



## XXXIX SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

### ANÁLISIS TÉRMICO DE EDIFICACIONES MEDIANTE EL USO DE SIMULACIONES DINÁMICAS

**Norma A. Rodríguez-Muñoz**

Cátedras CONACYT comisionado al Centro de Investigación en Materiales Avanzados – Unidad Durango, Av. Insurgentes Sur 1582, México, D.F., 03940, México,  
+52 618 811 3572, [norma.rodriguez@cimav.edu.mx](mailto:norma.rodriguez@cimav.edu.mx)

**Mario Nájera-Trejo, Olivia Alarcón-Herrera, Ignacio R. Martín-Domínguez**

Unidad Durango, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Victoria 147, Durango, Durango, C.P.: 34000, México,  
+52 618 811 3572, [mario.najera@cimav.edu.mx](mailto:mario.najera@cimav.edu.mx), [olivia.alarcon@cimav.edu.mx](mailto:olivia.alarcon@cimav.edu.mx), [ignacio.martin@ciamv.edu.mx](mailto:ignacio.martin@ciamv.edu.mx)

#### RESUMEN

Se realizó un análisis térmico del edificio de Laboratorios de Ambiental próximo a construirse en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados (Unidad Durango). Mediante un software de simulaciones dinámicas se evaluó térmicamente una edificación de dos plantas y 2000 m<sup>2</sup> de superficie. Se evaluó el comportamiento térmico de la edificación de acuerdo a condiciones climáticas de la localidad de El Pueblito en el estado de Durango. Se valoraron diferentes estrategias las cuales contribuyeron a la disminución del consumo energético debido a climatización artificial. Se establecieron rangos de temperaturas de confort y se delimitaron seis zonas térmicas, las cuales comprenden: tres laboratorios, área de recepción, cubículos y una planta de emergencia. Se definieron diferentes configuraciones y se obtuvieron gráficas de promedio de temperaturas horarias a través de un año y de la demanda energética debida a climatización.

#### ABSTRACT

A thermal analysis of a building was conducted with the dynamic simulation software TRNSYS 17. A new facility of the research center “Centro de Investigación en Materiales Avanzados –CIMAV” at the state of Durango, México was thermally studied. By means of dynamic simulations, the performance of a 2000 m<sup>2</sup> two-storey building was examined. The evaluation was performed taking into account the climatic conditions of “El Pueblito” town in the state of Durango. Various energy saving strategies were established; this strategies contribute to the reduction of the energetic demand due artificial acclimatization. A temperature range was set and six thermal zones were proposed, which comprise a reception hall, three research laboratories, offices and a machinery room. The hourly mean temperatures of the zone through a typical year and the energy total demand due to air conditioning were the main objectives.

Palabras claves: edificaciones sustentables, transferencia de calor, ventilación, TRNSYS, simulaciones dinámicas.

#### INTRODUCCIÓN

Históricamente las edificaciones fueron destinadas para proveer refugio para los seres humanos, por lo que el mantener un adecuado confort térmico es un tema que se ha tratado de satisfacer continuamente. La utilización de energía para mantener este confort térmico ha constituido una preocupación importante tanto de usuarios, constructores, instituciones gubernamentales, investigadores y la sociedad en general. La ubicación, orientación, configuración general de la edificación, distribución de los espacios, así como las propiedades térmicas y ópticas de los materiales de construcción, además del comportamiento de los ocupantes (Motawa y Oladokun, 2015) afectan el consumo total de una edificación.

En arquitectura, las estrategias bioclimáticas son una serie de acciones las cuales pretenden asegurar el confort térmico de los ocupantes. Estas estrategias tienen que garantizar ciertas condiciones, como las establecidas por Olgay (1963). Para alcanzar estos objetivos, las siguientes cuestiones se deben de tomar en cuenta: orientación y ubicación geográfica, dirección y velocidad del viento, precipitación, luz natural, topografía, flora, radiación solar, temperatura del ambiente, etc. Es por esto que el diseño bioclimático deberá enfocarse a cumplir con las siguientes metas: crear un ambiente habitable, saludable y confortable, hacer uso eficiente de recursos y la energía, esto para preservar la armonía del medio ambiente. Cuando se hayan considerado conceptos de sustentabilidad y bioclimática básicos, es posible encaminarse a realizar un análisis térmico del diseño de una edificación. En la Tabla 1, algunas estrategias básicas para el control de la transferencia de calor en edificaciones son descritas.

La modelación térmica de los edificios permite el análisis del comportamiento dinámico del diseño arquitectónico utilizando modelos matemáticos mediante la implementación de técnicas de simulación. En la actualidad existen herramientas de simulación con suficiente capacidad las cuales aspiran mejorar el desempeño térmico de la edificación. Estas herramientas incorporan una base de datos robusta conteniendo propiedades térmicas y ópticas de materiales de construcción, sistemas de calefacción y refrigeración, la posibilidad de incorporar los periodos de ocupación, etc. El uso de estas herramientas de simulación ha sido aplicado para realizar estudios de climatización en edificaciones, estudios de confort térmico, cálculo de la demanda energética en edificaciones y comportamiento térmico de la envolvente. Las herramientas de simulación pueden predecir el comportamiento térmico de un edificio y el confort térmico de sus

ocupantes. En general, estas herramientas ayudan a entender cómo opera el edificio de acuerdo a ciertos criterios y permite comparar diferentes alternativas de diseño.

Tabla 1. Estrategias de control de transferencia de calor. Watson, Donald & Labs, Kenneth (1983).

		Conducción	Convección	Radiación	Evaporación	
Estrategias de control	Invierno	Promover ganancias	Promover ganancias solares			
		Evitar pérdidas	Minimizar el flujo de calor conductivo	Minimizar el flujo de aire del exterior Minimizar infiltraciones		
	Verano	Evitar ganancias	Minimizar el flujo de calor conductivo	Minimizar infiltraciones	Minimizar ganancias solares	
		Promover pérdidas	Promover enfriamiento conductivo	Promover ventilación	Promover enfriamiento radiativo	Promover enfriamiento evaporativo
	Fuente de calor		Atmósfera	Sol		
	Disipación de calor	Tierra	Atmósfera	Cielo	Atmósfera	

La mayoría de los programas de simulación consisten en un motor, el cual permite llevar a cabo simulaciones detalladas mediante modelos y algoritmos matemáticos y termodinámicos, los cuales se utilizan para calcular el comportamiento de acuerdo a los parámetros elegidos y los modelos disponibles en el software. La información proviene tanto del interior como del exterior del edificio. Las cargas externas, provienen de datos climáticos estadísticos, los cuales no necesariamente reflejan un año específico, sino son una referencia estadística de los parámetros típicos para una ubicación. Estudios enfocados a el uso de la ventilación natural e híbrida (Ferreira y Corvacho, 2014, Teixeira et al, 2012), el efecto de envolventes verdes (Djedjig et al., 2015), valoraciones energéticas y térmicas (Huixing et al., 2014, Terés-Zubiaga et al., 2015), enfriamiento pasivo y técnicas de calentamiento novedosas (Imessad et al, 2014, Georges et al 2014), etc.

Actualmente en México, algunas compañías constructoras y organizaciones promueven el uso de materiales sustentables y ecológicos como: adobe, bambú, botellas recicladas, madera, ladrillos ecológicos así como bloques y ladrillos térmicos. Estos materiales son impulsados principalmente debido a la necesidad de crear conciencia ecológica y el uso mesurado de energía en edificaciones. A pesar de esto, la normatividad actual tiende a restringir el financiamiento si se utiliza estos materiales (Ortiz-Moreno et al., 2014). Como resultado de estas regulaciones, la vivienda económica y la mayoría de las edificaciones de gobierno son construidas con materiales de construcción comunes, que permitirán el acceso fácil de financiamiento de bajo interés. Es por esto que el edificio que se presentará se construirá con materiales comúnmente utilizados, sin embargo se incorporaron enfoques de arquitectura bioclimática durante la fase de diseño, además de que se realizó un análisis térmico y se implementó una estrategia de ventilación.

**MODELO FÍSICO Y MODELACIÓN DE LOS SISTEMAS**

Se realizó el cálculo de la transferencia de calor y la demanda energética debidas al uso de sistemas de climatización en un edificio de 2000 m<sup>2</sup>, el cual tendrá un uso de oficinas y laboratorios de investigación, principalmente. El edificio tiene 2.70 m de altura en ambas plantas y la cámara ventilada que se propone tendrá 0.90 m de altura. Se obtuvieron las temperaturas promedio horarias y la demanda energética correspondiente al desempeño térmico de la envolvente del edificio con el software TRNSYS 17.02.0004. En la Figura 1, se muestra un corte en planta de la edificación estudiada.

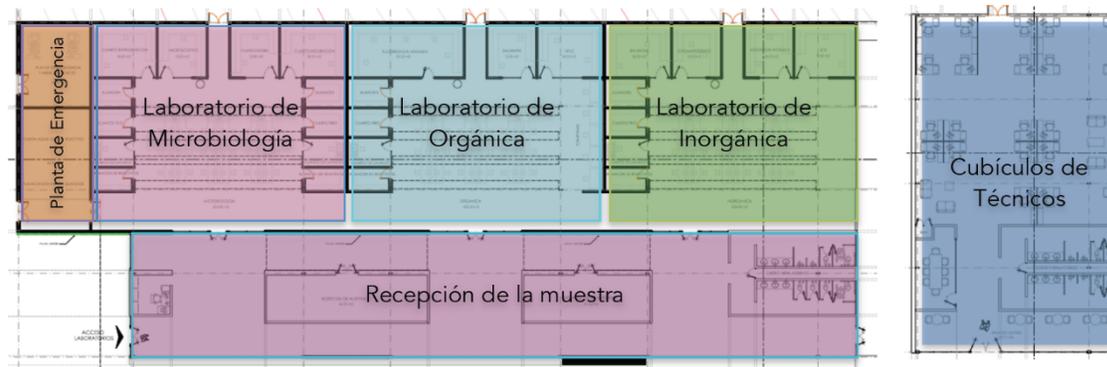


Figura 1. Corte en planta con las zonas térmicas del edificio.

## METODOLOGÍA Y CONDICIONES DEL SISTEMA

A través del software de simulación TRNSYS, se realizó la modelación de la edificación junto con su sistema de climatización. Esta plataforma permite la simulación de sistemas térmicos complejos en régimen transitorio a través de una estructura modular. Cada módulo, llamado Type, es representado por una subrutina que describe su comportamiento; cada módulo contiene modelos matemáticos basados en ecuaciones de transferencia de calor y masa.

Mediante el módulo de generación climático (Type 15) se efectuó el análisis climático para la región, donde las temperaturas horarias, humedad, velocidad del viento y radiación solar son suministradas por el software de datos climáticos Meteororm. Las condiciones climáticas se suministraron en el formato TMY: Typical Meteorological Year. Se utilizó el Type 56, el cual es un módulo para introducir un edificio multi-zona, este módulo proporciona una forma de calcular la interacción entre dos o más zonas térmicas resolviendo ecuaciones diferenciales acopladas, utilizando técnicas de inversión matricial.

La geometría del edificio fue dibujada utilizando Google SketchUp 8, a través del plugin el cual se encuentra acoplado a TRNSYS. Después del dibujo de la edificación, esta es importada a la plataforma TRNBuild donde se definen las propiedades de los materiales, los cuales son descritos en la Tabla 2. Dentro de la Tabla 2, se menciona el coeficiente de ganancia de calor solar o Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) el cual representa la radiación solar incidente que entra a través del enristalado, el valor U se refiere al coeficiente de transferencia de calor total del elemento constructivo, mientras que las propiedades ópticas consideradas:  $\epsilon$ ,  $\alpha$  y  $\rho$ , representan a la emisividad, absorptividad y reflectividad de las superficies estudiadas.

Tabla 2. Propiedades de los materiales de construcción (Cengel, 2011 y CIBSE Guide A, 2006).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica k(W/m K)	SHGC	Valor U W/m²K	Propiedades ópticas			
					$\epsilon$	$\alpha$	$\rho$	
Paredes	Bloque de concreto	0.2000	1.63	0.785	0.88	0.60	0.40	
	Yeso	0.0130	0.16		0.90	0.50	0.50	
Ventanas	Acrilado sencillo	0.0030	1.200	0.858	6.257	0.84	0.04	0.16
	Metal	0.0100	45.28			0.90	0.70	0.70
Cubierta	Concreto	0.1000	1.400	-	2.330	-	-	-
	Impermeabilizado color terracota	0.0254	0.100			0.35	0.60	0.40

Los sistemas de climatización se modelaron utilizando el módulo Type 56 el cual incluye un modelo donde las cargas energéticas se calculan basándose únicamente con las ganancias netas de cada zona térmica. Es importante destacar que las cargas calculadas fueron consideradas independientes a la elección de un equipo de calefacción y refrigeración.

De acuerdo a la OHS (Occupational Health and Safety Centre) y a la ASHRAE 55-2010, el rango de temperaturas donde la mayoría de los ocupantes se encontrarán cómodos es de entre 19 y 28°C. Sin embargo, se pueden considerar variaciones del rango de confort térmico durante temporadas cálidas y frías. Según el estándar de ASHRAE 55-2010, para temporada de verano el rango de operación aceptable es de 20 a 25.5 °C, mientras que para la temporada de verano desde 23 hasta 28°C. En este estudio se consideró un rango de temperaturas operacionales implementado en el sistema de climatización desde 20 hasta 28 °C, el cual se implementó para todo el año; por lo que el programa determina la energía necesaria para mantener la zona térmica con este rango de confort.

Se estableció un programa de ocupación para el uso del edificio, mediante este horario de ocupación se encienden y apagan los sistemas de climatización. Es importante el establecimiento del horario de ocupación del edificio, debido a que si se ignora la ocupación de la edificación se tenderá a sobredimensionar los equipos de climatización requeridos. El programa de ocupación se estableció de lunes a viernes con un horario de 7 a 19 horas (12 horas de ocupación diaria).

Se realizó una serie de corridas de simulación para evaluar el comportamiento térmico del diseño de la envolvente de la edificación. Se consideró un edificio base, el cual fue construido con materiales regionales disponibles (Ortiz-Moreno et al 2014), como paredes de block de concreto, acristalado sencillo con marco de aluminio, lucernarios de cristal sencillo, impermeabilizante color terracota y las particiones interiores de tabla roca. Primeramente el edificio base se evaluó sin consideración del sistema de climatización, por lo que las temperaturas horarias obtenidas representan el comportamiento de la envolvente térmica. Posteriormente, la edificación se evaluó considerando que se tienen sistemas de climatización, calefacción y refrigeración; por lo que las temperaturas resultantes representan el comportamiento térmico al interior del edificio cuando se climatiza, además de obtenerse la demanda energética que representa el comportamiento de la envolvente.

Se propone una estrategia de ventilación, la cual es representada en la Figura 2. La estrategia consiste en la incorporación de rejillas de ventilación, las cuales permitirán que el aire del exterior circule a través del plafón de la segunda planta. El aire entrará a través de rejillas de ventilación ubicadas en las fachadas sur y norte del edificio, y saldrá por unidades de extracción distribuidas en el centro de la cubierta del edificio. Se permite un aproximado de 1265 m³/h de aire, que corresponde a 20 cambios de aire en el plafón de la segunda planta.

## RESULTADOS

El objetivo de este trabajo es el de presentar el análisis térmico de un edificio de laboratorios de investigación y oficinas, utilizando materiales de construcción comunes y una estrategia de ventilación, principalmente para reducir el consumo de energía debido al uso de aire acondicionado durante los meses cálidos. Los resultados incluyen en análisis de las temperaturas horarios promedio y las cargas térmicas debidas al acondicionamiento del ambiente cuando no se cumple el criterio de temperaturas de confort. Los resultados se analizan de la siguiente forma: 1. Edificio sin climatizar, 2. Edificio climatizado y 3. Edificio climatizado ventilado.

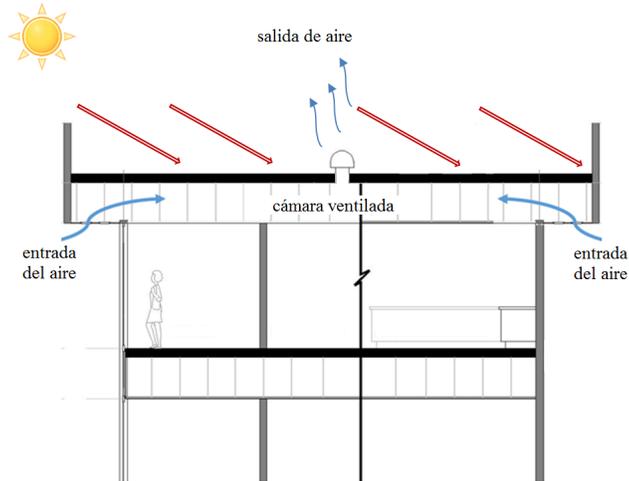


Figura 2. Estrategia de ventilación aplicada al edificio.

### 1. Edificio sin climatizar.

Las temperaturas horarias promedio obtenidas son útiles para evaluar el comportamiento térmico de la envolvente antes de considerar el uso de sistemas de climatización. Las temperaturas horarias promedio obtenidas se muestran en la Figura 3, donde se observa que las temperaturas mínimas y máximas obtenidas son de 3.9 y 38.8°C, mientras que las temperaturas ambientales promedio son de 3.8 y 35.3 °C respectivamente. Es importante resaltar que estas temperaturas se obtienen cuando el edificio no se climatiza, por lo que representan el resguardo térmico que proporciona la envolvente de la edificación. De acuerdo a estos resultados obtenidos, donde claramente las temperaturas horarias promedio se salen del rango de confort térmico fijado, se procede a acoplar los sistemas de calefacción y refrigeración (Type 56), incorporando los horarios de ocupación y rangos de temperatura anteriormente mencionados.

### 2. Edificio climatizado.

El edificio base fue simulado con la incorporación de un sistema de climatización tipo fan and coil, a través de una programación ON/OFF, lo que significa que el sistema de climatización será encendido cuando las temperaturas se salgan del rango de confort fijado (20-28 °C). El sistema se encenderá para los periodos ocupacionales (lunes a viernes de 7 a 19 horas).

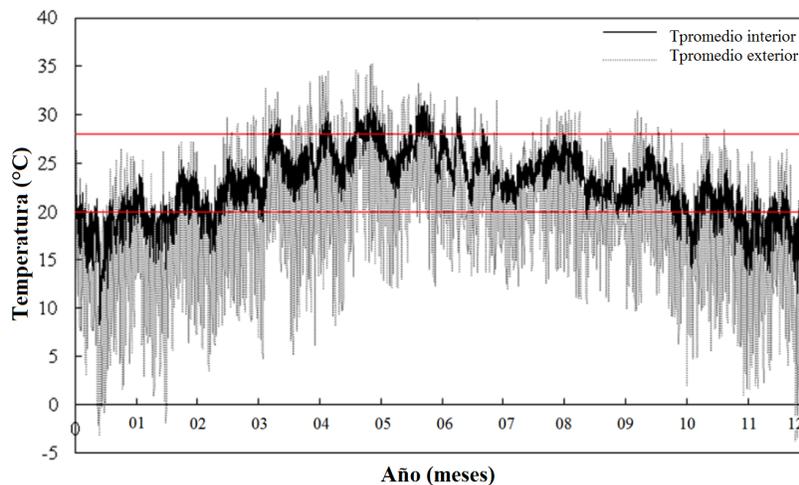


Figura 3. Edificio sin climatizar, temperaturas horarias anuales.

### 3. Edificio climatizado ventilado.

La simulación final se efectúa de tal forma que se considera la ventilación del plafón de la planta alta. La ventilación sucede de la siguiente forma: se ventila la cámara correspondiente al plafón de la segunda planta durante los meses cálidos con el objetivo de reducir la carga de refrigeración requerida. Los meses cálidos de esta región corresponden a los meses de mayo, junio, julio y agosto. La ventilación tiene como meta la reducción de la transferencia de calor sobre la cubierta a través de la remoción del calor mediante la entrada de aire fresco del exterior. La ventilación se incorporó transformando el plafón de la segunda planta en una cámara ventilada de 0.90 m de altura. El flujo de aire tendrá condiciones climáticas actualizadas, es decir la temperatura y velocidad del viento corresponderán a las proporcionadas a los datos climáticos.

La comparación de las temperaturas obtenidas para los casos 2 y 3 (Edificio climatizado con y sin ventilación) se muestra en la Figura 4, donde se observa que existe una reducción de temperaturas cuando el edificio se ventila, lo que repercutirá directamente en el consumo de energía por climatización artificial. De acuerdo a los resultados que se muestran en la Figura 4, se decide que la incorporación de una serie de rejillas que permitan la entrada y salida del aire contenido en el plafón de la segunda planta es una estrategia viable para la reducción de las cargas térmicas durante los meses cálidos.

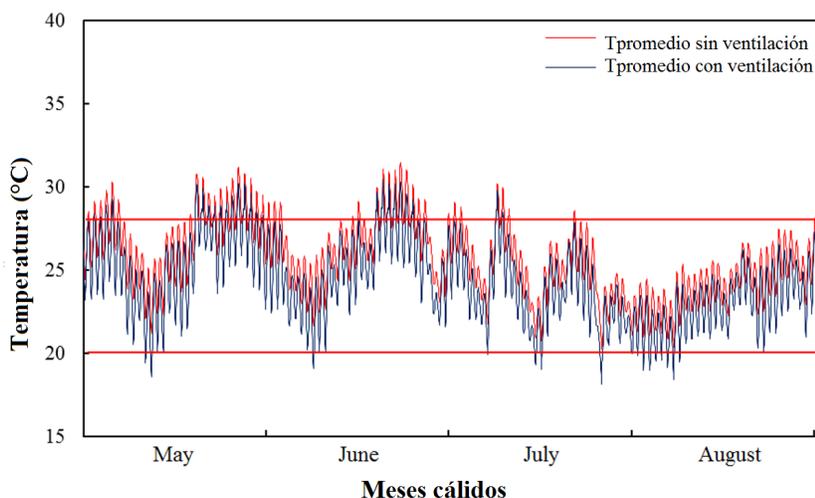


Figura 4. Comparación de temperaturas interiores durante los meses cálidos.

En la Figura 5, se muestran las temperaturas horarias promedio dentro del edificio, con y sin ventilación del plafón del edificio. Las líneas color negro y rojo representan las temperaturas medias en la segunda planta, mientras que la línea punteada representa la temperatura ambiental del momento. En esta figura se observan claramente los periodos en los cuales se enciende la climatización artificial, pudiéndose notar que los periodos de refrigeración son más cortos cuando se ventila el plafón de la segunda planta del edificio.

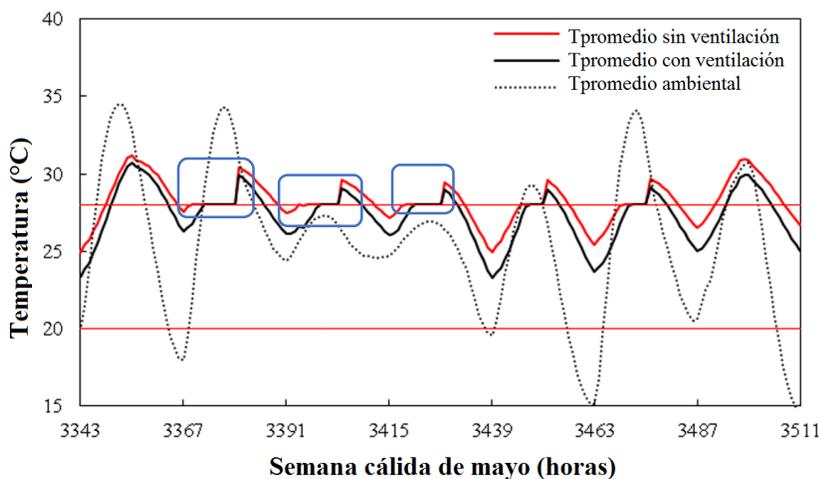
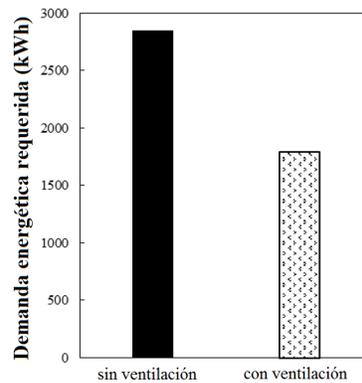


Figura 5. Comportamiento de temperaturas horarias durante la semana más cálida de mayo.

En la Figura 6, se muestra una gráfica que representa la suma de la carga de refrigeración necesaria para satisfacer los rangos de temperatura fijados (20-28 °C). Se observa que la carga requerida es de 2845 kWh cuando no se aplica la ventilación y de 1790 kWh cuando se ventila el plafón de la segunda planta.



## CONCLUSIONES

Se realizó un análisis térmico de un edificio a construirse para el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) en su Unidad Durango por medio de simulaciones dinámicas. Como conclusión se encontró que es posible reducir la carga de refrigeración hasta en un 37% (1790 vs 2845 kWh) simplemente mediante la ventilación del plafón que se encuentra en la segunda planta del edificio. Es importante destacar que conviene realizar esfuerzos multidisciplinarios para lograr reducir la demanda energética del edificio mediante el adecuado diseño de la edificación y llevar a cabo una evaluación térmica de la envolvente resultante del diseño. En este estudio se conjuntaron nociones de diseño bioclimático, así como conocimientos de transferencia de calor y simulación de sistemas térmicos para llevar a cabo un estudio integral del comportamiento térmico del edificio.

## REFERENCIAS.

- ASHRAE Standard: Thermal environmental conditions for human occupancy. (2010). American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC. Atlanta, Georgia.
- Cengel, YA, Ghajar, AJ. (2011). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. Mc Graw Hill. 4ta Edición. Djedjig R,
- Bozonnet E, Belarbi R. (2015). Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: integration of a validated model in a building energy simulation program. Energy and Buildings. Vol. 86, p. 93-103.
- CIBSE Guide A: Environmental Design. (2006). The Chartered Institution of Building Services Engineers -CIBSE Editorial. England.
- Ferreira M, Corvacho H. (2014). Natural Ventilation Potential in Portuguese Residential Buildings under Winter Conditions – An Opportunity for Hybrid Ventilation. International Journal of Ventilation. Vol 13, No.1.
- Georges L, Berner M, Mathisen HM. (2014). Air heating of passive houses in cold climates: investigation using detailed dynamic simulations. Building and environment. Vol. 74, p. 1-12.
- Huixing L, Wei W, Guohui F. (2014). Simulation and analysis of low-energy consumption of office building. 8<sup>th</sup> International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, Building simulation and information management. Vol. 263, p. 29-135.
- Imessad K, Derradji L, Ait Messaoudene N, Mokhtari F, Chenak A, Kharchi R. (2014). Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate. Renewable energy. Vol. 71, p. 589-597.
- Klein, SA. (2010). TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>
- Motawa I., Oladokun M. (2015). A model for the complexity of household energy consumption, Energy and Buildings, Vol 87, p. 313-323.
- Olgay V, Olgay A. (1963). Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press.
- Ortiz Moreno JA, Maserà Cerutti OR, Fuentes Gutiérrez AF. (2014). La ecotecnología en México. IMAGIA.
- Teixeira JC, Lomba R, Teixeira FCF, Lobarinhas P. (2012). Application of CFD tools to optimize natural building ventilation design. ICCSA 2012, Part III, LNCS Vol. 7335, p.202-216.
- Terés-Zubiaga J, Campos-Celador A, González-Pino I, Escudero-Revilla C. (2015). Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain. Energy and buildings. Vol. 86, p.194-202.
- Watson D, Labs K. (1983). Climatic building design: energy efficient building principles and practices. Mc Graw Hill.