



Modelación energética, una herramienta actual en el diseño y operación de edificios eficientes energéticamente

Agustín Torres Rodríguez, David Morillón Gálvez*

RESUMEN

En este trabajo se definen las principales características de la Modelación Energética de Edificios (BEM) y se realiza una revisión de las principales herramientas computacionales que existen para el diseño y operación de los edificios eficientes energéticamente. Se resalta la diferencia entre modelación de la información del edificio (BIM) y BEM. Se realiza una breve revisión histórica de la evolución que ha tenido la modelación energética de edificios. También se presentan las principales características de las catorce interfaces gráficas del programa Energy Plus 8.7.0. Y se describen las principales características de los programas que se encuentran libres en internet y que son utilizados para la modelación energética de edificios (eQuest 3-65 y SBEED). Al final se presenta un ejemplo de modelación energética de un edificio en México y se emiten conclusiones.

ABSTRACT

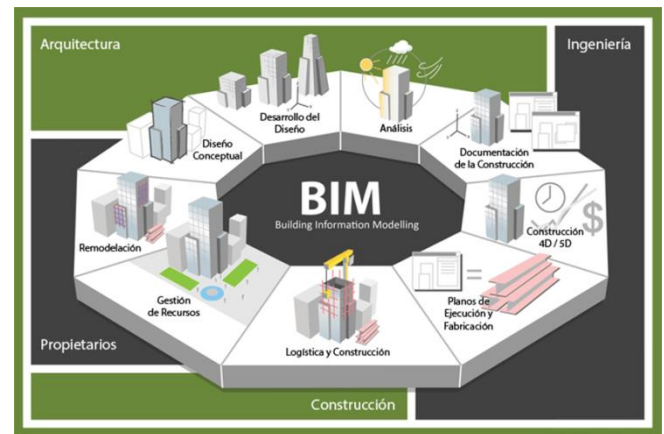
At this work, a review is made of the main computational technological tools that exist for the design and operation of energy efficient buildings. It frames the difference between building information modeling (BIM) and building energy modeling (BEM). A brief historical review has been done that has had the energy modeling of buildings in the last 3 years. The main features of the Energy Plus 8.7.0 program and its fourteen main interfaces are also presented. Also presented are the programs that are free on the internet and are used for energy modeling of buildings such as the free softwares eQuest 3-65 and SBEED. At the end the perspectives of application in buildings in Mexico are presented and conclusions are issued.

Palabras claves: eficiencia, modelación energética de edificios, modelación de la información del edificio, sustentabilidad energética.

INTRODUCCIÓN

Con la meta de la sustentabilidad energética muchos edificios están siendo proyectados y diseñados en muchos países. Con el incremento de la sustentabilidad energética se promueve no solo la disminución de la demanda energética del edificio sino el desarrollo de nuevos sistemas pasivos que puedan ir eliminando

paulatinamente el uso del aire acondicionado, que es uno de los principales demandantes de gas y electricidad en los edificios. También es importante mencionar que existen conceptos como la modelación de la información del edificio (BIM, por sus siglas en inglés) y la modelación energética de edificios (BEM, por sus siglas en inglés) que son diferentes ya que la primera presenta las siguientes etapas (Grupo Pi Victus, 2017):



Fuente: Grupo Pi Victus (2017)

Figura 1. Etapas de modelación de la información del edificio.

Mientras que en la segunda busca además de presentar diferentes alternativas de diseño busca analizar cuál es la que representa la mayor eficiencia energética.

US DOE and Navigant Consulting, I. (2016) definen textualmente al proceso BEM como una simulación-física que, como mínimo, calcula:

- Cargas térmicas (basadas en el clima, las características de la envolvente, la ocupación y otras cargas internas, y las razones de ventilación) a intervalos horarios (o más precisos)
- Impactos de todos los sistemas y equipos comunes de edificios principales, por ejemplo, HVAC (equipo y sistema de distribución), iluminación, calentamiento de agua de servicio, refrigeración, cocción, cargas de entrada y controles
- Interacciones entre sistemas de edificios (a veces llamados impactos secundarios)
- Consumo de energía por tipo de combustible

* Institución, Escuela, Departamento, Correo electrónico. Información de adscripción del autores y coautores del artículo



Un motor BEM también puede tomar en cuenta:

- Los impactos de otros equipos y sistemas, por ejemplo, generación de energía in situ, almacenamiento de energía y transacciones de construcción a red

Un motor BEM también puede calcular mediciones secundarias y derivadas tales como:

- Confort visual y térmico
- Calidad del aire interior
- Emisiones de carbón
- Uso del agua

Las capacidades o cálculos que soportan BEM incluyen:

- La calibración de las entradas del modelo utilizando datos medidos.

ANTECEDENTES

El primer programa de modelación energética tuvo su origen en 1971 en el Servicio Postal de los Estados Unidos de América quienes desarrollaron un programa para analizar el uso de la energía en las oficinas postales estadounidenses. Seis años más tarde la Administración para el Desarrollo de la Investigación en la Energía (ERDA, por sus siglas en inglés) y la Comisión de Energía del Estado de California desarrollaron la primera herramienta para la modelación energética, la cual fue llamada CAL-ERDA.

En 1978, el Departamento de Energía y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América financiaron a la Universidad de Illinois el desarrollo de un programa que podía predecir el consumo de energía en los edificios llamado Termodinámica de Sistemas y Análisis de Cargas del Edificio versión 1 (BLAST por sus siglas en inglés).

A inicios de los 90's el Instituto de Investigación en el Suministro Eléctrico y J. J. Hirsch y asociados desarrollan un programa llamado DOE y sus versiones subsecuentes DOE-1, DOE-2, DOE-2.1, etc. Como resultado de los procesos de mejora del programa DOE el programa de simulación energética de edificios eQuest es realizado a partir de 2005. La última versión del programa eQuest 3-65 tiene fecha del 16 de abril del 2016.

El Programa de Tecnologías de Construcción (BTO, por sus siglas en inglés) comenzó el desarrollo de Energy Plus en 1996 y lanzó la primera versión en 2001. BTO ha continuado desarrollando EnergyPlus, lanzando actualizaciones importantes de la versión cada 18 meses. La actualización más reciente (v8.7.0) es lanzado el 31 de marzo de 2017.

En 2008 la empresa norteamericana Carrier desarrolla el programa de Análisis Horario (HAP versión 4.40) para estimar el consumo energético del aire acondicionado en un edificio.

A partir de 2009 OpenStudio es desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés) como una entrada de geometría de Energy Plus en combinación con el programa de dibujo en 3D SketchUp (US DOE & Navigant

Consulting, 2016). US DOE and Navigant Consulting, I. (2016) señalan que otros programas para BEM que han sido desarrolladas son:

- Soluciones del Ambiente Integrado (IES-VE por sus siglas en inglés)
- ESP-r
- Kit de herramientas de simulación para el diseñador (DeST)
- Simulación de Análisis Térmico (TAS, por sus siglas en inglés)

Además de programas como

- Diseño Económico y de Carga del Aire Acondicionado Trane 700 (TRACE Load Express700)
- Passive House Planning Package versión 9 (PHPP)
- eDESIGN SUITE PROGRAM de Carrier
- Y TRNSYS.

En 2015 se propuso una metodología que estaba integrada por cinco etapas en las cuales se podía realizar un análisis de los edificios tomando en cuenta la información para la modelización del edificio (Reeves, Olbina, & Issa, 2015). Estas etapas eran descritas textualmente de la siguiente manera (Reeves et al., 2015):

1. Definir las fases del ciclo de vida del edificio en las cuales la herramienta BEM está intentando ser utilizada.
2. Definir las entradas requeridas como necesarias para utilizar la BEM en aplicaciones de fase de ciclo de vida, y entonces usar estas entradas como una lista de chequeo de pre-requisitos cuando la herramienta de modelación BEM es evaluada y seleccionada.
3. Definir las salidas requeridas y usarlas como una lista de pre-requisitos cuando la herramienta BEM es evaluada y seleccionada.
4. Ordenar otros criterios de selección de la herramienta BEM como son la interoperabilidad, usabilidad, y velocidad en orden de importancia.
5. Aplicar apropiados valores de importancia a los criterios y calcular los valores de las herramientas BEM que reúnan los pre-requisitos definidos en los pasos 1 y 3.

US DOE and Navigant Consulting, I. (2016) afirmaron que el BEM es usado en un 20 % en el diseño de edificios comerciales nuevos, y probablemente una pequeña fracción de diseños de edificios nuevos. Y proponen mejorar la precisión de las herramientas BEM con mejor entrenamiento y diseño, estableciendo un valor BEM claro, y establecer un proceso continuo para evaluar las necesidades de los desarrolladores de software comerciales ((US DOE & Navigant Consulting, 2016).

En 2017, Gerrist et al. (2017) definen al BEM como el análisis de la eficiencia energética del edificio mediante su simulación usando criterios predefinidos para describir la composición del edificio y su utilización. También indican que con la determinación de las



características de eficiencia del equipo y espacio se puede tener la BIM con la cual se puede dar paso a la creación de las hojas de datos por cuarto del edificio que contendrán sus características de eficiencia (Gerrish, Ruikar, Cook, Johnson, & Phillip, 2017).

INTERFACES GRÁFICAS DE ENERGY PLUS

En la actualidad Energy Plus utiliza varias formas de introducir los datos, estos programas se llaman interfaces gráficas. Estas interfaces gráficas son: DesignBuilder, EFEN, AECOSim Energy Simulator, Hevacomp Simulator V8i, COMFEN, Solar Shoe Box, N++, gEnergy, Simergy, Beopt, Sefaira, Archsim, FineGREEN, y EBEST.

Design builder

Design Builder es una interface gráfica que utiliza Energy Plus como motor de cálculo durante el proceso de diseño. Fue lanzado por primera vez en 2005 en Reino Unido. Design Builder puede simular una amplia gama de tipos de edificios. Dentro de las opciones de diseño avanzadas se tiene la ventilación natural, control de luz diurna, fachadas dobles, vigas frías y pisos radiantes en donde se evalúa el confort, el costo y la disponibilidad de la iluminación natural.

EFEN

La primera versión de EFEN fue publicada en noviembre de 2007. EFEN es un programa de simulación energética diseñado para analizar los impactos energéticos en edificios residenciales, comerciales y de gran altura. EFEN utiliza como motor de simulación Energy Plus para realizar análisis de consumo energético de edificios. La principal característica del programa es que incorpora varios tipos predefinidos de edificios comerciales predeterminados con cargas internas, horarios de funcionamiento y configuraciones de sistemas HVAC.

La estructura del programa está basada en un número de archivos Energy Plus predefinidos que representan varios tipos y características de edificios, a los que accede EFEN y que se utilizan para simular el consumo de energía del edificio.

EFEN incorpora un módulo que cumple con códigos como Energy Star, ASHRAE 90.1, etc. El programa tiene predefinidos edificios de oficinas de menos de 2 pisos, medianos y grandes, hospitales, escuelas, edificios de departamentos, y hoteles.

AECOSim Energy Simulator

Es un programa que simula y analiza los sistemas activos de climatización, el clima y el rendimiento energético. Ejecuta simulaciones que generan documentación e informes que cumplen con el estándar ASHRAE 90.1 y están certificados por LEED

Hevacomp Simulator V8i

Este programa permite realizar análisis del edificio usando la simulación dinámica con Energy Plus. Con la simulación dinámica de Hevacomp, efectuar simulaciones de construcción conforme a

las normas de construcción que rigen en Reino Unido. Utiliza una extensa base de datos meteorológica de más de 7.000 ubicaciones en todo el mundo para una simulación precisa de la energía.

N++

N++ es un software de modelación energética de edificios creado para apoyar el proceso de diseño arquitectónico e ingeniería. Utiliza como motor de cálculo el programa Energy Plus, N++ permite al usuario introducir información de proyecto en la simulación energética de forma intuitiva y altamente visible que simplifica el proceso de modelado de energía. En la figura 2 se muestra un ejemplo de la pantalla principal del programa N++.

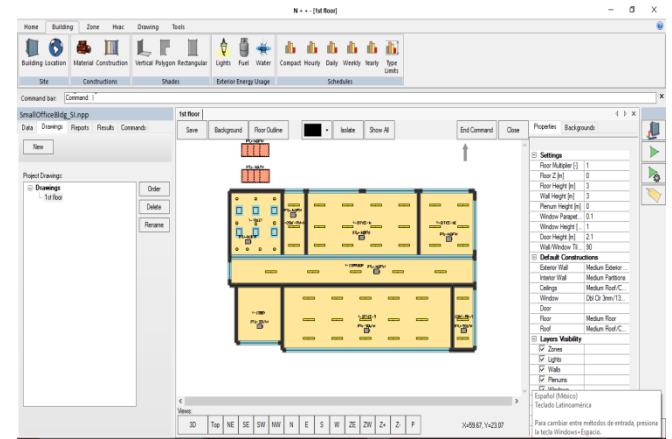


Figura 2. Pantalla principal del programa de simulación energética N++.

gENERGY

Energy permite la creación de nuevos modelos EnergyPlus e importa modelos de programas como Sketch Up, Autodesk Revit, gbXML y EnergyPlus IDF.

Estos modelos pueden ser subidos a una nube para después ser trabajados.

Las principales características de gENERGY son:

- Importación / Exportación de modelos IDF.
- La información se sube, almacena y baja de una nube
- Entrega informes personalizados
- Trabaja en cualquier dispositivo
- Cuenta con un motor de análisis rápido
- Realiza una copia de seguridad y versión del modelo en IDF.



SIMERGY

Simergy es otra de las interfaces gráficas con las que cuenta Energy Plus. Esta interface puede ser utilizada para modelar cualquier edificio en cualquier parte del mundo. Aunque tiene el inconveniente de que solo se puede utilizar pagando una renta semestral o anual alta.

Fue desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (DOE, por sus siglas en inglés) en colaboración con el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, Trane, Infosys, Hydro Quebec, y Digital Alchemy.

Sus principales características son:

- Importación y exportación de archivos IFC, y gbXML
- Diseño de sistemas HVAC y características de bajo consumo energético,
- Diseño de sistemas de control de iluminación natural y ventilación natural,
- Definición de zonas de climatización, y condiciones por horarios,
- Integración con EnergyPlus para realizar las simulaciones,
- Realiza reportes con los resultados de la simulación.

En la figura 3 se muestra la pantalla principal de una simulación realizada a un edificio de la ciudad de México.

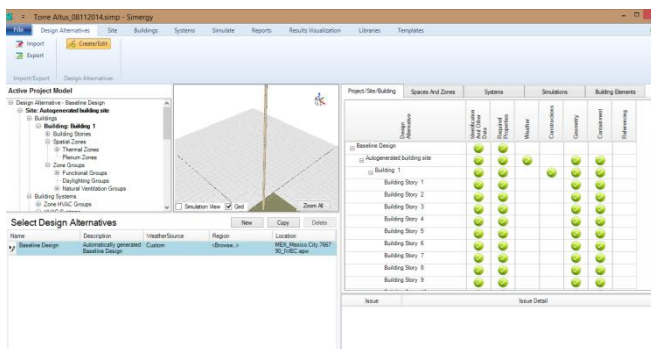


Figura 3. Modelación energética de un edificio de la ciudad de México con el programa SIMERGY 2.0.

Esta interface se actualiza aproximadamente tres veces por año por lo que en julio del 2017 se tendrá la versión 2.5.

BEopt

Esta interface gráfica ha sido desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables con el apoyo del programa del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América que

tenía como finalidad desarrollar soluciones energéticas para el mercado de viviendas nuevas y existentes.

Las iniciales significan Optimización de la Energía del Edificio (BEopt por sus siglas en inglés) y tiene como finalidad identificar conjuntos de estrategias de ahorro de energía que permitan dirigir el desempeño de la casa hacia el camino de una casa cero energía-neta. Estas estrategias de ahorro son:

1. Encontrar diseños de edificios de costo mínimo a diferentes niveles de ahorro de energía,
2. E identificar varios diseños casi óptimos a lo largo del proceso de modelación, permitiendo soluciones basadas en la experiencia del constructor o contratista.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de una casa modelada energéticamente con BEopt para la ciudad de México.

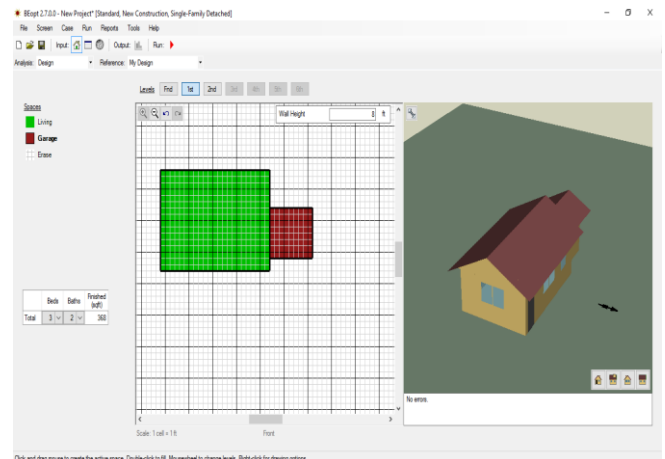


Figura 4. Modelación energética de una casa de la ciudad de México con el programa BEopt 2.7.0.0.

Un estudio de caso localizado en la ciudad de México es modelado energéticamente con el programa Pequeño Edificio Energético de Viviendas (SBEED por sus siglas en inglés) en el siguiente apartado.

ESTUDIO DE CASO

Un edificio de 44 pisos y 300 m² que está ubicado en la ciudad de México fue modelado energéticamente con el programa SBEED desarrollado por la Universidad de California en los Ángeles California, Estados Unidos de América en marzo de 2017.

La modelación energética del edificio con SBEED se muestra en la figura 5.

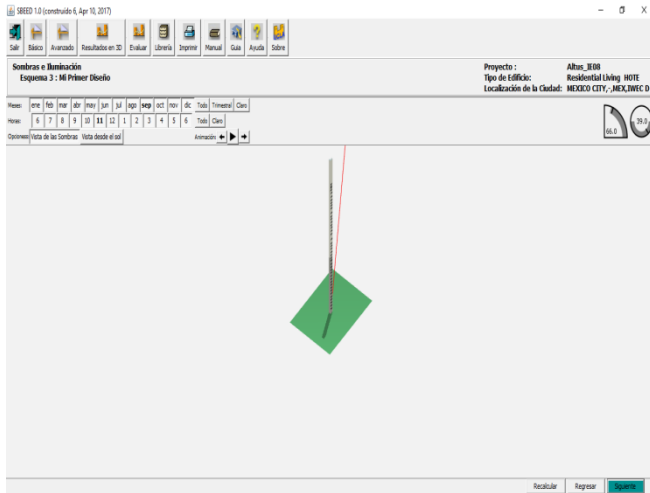


Figura 5. Modelación energética del edificio del caso de estudio con el programa SBEED.

El edificio modelado del caso de estudio (129,887 kWh/año) demandará más energía eléctrica que un edificio de las mismas dimensiones que está de acuerdo con el código T24 del estado de California en los Estados Unidos de América (100,773 kWh/año) y un edificio más eficiente energéticamente hablando (80,048 kWh/año).

El programa también propone estrategias de diseño eficientes energéticamente como las mostradas en la figura 6.

Proyecto : Altus_IE08
Tipo de Edificio: Residential Living HOTE
Localización de la Ciudad: MEXICO CITY,--MEX,ITWEC D

Estrategias de Diseño Energéticas Eficientes:
 (para recomendaciones más específicas utilice Climate Consultant)

1. El aire acondicionado puede ser eliminado si la estrategia del diseño del edificio previene el sobrecalentamiento en el verano. Tome ventajas de la ganancia de calor en el invierno.
2. Planos largos y extendidos orientados hacia el Sur y/o hacia las brisas predominantes, techos planos o ligeramente inclinados con grandes aleros (para maximizar la ventilación natural y la ganancia solar pasiva en el invierno)
3. Placas a nivel de suelo podrían ayudar a proveer suficiente masa térmica para ayudar a reducir los cambios de temperatura día-noche y almacenar la ganancia solar pero (si el aire acondicionado todavía es necesario revise las paredes con masa alta)
4. Maximice el uso de vidrio hacia el SUR o el Sureste (para ganancia solar pasiva) sombree en verano para prevenir sobrecalentamiento, los vidrios hacia el norte podrían balancear la luz diurna y proveer ventilación cruzada
5. Revise si los vidrios de alto funcionamiento son rentables en estas temperaturas exteriores suaves, si las ventanas son cuidadosamente sombreadas
6. Maximice la opción de ventilación natural cruzada con largas puertas de vidrio deslizables y ventanas operables.
7. Techos de colores claros (frios) con aislamiento extra podrían ser rentables pero, un aislamiento estándar ayudara a retener ganancias internas.
8. Un extractor grande de casa puede ser un suficiente y económico medio de enfriamiento si existe una adecuada masa interna (para eliminar el aire acondicionado)
9. Minimice o elimine las ventanas hacia el Oeste y ubique las áreas de almacenamiento o los garages para ayudar a aislar el edificio.
10. Mantenga diseños pequeños, los edificios grandes gastan más energía, provea espacios exteriores cobijados para extender los espacios habitables.

Figura 6. Estrategias de diseño energéticamente eficientes propuestas por el programa SBEED.

El programa puede interactuar con otro programa llamado Climate consultant 6.0 para recibir una combinación de 20 estrategias tanto pasivas como para los sistemas de climatización activos.

E incluso como se puede ver en la figura 7 el programa puede calcular las ganancias y pérdidas de calor de la envolvente del edificio para un mes y hora específicos del año.

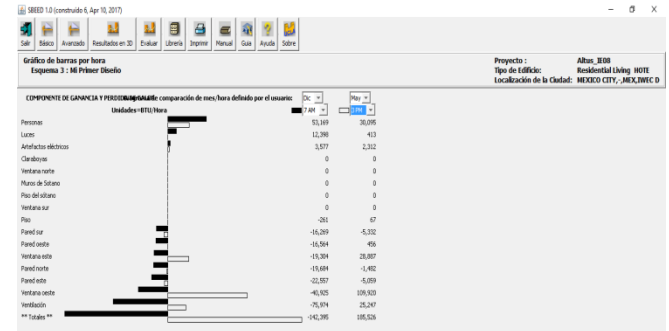


Figura 7. Ganancias y pérdidas de calor calculadas con el programa SBEED para el edificio del caso de estudio.

El sistema de aire acondicionado fue calculado por cada dos pisos como se muestra en la figura 8.

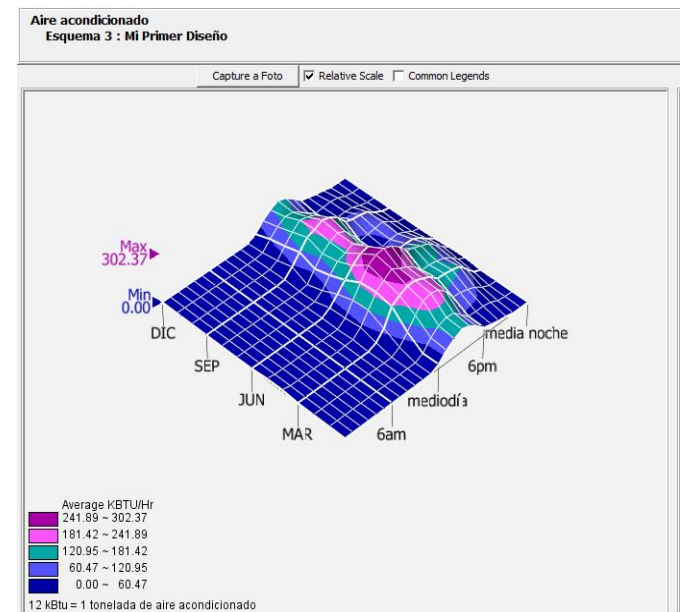


Figura 8. Capacidad de enfriamiento del sistema de aire acondicionado calculado con el programa SBEED para el edificio del caso de estudio.



Como se puede observar la figura 8 la mayor carga de calor se tendrá a las 15:00 h del mes de mayo con 88.62 kW (302.37 kBTU/h).

El programa también permite evaluar la cantidad de energía que se consumirá en el edificio. En la figura 6 se muestra que el edificio consumirá 300,651 kWh/año y que podría disminuir su consumo de energía hasta solo emplear 20, 283 kWh/año implementado una sería de estrategias como las mostradas en la figura 9.

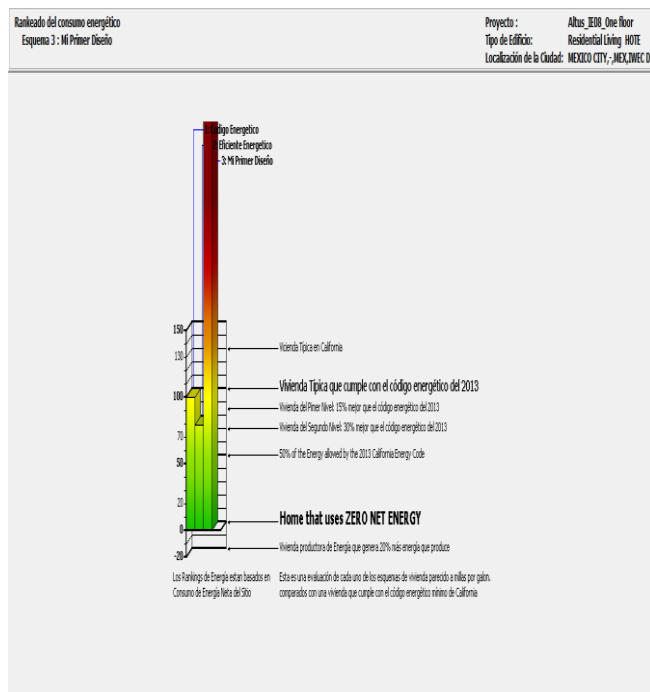


Figura 9. Consumo energético en kWh anuales del edificio del caso de estudio.

CONCLUSIONES

Existe una gran variedad de programas que pueden simular no solo la carga de enfriamiento o calentamiento que puede tener un edificio sino también la cantidad de energía eléctrica o gas puede ser consumida en un año. Programas como eQuest, Diseño Eficiente y Energético de la Vivienda (HEED por sus siglas en inglés) y SBEED pueden ser de gran utilidad para realizar estas estimaciones sin costo alguno. Solo habrá que realizar las respectivas modificaciones para hacer que estos programas adquieran más precisión en sus cálculos cuando son aplicados en otras condiciones climatológicas que no sean las pertenecientes a los Estados Unidos de América.

Esto es importante porque para otros casos como Design Builder, Synergy 2.2 u otras interfaces de Energy Plus se debe pagar una renta semestral o anual por su utilización.

Dentro de las desventajas que tiene el usar las interfaces de Energy Plus están el que todas al usar Energy Plus como programa de cálculo trabajan con su base de datos meteorológica también y no cuentan con suficientes sitios con datos como es el caso de México que solo cuenta con datos de Veracruz, ciudad de México y Acapulco.

La correcta modelación energética de un edificio hará que su demanda energética de los sistemas de climatización activos sea la mínima posible y operen menos tiempo.

Es importante que estos programas e interfaces de simulación energética den cada día más importancia a los sistemas pasivos de climatización.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., & Phillip, M. (2017). Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices. *Engineering Construction & Architectural Management*, 24(2), 190–208. <http://doi.org/10.1108/ECAM-11-2015-0181>
- Grupo Pi Victus. (2017). Metodología BIM - Despacho de Arquitectos - Grupo Pi Victus. Retrieved April 26, 2017, from <http://pivictus.com/metodologia-bim/>
- Reeves, T., Olbina, S., & Issa, R. R. A. (2015). Guidelines for Using Building Information Modeling for Energy Analysis of Buildings. *Buildings*, 5, 1361–1388. <http://doi.org/10.3390/buildings5041361>
- US DOE, & Navigant Consulting, I. (2016). *Research & Development Roadmap for Building Energy Modeling (Draft for review)*. Retrieved from <http://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/bto-seeks-comments-draft-building-energy-modeling-roadmap>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Dr. David Morillón Gálvez: Ingeniero civil egresado de la Universidad de Guadalajara, Maestro en diseño bioclimático egresado de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima y Doctor en Ingeniería orientación Energía egresado de la División de Estudios de posgrado de Facultad de Ingeniería de la UNAM.

M.I Agustín Torres Rodríguez: Ingeniero mecánico electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, Maestro en Ingeniería orientación Energía y especialidad en diseño bioclimático de edificios egresado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Estudiante de doctorado de la División de Estudios de posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.