, N₂O y CH₄; también se liberan a la atmosfera SO₂ y NO_x, los cuales combinados con el agua de lluvia provocan lluvia acida y partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}, que pueden entrar al sistema respiratorio. Según la principal tecnología en México para la generación de electricidad se maneja este ciclo combinado.

Datos de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) indican que la central típica de ciclo combinado La Laguna II Iberdrola México de 538 MW libera 371.98 kg de CO₂ por MWh generado, lo cual ha creado el desarrollo de diferentes trabajos que mejoren la incorporación regional, así como el aprovechamiento de los recursos y condiciones disponibles.

ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CLIMA TEMPLADO Y SECO

Las condiciones climáticas de Guanajuato, ubicado en el centro de México, conlleva un clima mayormente templado y seco. Según la clasificación climática de Köppen, se sugiere en la carta bioclimática de la Figura 1, la nece-

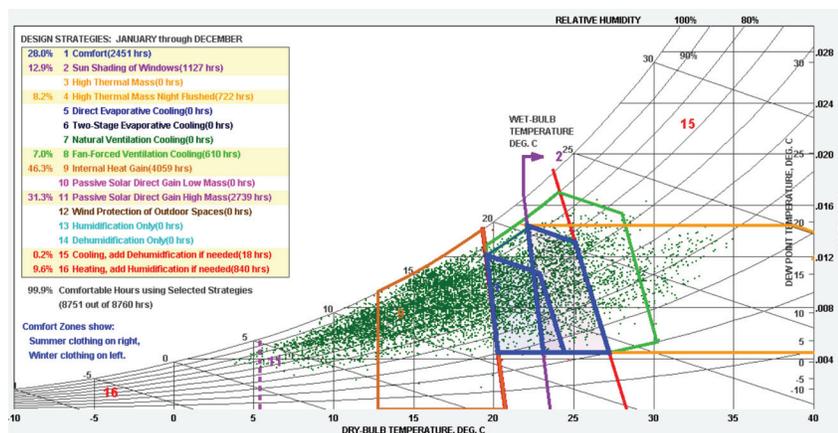


Figura 1. Carta bioclimática para el estado de Guanajuato generada con el software Climate Consultant

sidad de sombra en las ventanas, alta inercia térmica con liberación por la noche, ventilación forzada, ganancia interna solar, ganancia directa solar pasiva con alta masa, enfriamiento con deshumidificación y calentamiento con humidificación.

PROTECCIÓN SOLAR

En zonas cálidas se busca la mayor parte del año reducir la ganancia de energía o la eliminación de esta energía por algún medio. Para disminuir la ganancia de energía solar Sghouri *et al.* (2020) realizan una comparativa de técnicas de enfriamiento pasivo encontrando una disminución de 65 % en la demanda de energía, entre las técnicas se encuentra el sombreado, la emisividad y absorptividad de las superficies, así como aislamiento reflectivo. Conceição y Lúcio (2010) emplean diversos tipos de sombreados como estrategia para regular la radiación solar y de esta forma en complemento con estrategias activas, garantizar aceptables condiciones de confort con un mínimo de energía.

MASA TÉRMICA

En el transcurso del día se tienen oscilaciones de temperatura con un máximo en el día y un mínimo por la noche, esta variación es mayor para zonas secas dada la baja inercia térmica del aire en esas condiciones. Una manera de reducir esta oscilación en el interior de la edificación es retrasar la respuesta de los materiales de construcción, incrementando su inercia térmica. Amaur *et al.* (2020) realizan un estudio con EnergyPlus™ y GenOpt®, con el objetivo de encontrar el diseño óptimo entre el rendimiento térmico y la energía por iluminación, considerando principios de arquitectura bioclimática; entre las variables de diseño que utiliza se encuentra la colocación de aislamiento y el espesor de la masa térmica, que se definen para el caso óptimo con aislamiento en la parte externa y el mayor espesor de la masa térmica (30 cm) de las configuraciones analizadas. Rodríguez *et al.* (2018) analizan el desempeño térmico de un edificio de oficinas considerando diversos componentes constructivos como la cubierta, muro y acristalado disponibles comercialmente y sin modificar la geometría del edificio, particularmente la selección adecuada del tipo de muro donde las variantes de diseño consideraban la aplicación de aislamiento, puede reducir el consumo de energía por climatización en un 18.8 %.

CALENTAMIENTO SOLAR PASIVO

Ya sea que se trate de zonas cálidas o frías, será necesario en mayor o menor grado un aporte de energía, en invierno para zonas cálidas y la mayor parte del año para zonas frías. La radiación solar es un aporte importante de energía, que puede aprovecharse para incrementar la temperatura en la edificación; la captación directa de la energía puede ser por cualquier elemento en la superficie de la construcción como paredes, techo o ventanas, esta captación debe considerar el ángulo de incidencia y la cantidad de energía disponible en la época del año que sea necesaria (Manzano *et al.*, 2015).

CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN SERIE

Debido a la búsqueda de una reducción económica en la construcción de viviendas, se ha optado por el proceso de construcción en serie, donde el diseño y materiales son idénticos para una cantidad considerable de viviendas. Para aumentar la producción se utiliza una formaleta con la representación del diseño, se coloca el soporte estructural y se vacía el concreto, este tipo de construcción no considera dentro de sus prioridades las condiciones térmicas dentro de la vivienda, y pasa a generar un costo económico posterior por acondicionamiento electromecánico. A razón de esta situación se realizan esfuerzos por una mejor incorporación de la arquitectura a su entorno. Dalbem *et al.* (2019) estudiaron por medio de simulación con el programa EnergyPlus™ una adaptación de las casas sociales para tres zonas climáticas en Brasil, bajo el estándar de la casa pasiva, optimizando el aislamiento térmico y el tipo de ventana. Kolokotroni *et al.* (2018) presenta resultados experimentales de la aplicación de pinturas en techos con alta emisividad térmica y alto índice de reflexión solar, para viviendas de bajos recursos en Jamaica, con una reducción promedio de la temperatura interna en 2.3°C.

SIMULACIÓN DINÁMICA

Un punto de partida común para la selección de estrategias es la carta bioclimática, donde de acuerdo con la temperatura y la humedad relativa se ubican en esta las estrategias puntuales a seguir; sin embargo, es necesario que la aplicación de estos conceptos o estrategias no se limiten a la simple aplicación sugerida por el tipo de clima, sino que es preciso un análisis cuantitativo para una aplicación más acorde a las características particulares de cada edificación. Por ello, se requieren en la fase de diseño métodos que describan el comportamiento térmico de la edificación dadas las diferentes condiciones.

Uno de los métodos para realizar un análisis del comportamiento térmico es la simulación dinámica, que consiste en un balance térmico considerando la variación en el tiempo de las condiciones del sistema, así como de sus entradas. eQUEST®, EnergyPlus™ y TRN-SYS© son algunos de los softwares más utilizados; Harish y Kumar (2016) revisan los programas de simulación de energía en edificaciones más importantes, resaltando las características más importantes, así como las aplicaciones y limitaciones de cada uno.

Debido a la poca cantidad de trabajos que sustenten cuantitativamente las medidas orientadas a obtener mejoras en el comportamiento térmico de las viviendas y el crecimiento de la construcción en serie en México, en el presente trabajo se elaboró una propuesta de mejora para una vivienda de interés social típica en Guanajuato, México, tomando consideraciones básicas de arquitectura bioclimática; modificando la inercia térmica de los materiales, la absorción y emisividad de la superficie, así como un reacondicionamiento de las superficies acristaladas. La evaluación energética se realizó por simulación dinámica en la plataforma OpenStudio®, tomándose en cuenta las condiciones climáticas del lugar, geometría de la edificación, propiedades de los materiales, horario de ocupación y cargas térmicas. Para fijar las variables de diseño de la propuesta se realizó una comparativa de la energía requerida por acondicionamiento electromecánico.

MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el flujo de energía que se presenta al existir una diferencia de temperatura y el principal fenómeno a considerar en un análisis térmico en edificaciones. Existen tres mecanismos de transferencia de calor; conducción, convección y radiación.

CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por conducción surge por el contacto físico de dos cuerpos a diferente temperatura. El flujo de energía en conducción por metro cuadrado q''_{cond} está determinado por la Ley de Conducción de Fourier:

$$q''_{\text{cond}} = -k \, dt / dx \tag{1}$$

Donde dT/dx es el cambio de la temperatura en K respecto al cambio en la dirección x en metros, k el coeficiente de conducción en $W/(m \cdot K)$.

RADIACIÓN

La materia emite energía en forma de radiación y proporcional a la diferencia de la cuarta potencia de la temperatura T en K y la cuarta potencia de la temperatura ambiente T^∞ . Esta ley se conoce como la Ley de Stefan-Boltzman:

$$q_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A (T^4 - T^\infty{}^4) \tag{2}$$

Donde q_{rad} es el flujo de energía en W por radiación, A el área, ϵ la emisividad y σ la constante de Stefan Boltzman ($5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$).

CONVECCIÓN

Este mecanismo de transferencia de calor se presenta en líquidos o gases que, debido a su movimiento transporta e intercambia energía. La transferencia de energía por metro cuadrado en convección q''_{conv} , se determina por la Ley de Enfriamiento de Newton, que incluye un coeficiente convección h ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$), determinado por la naturaleza del medio circundante.

$$q''_{\text{conv}} = h (T - T^\infty) \tag{3}$$

BALANCE TÉRMICO

Para conocer las temperaturas y el flujo de calor en los elementos del sistema, se requiere realizar un balance térmico definido como la sumatoria de las entradas y salidas de energía, reguladas por los mecanismos de transferencia de calor.

En un análisis temporal es necesario conocer el cambio de temperatura T , en el tiempo t , para cada uno de los elementos del sistema. Este comportamiento depende de la capacidad calorífica C_p , la cantidad de masa m , dada una cantidad de flujo de energía q

$$Q = c_p \cdot m \cdot dT / dt \tag{4}$$

Se dice entonces que el elemento tiene una oposición al cambio de temperatura, conocido como inercia térmica, que es propia de cada material y establece qué tan rápido o lento cambia su temperatura un material dado un aporte de energía.

SIMULACIÓN DINÁMICA

Es necesario que en el balance térmico se incorporen las condiciones variables del clima, el cambio en el nivel de actividad en la edificación por diferentes elementos,

como los aparatos eléctricos o las personas y considerar la respuesta que los elementos de construcción tienen a estas condiciones cambiantes. Se debe realizar entonces lo que se conoce como simulación dinámica, donde las variables de entrada y salida varían en cada intervalo de tiempo. La ventaja de la simulación dinámica radica en que permite analizar el comportamiento de la edificación en todo el año, de manera que posibilita la comparación de diferentes opciones de diseño.

METODOLOGÍA

ENTORNO DE SIMULACIÓN

Para la simulación dinámica se utilizó la plataforma OpenStudio®. Esta plataforma permite crear geometrías, materiales, cargas, filtraciones y horarios de actividad de cada componente para cargar estos en el motor de simulación EnergyPlus™, además de contar con la interfaz para Sketch-Up, la cual permite cargar geometrías de manera sencilla.

El entorno de trabajo se desarrolla definiendo los componentes y horarios en un conjunto denominado tipo de espacio, que puede ser asignado a una o varias áreas dentro de la edificación que presenten estas características (Brackney *et al.*, 2018).

SIMULACIÓN DE DISEÑO BASE

CONDICIONES CLIMÁTICAS

Se delimitó la zona de análisis para el estado de Guanajuato, en el centro de México. Las condiciones climáticas se tomaron de la base de datos proporcionada por Climate.OneBuilding (2019), esta base de datos se encuentra en formato epw (energy plus weather) y se genera a partir de datos meteorológicos horarios hasta el 2017 usando la metodología TMY/ISO 15927-4:2005.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

Se seleccionó para el estudio un modelo estándar de casa de interés social con tres habitantes, la parte frontal de la edificación está orientada hacia el sur, consta de dos habitaciones, baño, cocina y comedor, con un área total de 39 m² y una altura de 2.7 m, la distribución se muestra en la Figura 2. El área de las ventanas es de 1.5 m² excepto para la ventana trasera en el área común que es de 0.8 m².

ZONA TÉRMICA

Uno o más espacios pueden ser agrupados en una zona térmica, esta representa el elemento principal en la simulación, ya que es la zona donde se realiza el balance térmico. Para capturar la esencia del comportamiento térmico se seccionó la edificación en cuatro zonas térmicas; una para cada habitación, baño y otra área común, que incluye la cocina y comedor.

MATERIALES

La edificación se constituye por diferentes tipos de superficie como las paredes, techos y piso, a su vez, estas contienen lo que OpenStudio® llama sub-superficies tales como las ventanas y puertas. Ambas superficies y sub-superficies están formadas por capas de diferentes materiales con características térmicas particulares como se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2. Se consideran propiedades constantes para los materiales, ya que los gradientes que se presentan son pequeños.

Cada una de las superficies y sub-superficies están expuestas a condiciones externas como a condiciones internas, por lo que sus valores frontera son distintos de acuerdo con la ubicación espacial que estas tengan.

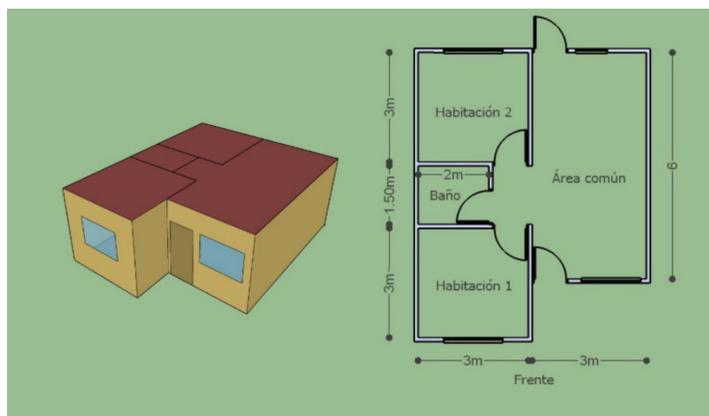


Figura 2. 3D Sketch y planta de la edificación

Tabla 1. Propiedades físicas de los materiales de construcción

Construcción	Material	Espesor (m)	Conductividad (W/m²K)	Densidad (kg/m³)	Calor específico (J/Kg*k)	Absortividad térmica	Absortividad solar	Absortividad visible	Resistividad (m²* K/W)
Pared	Concreto	0.1	1.4	1920	840	0.88	0.6	0.6	-
Techo	Concreto	0.1	1.4	1920	840	0.88	0.6	0.6	-
Puerta externa	Superficie metálica	0.0008	45.28	7824	500	0.9	0.7	0.7	-
	Tablero aislante	0.0254	0.03	43	1210	0.9	0.6	0.6	-
Piso	Concreto	0.1	1.4	1920	840	0.88	0.6	0.6	-
	Carpet pad	-	-	-	-	0.9	0.7	0.8	0.21648

Tabla 2. Propiedades físicas ventanas

Construcción	Resistividad (m²* K/W)	Transitividad visible	Coefficiente de ganancia solar
Ventana	0.1	0.8	0.8

HORARIOS Y CARGAS TÉRMICAS

Los horarios y las cargas térmicas se definieron de manera que se asemejen a la realidad considerando un horario entre semana y otro para fin de semana. Se tomaron los elementos más representativos y de mayor consumo de energía como lámparas, refrigerador, estufa, televisión y horno de microondas, la definición de su consumo de energía y horas de uso se basó en los resultados presentados en Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (SENER *et al.*, 2018). Igualmente se consideró el aporte energético por persona, fijando un valor de 130 W por persona y un horario de ocupación de estas que se da por espacio, los detalles de estas cargas térmicas se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4.

Se definió una filtración de aire de 0.1 m m³/s con una constante de coeficiente térmico de 0.08 que ocurre de las 12:00 a 18:00 horas diariamente.

DEFINICIÓN DE PROPUESTA BIOCLIMÁTICA

Las condiciones climáticas de Guanajuato en el centro de México con un clima mayormente templado y seco según la clasificación climática de Köppen, sugieren según la carta bioclimática en la Figura 1, la necesidad de sombras en las ventanas, alta inercia térmica con liberación por la noche, ventilación forzada, ganancia interna

solar, ganancia directa solar pasiva con alta masa, enfriamiento con deshumidificación y calentamiento con humidificación, recordando que esas son sugerencias y la aplicación de una medida puede suplir a otra según sea el grado o intensidad de la aplicación.

Para definir una propuesta que mantenga en la vivienda una zona de confort térmico durante la mayor parte del año, se analizó una modificación en la inercia térmica de los materiales, la absorción y emisividad de la superficie, así como un reacomodo de las superficies acristaladas.

Para facilitar el análisis y la comparación de las variables de propuesta respecto al diseño base, se incorporó un sistema sencillo de acondicionamiento de aire en cada una de las zonas térmicas, de forma que cuando la temperatura en la edificación desciende por debajo de los 20 °C se activa la calefacción, asimismo, cuando la temperatura aumenta más de 27 °C se activa la ventilación.

INERCIA TÉRMICA

Las paredes y techos constituyen casi en su totalidad la masa de la edificación, ya que están constituidos por una capa de concreto de 10 cm para incrementar la inercia térmica. Buscando reducir las oscilaciones de temperatura en el transcurso del día, se analizó un incremento en su espesor de 15 cm, 20 cm, 25 cm y 30 cm.

Tabla 3. Horarios y aporte térmico generado por los residentes

Espacio	Horario	Entre semana		Horario	Fin de semana	
		Núm. Ocupantes	Watts/Persona		Núm. Ocupantes	Watts/Persona
Habitación 1	00 h-06 h	1	130 W	00 h-10 h	1	130 W
	22 h-24 h	1	130 W	22 h-24 h	1	130 W
	00 h-06 h	2	130 W	00 h-10 h	2	130 W
Habitación 2	22 h-24 h	2	130 W	22 h-24 h	2	130 W
Baño	07 h-08 h	1	130 W	10 h-11 h	1	130 W
	20 h-21 h	1	130 W	20 h-21 h	1	130 W
Área Común	06 h-07 h	3	130 W	11 h-12 h	3	130 W
	16 h-17 h	3	130 W	16 h-17 h	3	130 W
	21 h-22 h	3	130 W	21 h-22 h	3	130 W

Tabla 4. Horarios y aporte térmico generado por los aparatos eléctricos

Espacio	Horario	Equipo	Entre semana		Horario	Equipo	Fin de semana	
			Núm.	Potencia			Núm.	Potencia
Habitación 1	05 h-06 h	Lámpara	1	40 W	08 h-10 h	Lámpara	1	40 W
	22 h-24 h	Lámpara	1	40 W	22 h-24 h	Lámpara	1	40 W
Habitación 2	05 h-06 h	Lámpara	1	40 W	08 h-10 h	Lámpara	1	40 W
	22 h-24 h	Lámpara	1	40 W	22 h-24 h	Lámpara	1	40 W
Baño	07 h-08 h	Lámpara	1	40 W	10 h-11 h	Lámpara	1	40 W
	20 h-21 h	Lámpara	1	40 W	20 h-21 h	Lámpara	1	40 W
Área Común	06 h-07 h	Lámpara	3	40 W	11 h-12 h	Lámpara	3	40 W
	16 h-17 h	Lámpara	3	40 W	16 h-17 h	Lámpara	3	40 W
	21 h-22 h	Lámpara	3	40 W	21 h-22 h	Lámpara	3	40 W
	06 h-07 h	TV	1	120 W	11 h-12 h	TV	1	120 W
	16 h-17 h	TV	1	120 W	16 h-17 h	TV	1	120 W
	21 h-22 h	TV	1	120 W	21 h-22 h	TV	1	120 W
	16 h-16:30 h	Estufa	1	1000 W	16 h-16:30 h	Estufa	1	1000 W
	21 h-21:15 h	Estufa	1	1000 W	21 h-21:15 h	Estufa	1	1000 W
	21 h-21:08 h	microondas	1	1200 W	21 h-21:08 h	Microondas	1	1200 W
	01 h-02 h	Refrigerador	1	250 W	01 h-02 h	Refrigerador	1	250 W
	04 h-05 h	Refrigerador	1	250 W	04 h-05 h	Refrigerador	1	250 W
	07 h-08 h	Refrigerador	1	250 W	07 h-08 h	Refrigerador	1	250 W
	10 h-11 h	Refrigerador	1	250 W	10 h-11 h	Refrigerador	1	250 W
	13 h-14 h	Refrigerador	1	250 W	13 h-14 h	Refrigerador	1	250 W
	16 h-17 h	Refrigerador	1	250 W	16 h-17 h	Refrigerador	1	250 W
	19 h-20 h	Refrigerador	1	250 W	19 h-20 h	Refrigerador	1	250 W
	22 h-23 h	Refrigerador	1	250 W	22 h-23 h	Refrigerador	1	250 W

EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE LAS SUPERFICIES (PROTECCIÓN SOLAR)

Para el modelo base se tomaron muros y techos sin recubrimiento en las superficies, es decir, el concreto se encuentra expuesto para un control de la radiación solar absorbida y emitida por las superficies. Se analizaron tres casos, todas las superficies de color blanco, todas las superficies de color negro y todas las superficies color blanco exceptuando las paredes frontales que serían en color negro, las características físicas del tipo de pintura se muestran en la Tabla 5.

CAMBIO DE VENTANA (GANANCIA SOLAR PASIVA)

De las cuatro zonas térmicas, la habitación 1 y el área común tienen ganancia solar pasiva a través de las superficies acristaladas en invierno, por lo cual para nivelar esta situación se modifica el diseño original cambiando la ventana posterior al frente en la habitación 2 como se muestra en la Figura 3, con un ligero cambio en el área de la ventana de 1.5 m² a 2 m², considerando también el cambio de área en las paredes que conlleva esta modificación.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evaluaron tres variables en el modelo base para definir una propuesta buscando mantener una temperatura confortable en la vivienda la mayor parte del año. Se realizó una simulación anual del modelo base para conocer los valores de temperatura en los diferentes espacios y el consumo de energía por la implementación del sistema de acondicionamiento, se repitió este proceso modificando una variable a la vez.

Tabla 5. Propiedades físicas de las pinturas (Manrique, 1981)

	Resistividad (m ² *K/W)	Absortividad térmica	Absortividad solar	Absortividad visible
Pintura blanca	0.066	0.95	0.35	0.35
Pintura negra	0.066	0.97	0.97	0.97

MODELO BASE

El resultado de la simulación anual, muestra que el comportamiento de la temperatura interna para las diferentes zonas térmicas es variable para cada mes del año, encontrándose que en enero y mayo se presentan las temperaturas más extremas. La Figura 4 muestra el perfil de temperaturas promedio durante el día del mes de enero para cada una de las zonas térmicas en el modelo base, en ella se observa una oscilación de por lo menos 10 °C entre el día y la noche en cada una de las zonas térmicas, mostrando además, una diferencia de temperatura de hasta 5 °C entre las dos habitaciones. Finalmente la temperatura mínima es de 15 °C, 5 °C menor para considerarse en una zona de confort térmico.

Para el caso del mes de mayo la temperatura interna promedio presenta también oscilación en el transcurso del día, como se muestra en la Figura 5, además de señalar que se tiene un pico de temperatura de hasta 40 °C para el área común, que se encuentran muy alejados de los 27 °C máximos para considerar una zona de confort térmico. Se obtuvieron temperaturas intermedias entre las expuestas durante los dos meses anteriores y los meses restantes.

Para analizar el ahorro energético de la incorporación de estrategias bioclimáticas como variables de diseño, se incorporó para todo el año un sistema base de acondicionamiento mecánico de aire para calefacción y refrigeración en las temperaturas más frías y calientes respectivamente, manteniendo la temperatura entre 20°C y 27°C. La Figura 6 muestra el consumo de energía en kBTU anual que requiere el modelo base para mantenerse en confort térmico. De los 19686 kBTU necesarios para acondicionar la vivienda, la mayor parte de esta energía se requiere para la refrigeración.

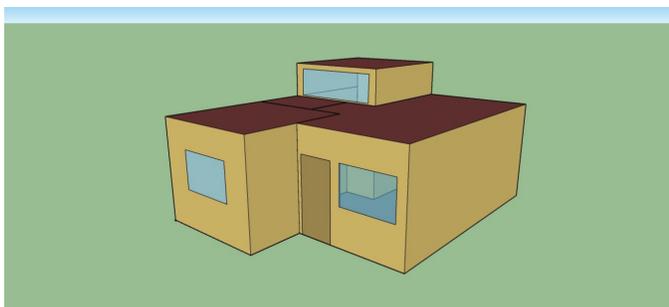


Figura 3. 3D Sketch con cambio de ventana en el modelo base

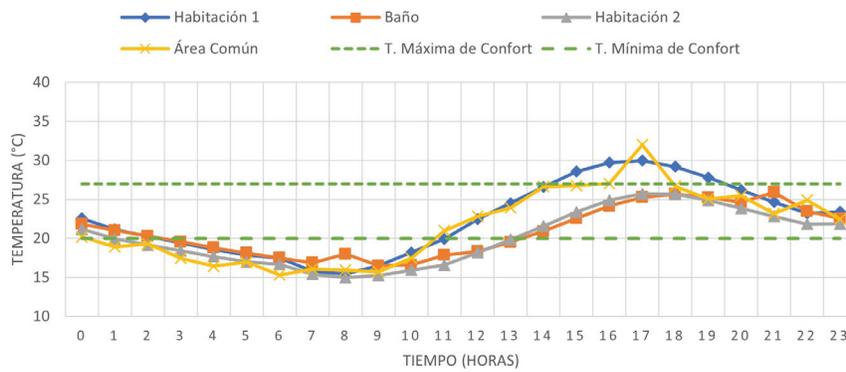


Figura 4. Temperatura interna promedio en enero de las diferentes zonas térmicas para el modelo base

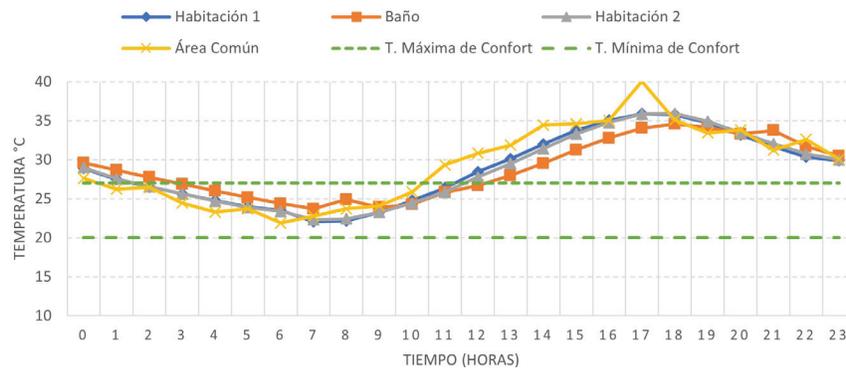


Figura 5. Temperatura interna promedio en mayo de las diferentes zonas térmicas para el modelo base

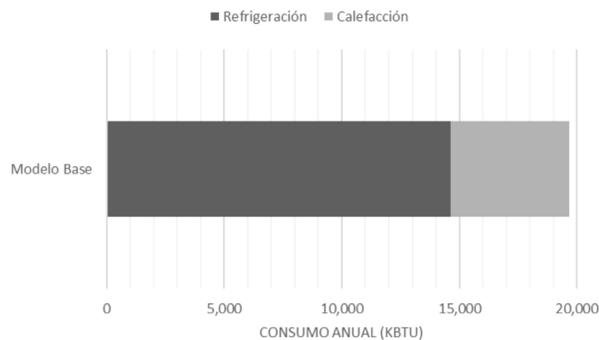


Figura 6. Consumo energético anual por acondicionamiento en el caso base

INERCI A TÉRMICA

La primera variable que se analizó fue la inercia térmica de los materiales, a partir de las características de estos componentes para el caso base, se reportan los resultados para diferentes grosores de paredes y techo. En el primer incremento a 15 cm requiere 11516 KBTU, lo que significa una reducción de energía por 41 % respecto al caso base (10 cm), como se observa en la Figura 7, el incremento a 20 cm significa una reducción de energía de 58 %, para el incremento de 25 cm significa una reducción de energía de 66 % y para el incremento a 30 cm una reducción de energía de 70 %. Se observa que conforme se va incrementando el grosor por 5 cm, el im-

pacto en la reducción de consumo de energía se reduce de forma exponencial.

EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE LAS SUPERFICIES

La siguiente variable que se analizó fue la emisividad y absorptividad de las superficies, el primer caso fue un acabado de pintura negra para todas las superficies de techos y paredes, lo que incrementó la energía por climatización en 45 % debido a un incremento de la radiación que se absorbe para este tipo de pintura, caso contrario sucede con la pintura blanca, que al reflejar la radiación solar reduce la energía de climatización por 62 %, una combinación entre acabados con pintura ne-

gra y blanca reduce la energía por 60 % como se muestra en la Figura 8.

CAMBIO DE VENTANA

El cambio de ventana que se realizó en la habitación 2 para obtener ganancia solar pasiva incrementa la necesidad de energía por acondicionamiento, respecto al

modelo base en 2 % como se muestra en la Figura 9. Sin embargo, la intención principal fue nivelar la cantidad de ganancia solar respecto a las otras zonas térmicas, en la Figura 10 se observa el cambio de temperaturas internas promedio para las dos habitaciones durante el mes de enero, observándose variaciones pequeñas, una respecto de otra, con variaciones máximas de 2°C.

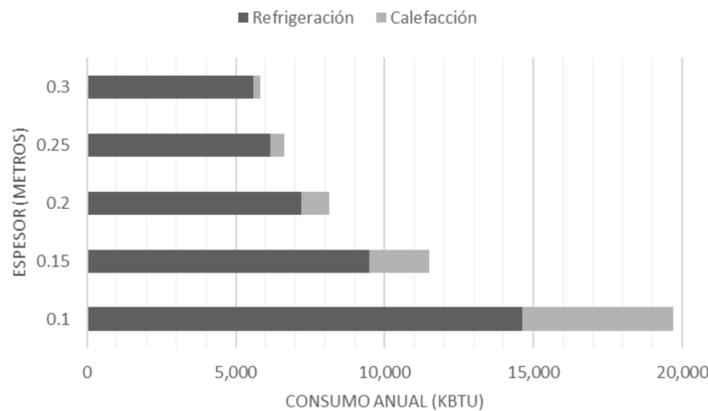


Figura 7. Comparativa del consumo energético anual por acondicionamiento para diferentes espesores de pared y techo

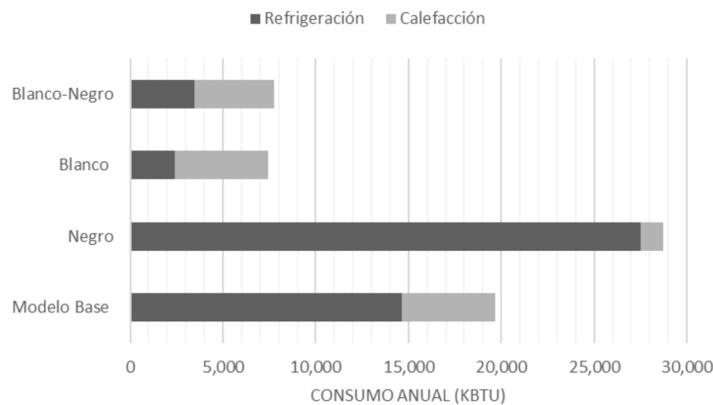


Figura 8. Comparativa del consumo energético anual por acondicionamiento para diferente acabado de la superficie

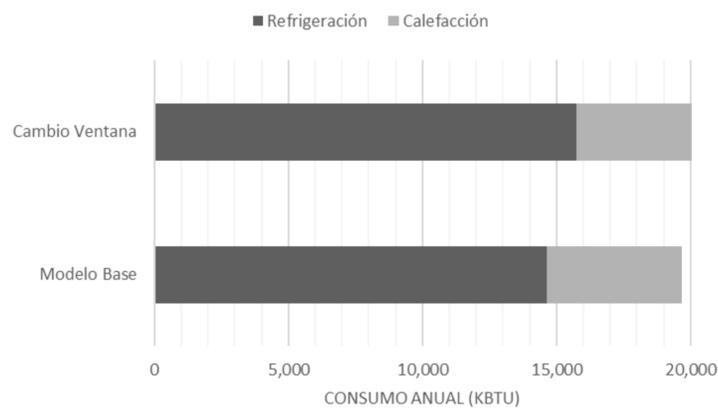


Figura 9. Comparativa del consumo energético anual por acondicionamiento para el cambio de ventana

PROPUESTA

El cambio de ventana, superficies en pintura blanca y un grosor de techo y paredes de 20 cm, disminuye en forma notable la necesidad de acondicionamiento electromecánico por 77 % respecto al modelo base, como se observa en la Figura 11.

Finalmente, si se elimina el acondicionamiento térmico, la temperatura promedio interna en cada una de las zonas térmicas para los meses de enero y mayo, como se muestra en la Figura 12 y Figura 13, presenta

una temperatura más estable en el transcurso del día y variaciones pequeñas entre cada zona térmica, salvo los picos de temperatura generados por las actividades simultáneas que se realizan. Se puede observar además, que por lo general, se encuentran en los límites de temperatura de confort térmico definido entre 20°C y 27°C, sin embargo, recordamos que estos meses son los más extremos en cuanto a temperaturas se refiere, por lo que los diez meses restantes se encuentran entre las dos curvas de temperatura.

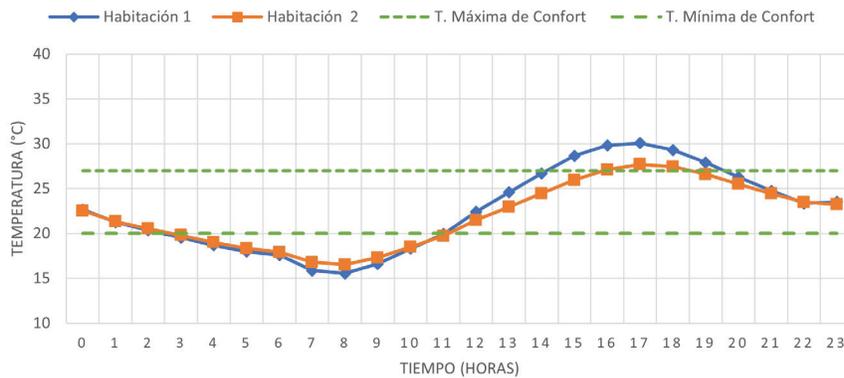


Figura 10. Temperaturas interiores para las dos habitaciones durante enero en el modelo propuesto

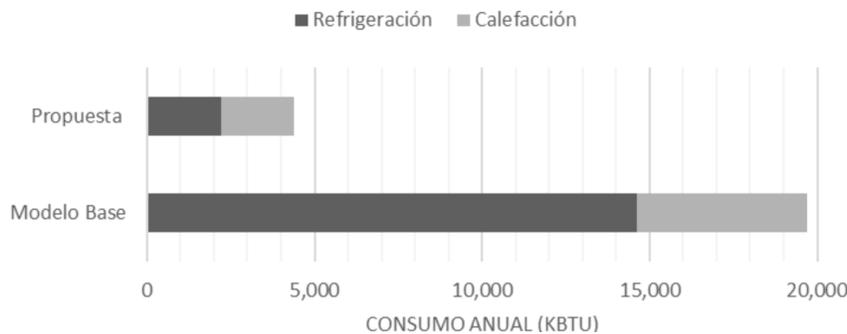


Figura 11. Comparativa del consumo energético anual por acondicionamiento del modelo base y el propuesto

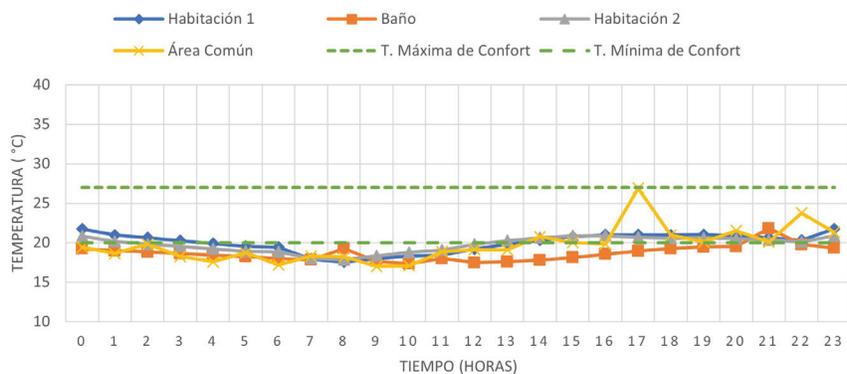


Figura 12. Temperatura interna promedio en enero de las diferentes zonas térmicas para el modelo propuesto

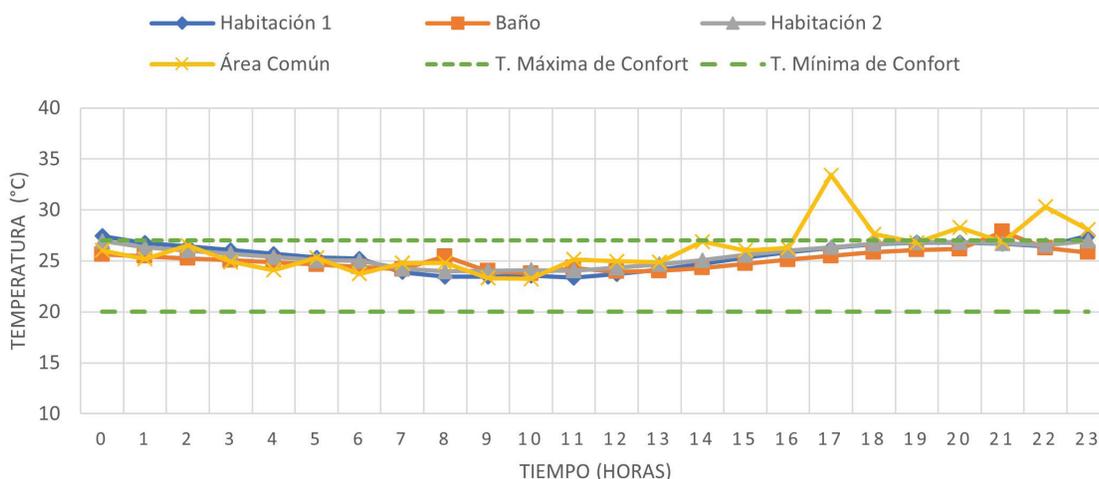


Figura 13. Temperatura interna promedio en mayo de las diferentes zonas térmicas para el modelo propuesto

CONCLUSIONES

Se elaboró y evaluó una propuesta de mejora (incorporación del cambio de ventana, superficies en pintura blanca y un grosor de techo y paredes de 20 cm) en una casa de interés social en Guanajuato, proyectando una reducción de 77 % de energía necesaria para el acondicionamiento térmico anual, además de tener una temperatura más estable en el transcurso del día y más equilibrada en los diferentes espacios que la componen.

En el trabajo realizado se consideró una orientación hacia el sur, sin embargo, desde una perspectiva más amplia y realista se tendrán que cubrir además, orientaciones al norte, este y oeste, donde el modelo propuesto tendrá una respuesta diferente. Además, hay que señalar que se analizó el caso para una vivienda aislada, es decir, sin considerar el efecto por edificaciones vecinas, lo que provocaría una respuesta distinta, por lo que sería importante considerar en trabajos futuros un conjunto más amplio de viviendas para ofrecer soluciones puntuales a partir de las necesidades dadas por su posición y orientación en el conjunto. Para trabajos futuros, quedaría un análisis económico de los materiales y el ahorro energético en condiciones de operación común.

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar que la implementación de estrategias de arquitectura bioclimática en modelos de construcción en serie para viviendas puede tener un alto impacto en la reducción del consumo de energía o una disminución del estrés térmico, ya que el diseño se puede aprovechar para una mayor cantidad de viviendas y tener un mayor alcance. Asimismo la importancia de señalar la simulación dinámica como herramienta útil para pre-

decir el comportamiento térmico de una edificación, previo al proceso de construcción, de forma que permita evaluar cualitativamente varias opciones en el proceso de diseño y seleccionar así la más adecuada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Politécnica de Guanajuato por el apoyo económico para el desarrollo del trabajo y la conclusión del posgrado.

REFERENCIAS

- Ameur, M., Kharbouch, Y. & Mimet, A. (2020). Optimization of passive design features for a naturally ventilated residential building according to the bioclimatic architecture concept and considering the northern Morocco climate. *Building Simulation*, 13, 677-689. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0593-6>
- Brackney, L., Parker, A., Macumber, D. & Benne, K. (2018). *Building Energy Modeling with OpenStudio*. Springer.
- CCA. (2011). Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte.
- Climate.OneBuilding. (2019). Recuperado de <http://climate.one-building.org/>
- Conceição, E. & Lúcio, M. (2010). Numerical simulation of passive and active solar strategies in buildings with complex topology. *Building Simulation*, 3, 245-261. <https://doi.org/10.1007/s12273-010-0010-7>
- Dalbem, R., Grala da Cunha, E. & Romeu, V. (2019). Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. *Energy*, 167, 1278-1296. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.053>
- Harish, V. & Kumar, A. (2016). A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable*

Energy Reviews, 56, 1272-1292. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>

Kolokotroni, M., Shittu, E. & Santos, T. (2018). Cool roofs: High tech low cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low rise low income houses in high solar radiation countries. *Energy and Buildings*, 176, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.005>

Manrique, J. (1981). *Transferencia de calor*. Harla.

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

Olgyay, V. (1963). *Arquitectura y Clima*. Princeton University Press.

Rodríguez-Muñoz, N. A., Nájera-Trejo, M. & Martín-Domínguez, I. R. (2018). Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos de un edificio de oficinas mediante simulaciones dinámicas. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(3), 279-289. <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n3.024>

SENER, CONUEE, & INEGI. (2018). Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares.

Sghiouri, H., Charai, M., Mezrhab, A. & Karkri, M. (2020). Comparison of passive cooling techniques in reducing overheating of clay-straw building in semi-arid climat. *Building Simulation*, 13, 65-88. <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-019-0562-0>