



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Pachuca

“DISEÑO Y MODELACIÓN DE UN SISTEMA DE HVAC PARA OBTENER LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO DE USO ACADEMICO”

**BAJO LA OPCIÓN:
TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**PRESENTA:
ING. JAFET NEFTALI CABRERA CRUZ**

**ASESOR:
DR. JUAN SERRANO ARELLANO**

**CO-DIRECTORA:
DRA. KARLA MARÍA AGUILLAR CASTRO**

**SINODAL:
DR. EDGAR ERNESTO VERA CÁRDENAS**

Pachuca de Soto, Hgo. septiembre 2022
66 PÁGINAS



Instituto Tecnológico de Pachuca
ISO 9001:2015



2022 Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica

ACTA

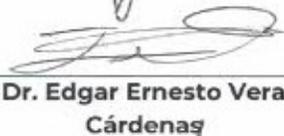
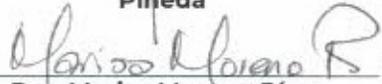
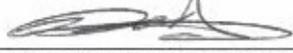
Siendo las 13:00 horas del 19 de febrero de 2022, el Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica manifiesta la APROBACIÓN del tema de Tesis: Diseño y modelación de un sistema de HVAC para obtener la eficiencia energética en un edificio de uso académico, con el siguiente contenido:

- Resumen/Abstract
- Nomenclatura
- Contenido
- Índice de cuadros, gráficas y figuras.
- 1- Introducción
- 2- Estado del arte
- 3- Marco teórico
- 4- Metodología de simulaciones
- 5- Resultados análisis
- Conclusiones
- Bibliografía
- Apéndices

para cubrir el requisito correspondiente a la Tesis para que el Ing. Jafet Neftalí Cabrera Cruz obtenga el grado de Maestría en Ingeniería Mecánica, bajo la dirección del Dr. Juan Serrano Arellano y la codirección de la Dra. Karla María Aguilar Castro.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"El Hombre Alimenta el Ingenio en Contacto con la Ciencia"®

 Dr. Ignacio Ramírez Vargas	 Dr. Juan Serrano Arellano	 Dr. Luis Manuel Palacios Pineda
 Dra. Erika Osiris Ávila Dávila	 Dr. Edgar Ernesto Vera Cárdenas	 Dra. Marisa Moreno Ríos
 Dr. Armando Irvin Martínez Pérez	 Dr. Francisco Noe Demesa	 Dr. Hugo Francisco Abundis Fona



Instituto Tecnológico de Pachuca
ISO 9001:2015



2022 Ricardo Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pachuca

Pachuca, Hidalgo,
9/Septiembre/2022

OFICIO No. DEPI.0122-22

C. ING. JAFET NEFTALÍ CABRERA
CRUZ PRESENTE

La que suscribe, jefa la División de Estudios de Posgrado Investigación, le comunica que los miembros de la Comisión Revisora, designada por el Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica para examinar su Tesis:

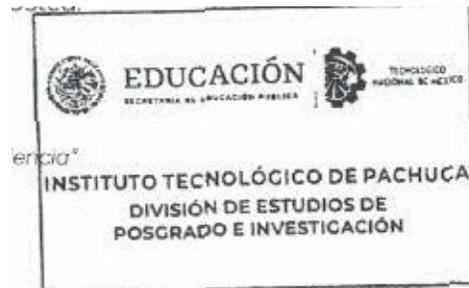
Diseño y modelación de un sistema de
HVAC para obtener la eficiencia energética
en un edificio de uso académico

se han reunido, y después de intercambiar opiniones manifiestan su aprobación en virtud que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes y, en consecuencia, se autoriza su impresión.

Sin otro particular por el momento, queda de Usted.

ATENTAMENTE
excelencia en Educación Tecnológica
"El Hombre Alimenta el ingenio en Contacto con
la Ciencia"

M.A.C. ELODIA CLAUDIA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE



C.p. Archivo
ECG0/LM

Resumen

Los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) tienen una larga historia y hoy juegan un papel importante en muchas áreas como el confort térmico, la eficiencia energética, la eliminación microbiana y la purificación del aire, principalmente en el sector sanitario. Y sobre el medio ambiente. Los estudios HVAC ineficientes son comunes en los sectores académico, comercial, residencial y de oficinas, ya que los estudios completos no son muy comunes debido al costo o al personal calificado, lo que resulta en una distribución inadecuada del confort térmico y aumentos pequeños pero significativos en el consumo de energía. durante un periodo de tiempo. Este artículo presenta el diseño y modelado de sistemas HVAC para lograr la eficiencia energética de edificios para uso académico a través del modelado numérico utilizando el software Energy Plus. Para este propósito, el edificio de investigación será seleccionado luego de revisar las propuestas disponibles para lograr el tamaño y carácter de un edificio académico adecuado para los propósitos de esta investigación. En la selección se tendrá en cuenta que esté destinado a un uso académico y que en el sobre se utilicen materiales transparentes y opacos. Posteriormente, se verificarán las dimensiones y características físicas de la sala (materiales, componentes, accesorios, equipos, etc.) y se calculará la carga de refrigeración del edificio de investigación. Como resultado, reemplazar algunos componentes electrónicos y eléctricos y equipos de plomería puede resultar en una reducción pequeña pero significativa en el consumo de computadoras con el tiempo, aprox. 12-18%, ya que se justifica y reduce la reducción en el consumo real de la computadora.

De acuerdo con datos obtenidos de la Comisión Federal de Electricidad, es posible convertir KW/H a pesos mexicanos utilizando el tipo de cambio GMT0, ya que este tipo de cambio se aplicará a los servicios que distribuyen energía para cualquier propósito, entregada en media tensión, bajo demanda. menos de 100 kW, mostrando los costos más bajos, pasando de alrededor de \$50 a alrededor de \$90 por mes, y esta reducción se vuelve significativa con el tiempo, ya que el ahorro promedio de \$1,380 MXN por año significa que el consumo de combustibles fósiles también proporciona ahorros, porque a la larga, se consume menos CO₂, por lo que nuestro pequeño pero significativo impacto en el medio ambiente la industria y, a lo largo de los años, será posible beneficiarse del consumo reducido de energía del edificio de investigación.

Abstract

HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systems have a long history and today play an important role in many areas such as thermal comfort, energy efficiency, microbial elimination and air purification, mainly in the healthcare sector. And on the environment. Inefficient HVAC studies are common in the academic, commercial, residential and office sectors, as comprehensive studies are not very common due to cost or qualified personnel, resulting in inadequate distribution of thermal comfort and small but significant increases in energy consumption. over a period of time. This paper presents the design and modeling of HVAC systems to achieve energy efficiency of buildings for academic use through numerical modeling using Energy Plus software. For this purpose, the research building will be selected after reviewing the available proposals to achieve the size and character of an academic building suitable for the purposes of this research. The selection will take into account that it is intended for academic use and that transparent and opaque materials are used in the envelope. Subsequently, the dimensions and physical characteristics of the room (materials, components, fixtures, fittings, equipment, etc.) will be verified and the cooling load of the research building will be calculated. As a result, replacing some electronic and electrical components and plumbing equipment can result in a small but significant reduction in computer consumption over time, approx. 12-18%, as the reduction in actual computer consumption is justified and reduced.

According to data obtained from the Federal Electricity Commission, it is possible to convert KW/H to Mexican pesos using the GMT0 exchange rate, as this exchange rate will apply to services that distribute energy for any purpose, delivered at medium voltage, on demand. less than 100 kW, showing the lowest costs, going from around \$50 to around \$90 per month, and this reduction becomes significant over time, as the average savings of \$1,380 MXN per year means that the consumption of fossil fuels also provides savings, because in the long run, less CO₂ is consumed, so our small but significant impact on the environment the industry and, over the years, it will be possible to benefit from the reduced energy consumption of the research building.

Índice General	
<u>Índice Figuras.....</u>	<u>V-VI</u>
<u>Índice Tablas.....</u>	<u>VII</u>
<u>Índice Graficas.....</u>	<u>VIII</u>
<u>Capítulo 1: Introducción.....</u>	<u>1-3</u>
1.1 <u>Planteamiento del problema y justificación.....</u>	<u>1-2</u>
1.2 <u>Objetivos.....</u>	<u>3</u>
1.3 <u>Hipótesis.....</u>	<u>3</u>
<u>Capítulo 2: Marco Teórico.....</u>	<u>4-19</u>
2.1 <u>Antecedentes.....</u>	<u>4-10</u>
2.1.1 <u>Diseño y dimensionamiento de los sistemas de HVAC.....</u>	<u>4-8</u>
2.1.2 <u>Energy plus en Edificaciones.....</u>	<u>8-9</u>
2.1.3 <u>Normas.....</u>	<u>9-10</u>
2.2 <u>Sistemas de HVAC.....</u>	<u>10-14</u>
2.3 <u>Mecanismos de transferencia de calor.....</u>	<u>15-17</u>
2.3.1 <u>Cargas de enfriamiento.....</u>	<u>17</u>
2.4 <u>Energy Plus.....</u>	<u>17-18</u>
2.5 <u>Eficiencia Energética.....</u>	<u>18-19</u>
<u>Capítulo 3: Metodología de simulaciones.....</u>	<u>20-35</u>
3.1 <u>Caso de estudio con Energy Plus.....</u>	<u>20-29</u>

3.1.1 Funcionamiento del software Energy plus.....	20-21
3.1.2 Geometría Energy Plus.....	21-22
3.1.3 Resultados practica Energy Plus.....	22-26
3.1.4 Análisis de resultados de la propuesta.....	27-29
<u>3.2 Caso de estudio con Cypetherm.....</u>	<u>29-35</u>
3.2.1 Geometría Cypetherm.....	31-32
3.2.2 Resultados Cypetherm.....	32-35
<u>Capítulo 4: Resultados y análisis.....</u>	<u>36-58</u>
<u>4.1 Investigación del edificio del estudio.....</u>	<u>36-47</u>
4.1.2 Consumo de energía requerido.....	47
<u>4.2 Simulación del edificio de estudio en el software Energy Plus.....</u>	<u>47-58</u>
4.2.1 Simulación del edificio de estudio mediante el software Cypetherm.....	51-56
4.2.2 Sustitución del sistema de HVAC del software Cypetherm al software Energy Plus.....	57-58
<u>Capítulo 5: Conclusiones.....</u>	<u>59-60</u>
5.1 conclusiones.....	59
5.2 recomendaciones.....	60

Índice Figuras

<u>Figura 1.....</u>	<u>14</u>
<u>Figura 2.....</u>	<u>15</u>
<u>Figura 3.....</u>	<u>16</u>
<u>Figura 4.....</u>	<u>21</u>
<u>Figura 5.....</u>	<u>22</u>
<u>Figura 6.....</u>	<u>25</u>
<u>Figura 7.....</u>	<u>25</u>
<u>Figura 8.....</u>	<u>27</u>
<u>Figura 9.....</u>	<u>27</u>
<u>Figura 10.....</u>	<u>30</u>
<u>Figura 11.....</u>	<u>31</u>
<u>Figura 12.....</u>	<u>31</u>
<u>Figura 13.....</u>	<u>32</u>
<u>Figura 14.....</u>	<u>32</u>
<u>Figura 15.....</u>	<u>36</u>
<u>Figura 16.....</u>	<u>36</u>
<u>Figura 17.....</u>	<u>37</u>
<u>Figura 18.....</u>	<u>37</u>
<u>Figura 19.....</u>	<u>38</u>
<u>Figura 20.....</u>	<u>38</u>
<u>Figura 21.....</u>	<u>39</u>
<u>Figura 22.....</u>	<u>39</u>
<u>Figura 23.....</u>	<u>40</u>
<u>Figura 24.....</u>	<u>40</u>
<u>Figura 25.....</u>	<u>40</u>

<u>Figura 26.....</u>	<u>41</u>
<u>Figura 27.....</u>	<u>42</u>
<u>Figura 28.....</u>	<u>42</u>
<u>Figura 29.....</u>	<u>43</u>
<u>Figura 30.....</u>	<u>43</u>
<u>Figura 31.....</u>	<u>44</u>
<u>Figura 32.....</u>	<u>44</u>
<u>Figura 33.....</u>	<u>45</u>
<u>Figura 34.....</u>	<u>47</u>
<u>Figura 35.....</u>	<u>48</u>
<u>Figura 36.....</u>	<u>48</u>
<u>Figura 37.....</u>	<u>51</u>
<u>Figura 38.....</u>	<u>52</u>
<u>Figura 39.....</u>	<u>52</u>
<u>Figura 40.....</u>	<u>53</u>
<u>Figura 41.....</u>	<u>54</u>
<u>Figura 42.....</u>	<u>55</u>
<u>Figura 43.....</u>	<u>55</u>
<u>Figura 44.....</u>	<u>57</u>

Índice Tablas

<u>Tabla 1.....</u>	<u>33-34</u>
<u>Tabla 2.....</u>	<u>33</u>
<u>Tabla 3.....</u>	<u>45</u>
<u>Tabla 4.....</u>	<u>46</u>
<u>Tabla 5.....</u>	<u>47</u>
<u>Tabla 6.....</u>	<u>56</u>
<u>Tabla 7.....</u>	<u>56</u>

Índice Graficas

<u>Grafica 1.....</u>	<u>23</u>
<u>Grafica 2.....</u>	<u>23</u>
<u>Grafica 3.....</u>	<u>24</u>
<u>Grafica 4.....</u>	<u>24</u>
<u>Grafica 5.....</u>	<u>26</u>
<u>Grafica 6.....</u>	<u>26</u>
<u>Grafica 7.....</u>	<u>28</u>
<u>Grafica 8.....</u>	<u>28</u>
<u>Grafica 9.....</u>	<u>29</u>
<u>Grafica 10.....</u>	<u>48</u>
<u>Grafica 11.....</u>	<u>48</u>
<u>Grafica 12.....</u>	<u>50</u>
<u>Grafica 13.....</u>	<u>50</u>
<u>Grafica 14.....</u>	<u>51</u>
<u>Grafica 15.....</u>	<u>53</u>
<u>Grafica 16.....</u>	<u>54</u>
<u>Grafica 17.....</u>	<u>57</u>
<u>Grafica 18.....</u>	<u>58</u>
<u>Grafica 19.....</u>	<u>58</u>

Agradecimientos

Por la culminación de mi tesis agradezco a todos los doctores, maestros, compañeros que me ayudaron con todas la inquietudes durante todo el proceso de esta así como a mi madre por todo el apoyo emocional y a Conacyt por el apoyo.

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre pues sin ella no hubiera podido lograr tanto, así como su bendición a lo largo de mi vida me ha protegido y me ha llevado por el buen camino. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu fortaleza, paciencia, bondad y amor de madre que me has demostrado.

Capítulo 1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Los edificios se utilizan para protegernos del clima exterior y para llevar a cabo actividades diarias y actividades laborales. Los edificios se pueden definir y describir como todas las estructuras construidas artificialmente por humanos para fines diversos pero específicos. Hay dos tipos de edificios, residenciales y no residenciales. La construcción residencial es la construcción de casas residenciales, mientras que la construcción comercial se refiere a todas las obras con paredes, techos y pavimentos que brindan servicios distintos a la vivienda, tales como escuelas, hospitales, fábricas, locales comerciales y oficinas, etc. Para que los ocupantes del edificio puedan realizar sus actividades de manera efectiva, es importante contar con condiciones de confort térmico. Según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), el confort térmico expresa “un estado mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ASHRAE, 2017). La norma ISO 7730 (2006) lo define como “un estado mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”, y el autor Nikolopoulou (2004) lo expresa como “la satisfacción psicofisiológica de una persona con las condiciones climáticas ambientales”. Estas definiciones coinciden en que el confort térmico se produce cuando las personas están satisfechas con su entorno. La definición del Working Environment Institute es la misma, aunque tiene un sentido más específico de satisfacción: "cuando la gente no siente calor ni frío". Se cree que el confort térmico ambiental se produce en ausencia de cualquier forma de incomodidad térmica y, por lo tanto, no sentimos ni frío ni calor [1]. Los sistemas activos como los sistemas HVAC se utilizan principalmente en edificios para proporcionar confort térmico. Este tipo de sistemas consumen mucha energía, por lo que su diseño y tamaño son importantes para satisfacer las necesidades de los usuarios y promover el ahorro de energía. En la Unión Europea, los edificios consumen el 40% de la producción total de electricidad [2], mientras que el Sistema de Información Energética (SIE) en México estima que el sector utilizó 22.6 TWh de electricidad en 2017, lo que corresponde al 9% del consumo total de electricidad en México. . el año mencionado. Por ello, en la Estrategia Nacional de Transición Energética y Uso Sostenible de la Energía (ENTEASE) de 2014 [3], las edificaciones no residenciales son consideradas un importante sector de consumo energético a nivel nacional.

Comúnmente los edificios de uso académico, por norma, deben realizar un estudio de la ventilación, calefacción y la refrigeración ya que esto implica la temperatura, humedad y la limpieza y calidad del aire interior. Sin embargo, la mayoría de los establecimientos académicos instalan sistemas de HVAC sin un estudio térmico previo. Es decir, la mayoría de los sistemas de aire acondicionado que se instalan carecen de cálculos de las cargas térmicas de enfriamiento, esto conlleva a que sean equipos sobredimensionados, muy costosos, y que no generen las condiciones adecuadas de confort térmico. Esto los hace sistemas ineficientes, que a su vez contribuyen a la contaminación que se ve reflejada por la huella de carbón. Lo anterior, muestra la relevancia del diseño y modelación de un sistema de HVAC para contribuir a la eficiencia energética.

Justificación

Realizar el cálculo de las cargas térmicas de una edificación contribuye no solo a satisfacer las necesidades de confort térmico en el interior, sino, además, evitan sobredimensionamientos de estos sistemas lo cual se verá reflejado en los costos del equipo y posteriormente en los consumos energéticos. Además, de las emisiones de CO₂ derivados del exceso de energía consumida. Con lo cual, se obtendría confort térmico los usuarios y clientes, una mejor calidad de aire, reducción del costo de la energía eléctrica teniendo así un impacto económico, social y medioambiental.

Se ha reportado en la literatura que un adecuado estudio de la eficiencia energética puede reducir el consumo de energía desde un 15% hasta un 30%, de acuerdo con Andrew Hohne et al., (2020) [4]. Respecto a eficiencia energética, en México existen algunas normas para edificaciones reguladas por la CONUUE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), entre las que destacan la NOM-008-ENER-2001[4] para edificios no residenciales y la NOM-020-ENER-201[5] para edificios residenciales. En estas normas se establecen algunos criterios que deben tomarse en cuenta para cumplir con los requerimientos energéticos del edificio.

Una de las herramientas utilizadas para el estudio de sistemas energéticos en edificaciones es el software llamado EnergyPlus que es un programa de simulación energética de acceso libre, que los ingenieros, arquitectos, y los investigadores pueden utilizar para modelar el uso de energía en los edificios. Este software se ha utilizado para estudios energéticos en donde se han obtenido ahorros energéticos superiores al 50% de acuerdo con Shen, et al., (2017) [6]. Algunas de las ventajas de EnergyPlus es que tiene más funciones comparado con otros programas de simulación como el DOE-2. Por mencionar un ejemplo, en EnergyPlus se pueden obtener las temperaturas de las superficies para evaluar el confort térmico. Además, este software incluye diversos modelos de confort térmico, y en él se pueden modelar sistemas radiantes en calefacción y refrigeración. Mientras que, en el software DOE-2 no puede modelarse directamente el confort térmico, debido a que no recoge las temperaturas superficiales y no incluye modelos de sistemas radiantes.

Por su parte, algunas de las desventajas del EnergyPlus es que, para un completo y eficiente manejo del mismo, se necesita un conocimiento del lenguaje técnico de programación, así como, mucho tiempo para comprender todas sus herramientas. Lo anterior, si se quiere hacer uso de todas las herramientas de este software.

Por lo anterior, se observa la importancia de realizar un adecuado cálculo y dimensionamiento de los sistemas HVAC para edificaciones, lo cual, puede realizarse de forma analítica, y verificarse con los resultados de un software. Esto permitirá, poder establecer una metodología que se pueda implementar en otros edificios.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Diseñar y modelar un sistema de HVAC para obtener la eficiencia energética en un edificio de uso académico mediante su modelación numérica con el software Energy Plus.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Obtener las dimensiones y características del edificio académico mediante una selección de propuestas disponibles para su consideración en este estudio.
2. Realizar los cálculos de las cargas de enfriamiento en el edificio de estudio para estimar la temperatura que permita un óptimo consumo de energía, considerando la satisfacción energética del espacio.
3. Modelar el sistema de HVAC utilizando el software Energy Plus para obtener el comportamiento de las temperaturas y el comportamiento del fluido en el interior del edificio de estudio.
4. Comparar los resultados analíticos y numéricos del comportamiento de la temperatura para evaluar la eficiencia energética del sistema HVAC.

1.3 Hipótesis

Hipótesis

- Con el estudio de las cargas de enfriamiento se puede conocer el porcentaje del ahorro de energía eléctrica, y las emisiones de CO₂; así como, se puede conocer la calidad del aire para contribuir al confort térmico de los usuarios, contribuyendo al aumento en su rendimiento y en el número de clientes.
- A través de la simulación se puede obtener el comportamiento del fenómeno de la climatización y del sistema energético de una edificación, para la toma de decisiones en la implementación de sistemas de HVAC.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Antecedentes o estado del arte

A continuación, se presentan los principales trabajos analizados de la literatura disponible que se relacionan con el proyecto de investigación. Los documentos encontrados se dividieron para su análisis en tres categorías: 1) Diseño y dimensionamiento de HVAC, 2) Energy Plus en edificaciones y 3) Normas.

2.1.1 Diseño y dimensionamiento de HVAC

Los investigadores **Hohne, et al., (2020) [6]** identificaron los mayores consumidores de energía en las instituciones de salud de Sudáfrica y se propusieron iniciativas de eficiencia energética adecuadas, en términos de rendimiento, operación, eficiencia de equipos y tecnología. Los dos principales consumidores de energía térmica son los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) y los sistemas de calentamiento de agua. Los autores plantearon varias iniciativas para mejorar la eficiencia energética y la capacidad de gestión de la demanda de estos sistemas. Estas iniciativas se subdividen en diferentes niveles: el nivel conceptual, el nivel activo, el nivel técnico y de mejora adicional, según se define en el marco de la operación, eficiencia de equipos y tecnología. En cada nivel, se introdujeron iniciativas de eficiencia energética basadas en los ahorros de energía potenciales y el esfuerzo requerido para lograr estos ahorros. Además, los enfoques de control predictivo de modelos. Concluyeron en su estudio los posibles ahorros de energía promedio que oscilaron entre el 50% y el 70% a nivel conceptual, mientras que se pueden esperar ahorros de energía del 15% al 30% para las iniciativas de eficiencia energética a nivel activo. Las actividades de eficiencia energética a nivel técnico y el nivel de mejora adicional pueden resultar en ahorros del 50% al 70% y del 5% al 10%, respectivamente.

Aliahmadipour, et al., (2017) [7] realizaron una simulación numérica del flujo de aire en el compartimiento de un autobús de pasajeros en verano. El flujo de aire turbulento en el compartimiento fue suministrado por el sistema HVAC del autobús. La simulación numérica en el compartimiento se realizó en dos casos: maniqués sentados y dormidos. Los maniqués se consideraron maniqués calentados en todas las simulaciones. Como resultado demostraron que, debido al diseño inadecuado del compartimiento, las condiciones de confort térmico no se distribuyen uniformemente en el compartimiento y este problema incomoda a los pasajeros. El resultado de las modificaciones mostró que el flujo de aire ingresa simétricamente al compartimiento y proporciona mejores condiciones térmicas para los pasajeros sentados / dormidos en el compartimiento.

Barone et al., (2020) [8] investigaron que, debido a los altos requisitos de confort higrotérmico, el consumo de energía para la calefacción y refrigeración de los trenes modernos puede alcanzar el 30% de la demanda total de electricidad relacionada. El ahorro de energía de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado de trenes puede evaluarse adecuadamente mediante enfoques de simulación dinámica. En el estudio se analizaron diferentes acciones innovadoras de eficiencia energética, reducción del impacto ambiental y mejora del confort, evaluando también su viabilidad económica. Desarrollaron una novedosa herramienta de simulación para el análisis completo del desempeño de trenes en el entorno TRNSYS, considerando como modelo un tren de media distancia existente que opera en el sur de Italia. Los autores contemplaron diversas acciones

de ahorro energético para el acoplamiento entre la envolvente y la mejora de los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado. Como resultado de su investigación, obtuvieron que las acciones de ahorro energético devuelven importantes beneficios en términos de ahorro energético, emisiones de CO₂ evitadas y confort. Además, en los resultados encontraron que los reembolsos dependen de las condiciones operativas. A partir del estudio, los autores proporcionan criterios de diseño y funcionamiento útiles para los fabricantes y usuarios de trenes.

En otro estudio de los autores **Lee y Tsai (2020) [9]** desarrollaron inteligencia artificial (IA) basada en la nube que podría ejecutar programas de IA en la nube y controlar los acondicionadores de aire de forma remota desde casa. Los programas de IA en la nube se pueden modificar en cualquier momento para proporcionar un buen rendimiento de control sin alterar el hardware de control. Los costes y precios del aire acondicionado pueden reducirse así mediante el aumento de la eficiencia energética. El control de la nube aumentó la eficiencia energética a través del control de IA basado en dos condiciones que son una tasa de enfriamiento interior constante y un rango estable fijo de control de temperatura interior. Sin embargo, si no se pueden garantizar las dos condiciones o se pierden las señales de la nube, el control original proporcional-integral-diferencial (PID) equipado en el acondicionador de aire puede usarse para asegurar que el acondicionador de aire funcione de manera estable. El acondicionador de aire de tipo split utilizado en su estudio ocupa el octavo lugar entre los 1177 acondicionadores de aire vendidos en Taiwán según datos públicos. Concluyeron los autores que, al utilizar el índice de eficiencia energética estática para la evaluación, el control fuzzy + PID no pudo ahorrar energía, pero el control predictivo basado en modelos aumentó el valor de eficiencia energética estática en un 9.12%. Al utilizar el índice de eficiencia energética dinámica para la evaluación, el control difuso + PID podría aumentar el factor de potencia de la temporada de enfriamiento en un 3.46% y el control predictivo basado en modelos podría aumentar la eficiencia energética en un 7.37%.

Wei Che, et al., (2020) [10] examinaron el consumo de energía y el entorno interior en un edificio de oficinas comerciales con un sistema HVAC actualizado. Con las medidas de modernización incluyeron un sistema de gestión de edificios basado en sensores, deshumidificación del aire exterior y un sistema de filtración de partículas de dos etapas. En el estudio los investigadores realizaron mediciones de campo que se realizaron tanto en invierno como en verano para evaluar el confort térmico y la exposición interior a los contaminantes del aire en el área remodelada, además diseñaron un experimento para evaluar los beneficios de los filtros mejorados sobre la exposición a partículas ambientales durante el verano. Donde concluyen que, al combinar todas estas medidas, el sistema HVAC modernizado pudo reducir el uso de energía en un 50% mientras mantenía un confort térmico interior generalmente aceptable. La mayoría de las veces, los niveles de partículas en interiores cumplieron con las pautas de la Organización Mundial de la Salud. El sistema de filtración mejorado con un filtro plisado redujo la entrada de partículas al aire libre entre un 30% y un 60% más que el filtro de aluminio utilizado antes de la actualización.

En otra Investigación, **Chen, et al., (2020) [11]** diseñaron un conjunto de parámetros para aire acondicionado fotovoltaico, incluida la capacidad fotovoltaica, el parámetro aire acondicionado y el parámetro del inversor. Los parámetros se aplicaron a un edificio de oficinas de 20 m² y construyeron una plataforma de prueba del sistema de aire acondicionado fotovoltaico. El experimento tuvo una duración de un año, durante el cual recopilaron y analizaron los datos correspondientes. Dentro de sus resultados se incluyeron los datos diarios típicos y los datos anuales del sistema, los cuales muestran que disminuye o aumenta rápidamente la temperatura ambiente en ~ 9.5% y 17% en 1 h para periodos de enfriamiento y calentamiento, respectivamente.

Lo anterior, manteniendo la temperatura ambiente dentro del rango de temperatura establecido de ± 0.9 ° C. Los autores concluyeron que, mediante el diseño adecuado de los parámetros, un sistema fotovoltaico de aire acondicionado puede satisfacer la demanda de electricidad de CA. En el período de enfriamiento, período de calentamiento y condiciones de operación anual, el sistema fotovoltaico proporcionó 114%, 73% y 188% de la energía para el sistema de CA, respectivamente. Los cálculos económicos muestran que el aire acondicionado fotovoltaico es adecuado para edificios de oficinas. El período de recuperación local es de solo 7.5 años; tanto el ahorro de energía como la reducción de emisiones son significativos.

Liang, et al., (2019) [12] demostraron que el uso de distribuciones de flujo de aire eficientes para un entorno interior no uniforme puede reducir la carga de refrigeración del espacio de manera significativa. Sin embargo, la carga de enfriamiento del sistema del aire acondicionado se reduce solo un poco cuando la relación de aire fresco es pequeña, lo que provoca una disminución limitada en el uso de energía del sistema de aire acondicionado. Para aprovechar al máximo el potencial de ahorro de energía de las distribuciones eficientes del flujo de aire y reducir el uso de energía del sistema de aire acondicionado, simulaban la carga de enfriamiento del sistema en un edificio de gran espacio con diferentes distribuciones del flujo de aire. Compararon el uso de energía del sistema de aire acondicionado entre el uso de una sola fuente de enfriamiento y el enfriamiento múltiple de bajo grado para manejar el aire. Los resultados que obtuvieron mostraron que las distribuciones eficientes del flujo de aire en realidad brindan el potencial de usar las múltiples fuentes de enfriamiento de bajo grado para manejar el aire. Por el contrario, el uso de una sola fuente de refrigeración abandonará los potenciales y dará como resultado un pequeño ahorro de energía; el uso de múltiples fuentes de enfriamiento de bajo grado para enfriar el aire de suministro, el aire de retorno y el aire fresco puede hacer que los potenciales estén disponibles, y la tasa de ahorro de energía podría ser del 13.9% al 27.5% en los casos numéricos con ventilación por desplazamiento. Los resultados de los investigadores demostraron que el aumento en la carga de enfriamiento del sistema para distribuciones de flujo de aire ineficientes es pequeño cuando la relación de aire fresco es pequeña, donde el grado de la fuente de enfriamiento aumenta significativamente de modo que se necesitan 22.9% más de energía en el caso numérico con una ventilación de cortocircuito.

Las innovaciones en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) se requieren continuamente para proporcionar un entorno construido mejor, más saludable, más productivo y sostenible para los ocupantes del edificio con un consumo mínimo de energía o costos. Los investigadores **Ma, Ren, Lin, (2019) [13]** realizaron un estudio de una descripción general de las tecnologías y sistemas HVAC utilizados en 212 casas de energía solar desarrolladas a través de 13 competencias de Decatlón Solar del Departamento de Energía de EE. UU. También se proporcionaron algunos comentarios y discusiones sobre las tecnologías y sistemas HVAC utilizados en las competencias de Decatlón Solar. El estudio que llevaron a cabo sobre la base de la información disponible en los informes del proyecto del organizador y el resumen de los equipos, los manuales del proyecto del equipo y los planos de construcción disponibles en los sitios web oficiales de decatlón solar, así como, con base en los artículos de investigación y los libros de texto publicados. Como resultado del estudio el 84.9% y el 89.6% de los equipos de competición utilizaron bombas de calor para calefacción y refrigeración de espacios, respectivamente, entre los que aproximadamente el 50% de los equipos de competición utilizaron bombas de calor aire-aire. Se ha utilizado una amplia gama de tecnologías energéticas, como materiales de cambio de fase, enfriamiento radiativo nocturno, enfriamiento evaporativo, deshumidificación desecante y ventiladores de recuperación de energía y calor para reducir el consumo de electricidad de los

sistemas HVAC. Los concursos decatlón solar proporcionaron una plataforma excelente para mostrar las innovaciones de las tecnologías HVAC en edificios residenciales.

En otro artículo **Ranade, et al., (2019) [14]** realizaron un esquema de diagnóstico para unidades fan-coil basado en un enfoque basado en el modelo de caja gris. Esto considerando que las unidades fan-coil se utilizan ampliamente como unidades terminales en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en edificios. La detección y el diagnóstico de fallas de los sistemas HVAC ha sido un área activa de investigación durante varias décadas. Sin embargo, la atención se ha centrado principalmente en unidades centrales como unidades de tratamiento de aire, enfriadores y calderas, y unidades terminales de volumen de aire variable. Los investigadores utilizaron un procedimiento sistemático para obtener un modelo simplificado de un serpentín de intercambiador de calor basado en regresión polinomial. El modelo que utilizaron para generar residuos, por lo que determinaron en su estudio que los residuos de este modelo facilitan el aislamiento preciso de fallas por medio de reglas simples. El modelo se caracterizó por un pequeño conjunto de parámetros y es computacionalmente liviano, por lo que es adecuado para el diagnóstico integrado. Para el problema de control, el termostato de zona fue suficiente. Sin embargo, para facilitar el diagnóstico, se requieren sensores adicionales.

Por su parte, **Yao (2020) [15]** estudió la incertidumbre energética y económica de los apartamentos residenciales utilizando un modelo de comportamiento estocástico de aire acondicionado. Lo anterior, con el fin de evaluar la idoneidad de los estándares y códigos de construcción existentes basados en el ajuste de aire acondicionado para predecir la energía y el rendimiento económico del ciclo de vida de las medidas de ahorro de energía (por ejemplo, aislamiento de paredes) en la zona de verano caluroso e invierno frío de China. El investigador realizó pruebas estadísticas, ajuste de distribución y simulación de Monte Carlo para realizar análisis relevantes. Como resultado obtuvo que la incertidumbre de la energía de enfriamiento a diferentes escalas temporales es significativa, oscilando entre el 8.59% (anual) y el 70.22% (por hora), mientras que la configuración de aire acondicionado basada en estándares y códigos no proporciona información sobre la incertidumbre. La aseveración de que los efectos del ahorro de energía en la realidad son los mismos que los de la simulación térmica (configuración de aire acondicionado basada en estándares) es incorrecta y hay una sobreestimación significativa del ahorro de energía de refrigeración por configuración de aire acondicionado basada en estándares.

En otro estudio **Zhenga, et al., (2017) [16]** llevaron a cabo un análisis de manera contrastante de dos modos de aire acondicionado con el suministro de fondo y la ventilación de estrato combinando la simulación numérica con el experimento físico en laboratorio. Exploraron las reglas cambiantes del ambiente térmico interior, el confort térmico del cuerpo humano y la eficiencia de utilización de energía bajo dos tipos de modos de suministro de aire. El modo de suministro de aire con la mejor distribución del ambiente térmico interior y el mejor confort humano se obtuvieron para cumplir con los requisitos de aire acondicionado verde para el ser humano. Los resultados obtenidos por los investigadores, que, de acuerdo con el índice de evaluación del confort térmico humano y la eficiencia de utilización de energía, el modo de aire acondicionado de suministro inferior fue mejor que el modo de ventilación de estrato. Por lo tanto, podría ser adecuado seleccionar el modo de suministro inferior en el diseño de ingeniería de aire acondicionado para edificios de oficinas para cumplir con los requisitos de aire acondicionado de confort interior.

De acuerdo con las investigaciones mencionadas un mal estudio demuestra que el confort térmico no se distribuye uniformemente incomodando a los usuarios, igual un buen estudio de la eficiencia

energética puede dar un cierto % de ahorro y este porcentaje puede ser mayor utilizando, implementando elementos pasivos sin afectar al confort térmico y un % en la disminución del CO_2 . También, se pudo observar que en los trabajos analizados se proponen algunas estrategias para mejorar la eficiencia de los sistemas HVAC como son el uso de tecnologías energéticas, el mejoramiento de los sistemas de control e incluso el uso de paneles fotovoltaicos.

2.1.2 Energy Plus en edificaciones

Los investigadores **Shen, et al., (2017) [17]** realizaron un estudio de una bomba de calor integrada de fuente de aire en EnergyPlus, en el cual se realizaron simulaciones de energía de edificios para demostrar un ahorro de energía anual superior al 50%. Lo anterior, en comparación con una bomba de calor de referencia con calentador de agua eléctrico. El estudio lo realizaron los investigadores en más de 10 ciudades de EE. UU. y se evaluó el potencial de ahorro de energía del calentamiento de agua usando la bomba de calor integrada de fuente de aire (ASIHP) versus calentamiento por gas. En la bomba de calor se tienen modos de funcionamiento, que incluyen: refrigeración de espacios (SC); calefacción de espacios (SH); calentamiento de agua dedicado (DWH); refrigeración combinada de espacios y calentamiento de agua con condensación completa (SCWH); refrigeración combinada de espacios y calentamiento de agua con atemperador (SCDWH); y calefacción combinada de espacios y calentamiento de agua con atemperador (SHDWH). En EnergyPlus el modo SC tiene la misma operación que el objeto Coil: Cooling: DX: VariableSpeed, mientras que, el modo SH tiene el mismo funcionamiento que el objeto Coil: Heating: DX: VariableSpeed. El modo DWH utiliza aire exterior como fuente de calefacción, que puede representarse mediante un objeto de Coil: WaterHeating: AirToWaterHeatPump: VariableSpeed. El modo SCWH utiliza aire interior como fuente de calefacción y calor total del condensador para calentar el agua, que se puede simular utilizando un objeto de Bobina: WaterHeat: AirToWaterHeatPump: VariableSpeed. Los autores concluyeron que, en comparación con una bomba de calor de referencia con calentamiento de agua eléctrico, el ASIHP puede lograr ahorros de energía anuales que oscilan entre el 47% y el 64%, con un promedio del 56% en las 10 ciudades de EE. UU. También compararon el calentamiento de agua ASIHP con el calentamiento de agua a gas y eléctrico en términos de eficiencia energética de la fuente y demostraron que el calentamiento de agua ASIHP es más eficiente que el gas en Houston, TX, Las Vegas, NV, Miami, FL y Phoenix, AZ. Es decir, para regiones con los requisitos de enfriamiento más grandes. Los resultados mostraron que todas las zonas climáticas tenían coeficientes de rendimiento de fuente de calentamiento de agua integrados de 3 a 4 veces más altos que el calentamiento de agua por resistencia eléctrica. Las simulaciones de energía del edificio también se utilizaron para investigar una estrategia de integración de la red que aumentó la temperatura de ajuste del agua del tanque durante las horas de menor actividad, junto con tres tamaños de tanque. Usando los dos tamaños de tanque más grandes, la estrategia de integración de la red condujo a mayores reducciones de costos de energía y ahorros de energía en -4% -2% 0% 2% 4% 6% 8% 10% 12% Relaciones de reducción del costo de servicios públicos Tanque 1 m^3 Tanque 0.5 m^3 Tanque 0.2 m^3 .

En otro artículo **Xie, et al., (2019) [18]** investigaron un método para simular la ocupación y el aire acondicionado que integra el modelo del comportamiento de los ocupantes (OB) con un sistema de aire acondicionado distribuido modificado en EnergyPlus (E+). Primero, se desarrolló un sistema de monitoreo que utiliza sensores de movimiento y termostatos para medir la ocupación y el uso del aire acondicionado en un edificio de hotel. Posteriormente, se utilizó el método de la Cadena de Márkov y un modelo estocástico de Monte-Carlo para simular la ocupación y el ajuste del punto

de ajuste, respectivamente. Para ello, se modificó el sistema de aire acondicionado distribuido en E+ para reflejar el funcionamiento intermitente y las características de fluctuación de temperatura de los acondicionadores de aire de tipo split (AC). Finalmente, para demostrar la aplicabilidad del método propuesto, se realizó una simulación de un edificio de hotel que integra el modelo OB con el sistema de aire acondicionado distribuido modificado. Los resultados de su estudio muestran que el método puede incorporar las características tanto del OB como de los AC de tipo dividido. Se pueden observar diferencias significativas (7.86%) en los resultados de consumo de energía entre el modelo original y el modificado. El modelo E+ modificado se puede utilizar para realizar una simulación más precisa para AC de tipo dividido con un paso de tiempo más corto, integrando OB a la escala de un edificio completo.

2.1.3 Normas

En cuanto a las normas de eficiencia energética en México, el CONUUE (Consejo Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) cuenta con dos normas para fijar estándares de eficiencia energética para edificaciones. La NOM-008-ENER-2001[4] se refiere a la eficiencia energética de las edificaciones, pantallas climáticas no residenciales. Esta norma limita la extracción de calor de los edificios que utilizan una pantalla climática para racionalizar el consumo de energía en los sistemas de refrigeración, y excluye los edificios cuyo uso principal es industrial o residencial. Por otro lado, la NOM-020-ENER-2011[5] se refiere a la eficiencia energética de las edificaciones, especialmente las de departamentos. Esta norma oficial mexicana limita la ganancia de calor en edificios residenciales mediante el uso de una envolvente para agilizar el consumo de energía en los sistemas de refrigeración. Ambos son normales y se pueden utilizar como guía para los estudios energéticos de edificios. Otros países también cuentan con normativas sobre eficiencia energética.

Tay Cher Seng y ThazinSoe (2017) [19] realizaron un estudio sobre un sistema de ventilación de desplazamiento pasivo que distribuye aire de refrigeración en una habitación sin el uso de ventiladores. Por lo general, los ventiladores representan aproximadamente el 15 % del consumo total de energía de un edificio. Aparte de los ventiladores que se utilizan para llevar aire exterior al edificio, algunos edificios en Singapur están diseñados sin ventiladores para el confort térmico. Los investigadores estudiaron el rendimiento de este innovador sistema que desafía las normas establecidas de diseño de aire acondicionado. Utilizaron el estándar GM NRB 2015, que establece que los sistemas de distribución de aire se evalúan con un estándar diferente, y para un sistema de ventiladores que proporciona un flujo de aire constante, la potencia del motor no debe exceder los 0,47 W/m³/h. También establecen que para los sistemas de ventiladores que pueden variar automáticamente la cantidad de aire, el motor no debe superar los 0,74 W/CMH. Los autores concluyeron que se ha demostrado que los sistemas de ventilación por desplazamiento pasivo (PDV) funcionan satisfactoriamente. Esto se debe a que, desde una perspectiva energética, el POS reduce el consumo de energía de los equipos del lado del aire de 0,25 kW/RT a 0,00 kW/RT, sin incluir los ventiladores de aire fresco. Los resultados evaluaron la eficiencia general del diseño del sistema de aire acondicionado para cumplir con los requisitos NRB de GM de 2015 con un margen suficiente.

Bravo Hidalgo y Pérez Guerra, (2016) [20] realizaron estudios científicos sobre la eficiencia energética de los acondicionadores de aire en edificios, siguiendo las normas de que los edificios se consideran sistemas termodinámicos abiertos, en estado desequilibrado y con paredes no aisladas que permiten la transferencia. masa y energía con el medio ambiente. Según la norma ISO 7730, explican que el índice de confort térmico está en función de variables como el metabolismo,

la vestimenta, la velocidad del aire y la humedad relativa, y la temperatura radiante promedio. En este estudio, creían que el aire acondicionado ayuda a mantener y mejorar el nivel de calidad de vida, la calidad del ambiente térmico, la calidad de la ventilación del aire interior, criterios de diseño de ahorro de energía en el aire acondicionado de edificios para reducir tanto como sea posible la entrada de calor no deseada, el aire natural. tecnología de acondicionamiento, almacenamiento activo de energía térmica y simulación por computadora de procesos de energía térmica. Por lo tanto, determinaron que las pautas para la gestión de propiedades de edificios eficientes en energía y respetuosas con el medio ambiente en aire acondicionado son: 1) apoyar el uso de recursos naturales renovables para aire acondicionado y 2) utilizar técnicas de acondicionamiento natural mediante la comprensión de los componentes del edificio, los métodos de construcción y la ubicación. utilizar sistemas de energía renovables activos y pasivos que creen refrigeración, calefacción térmica, almacenamiento de calor y/o generación de energía como otro componente del concepto de construcción, y 3) implementar herramientas y cálculos de diseño, gestión de energía y gestión económica integrados apropiados. herramientas para la simulación de edificios y el diseño energético.

Como se puede observar, los autores discuten sobre la importancia de los análisis energéticos de las edificaciones, en donde es importante considerar a los ocupantes, sus necesidades, las condiciones ambientales interiores para alcanzar un confort térmico. Los autores recomiendan el uso de sistemas pasivos acoplados al sistema de ventilación convencional con el fin de mejorar la eficiencia total del diseño del sistema de aire acondicionado del recinto de estudio. Particularmente, en México se deben tomar en cuenta las normas NOM-008-ENER-2001 y la NOM-020-ENER-2011 para los estudios de eficiencia energética.

En esta sección se presentan los principales conceptos teóricos referentes al diseño y modelación de un sistema de HVAC para obtener la eficiencia energética en un edificio académico.

2.2 Sistema HVAC

Los investigadores **bastos et al. (2018) [21]** construyeron un edificio residencial y un almacén utilizando la misma herramienta de autoría BIM (Revit), donde se utilizaron dos esquemas abiertos: Green Building Extensible Markup Language (gbXML) e Industrial Based Classes (IFC). Estos archivos de transferencia se importaron a un software compatible con el motor EnergyPlus (Design Builder, Open Studio y CYPETHERM HE) en el que se realizaron simulaciones. Con resultados mostraron que los modelos de energía se construyeron hasta un 7,50% más pequeños que en el BIM y con elementos faltantes en su envolvente térmica. Sin embargo, los materiales se transfirieron con éxito a los formatos gbXML e IFC.

En otro caso de estudio los autores **Sebastián et al. (2021) [22]** analizaron que el noventa por ciento de edificios existente en Europa necesitan urgentemente una mejora significativa de la eficiencia energética mediante la renovación. Por lo que presentaron una investigación sobre tecnologías Plug-and-Play (PnP) respaldadas por Building Information Modeling (BIM) para proporcionar soluciones asequibles, intercambiables y de instalación rápida para superar las principales barreras de la renovación profunda de edificios. Y concluyeron que las soluciones de PnP pueden romper las barreras para renovar los edificios existentes en Europa. Las barreras financieras se pueden resolver con soluciones asequibles de renovación de PnP que se producen en un gran volumen. El ahorro de costes también se conseguirá mediante el uso de juntas universales y sencillas durante el montaje.

En la Investigación de **Rico A. et al, (2021) [23]** evaluaron el rendimiento energético de los edificios en términos de producción de entropía y flujos de entropía. Investigaron el balance energético con el software Cypetherm para todas las fuentes de energía y los flujos con el medio ambiente. Concluyeron que la generación de entropía se ve fuertemente afectada por la eficiencia del edificio junto con la irradiación solar.

En un estudio de Castillo Devoz y G. Gutiérrez Ramírez (2018) [24], realizaron un diseño conceptual de un sistema de aire acondicionado por adsorción utilizando una fuente de calor solar. Las cargas de enfriamiento de diseño fueron calculadas por el software Cype en base a un modelo de construcción 3D (tipo IFC) basado en un plano de construcción 2D de AutoCAD (tipo dwg) proporcionado por la Oficina de Planificación de la Universidad. Decidieron compararlos con la capacidad de refrigeración instalada en los edificios.

Según el investigador Torregrosa et al. (2015) [25] quienes analizaron el rendimiento de los sistemas de bomba de calor aerotérmica en edificios residenciales bajo diferentes condiciones climáticas en España en comparación con los sistemas tradicionales de calefacción, ventilación y aire acondicionado y obtuvieron importantes ahorros de energía primaria. costo versus sistemas de bombeo versus sistemas HVAC.

En un estudio, Torregrosa et al., (2019) [26] desarrollaron un modelo más preciso de un sistema de flujo de refrigerante variable e investigaron cómo funcionaría el sistema en edificios de oficinas en diferentes condiciones climáticas mediante la introducción de energía en el edificio. Simulación en flujo de trabajo Open BIM. Los resultados fueron 6,91% y 1,59% para el sistema estándar y el nuevo modelo de refrigeración y calefacción, respectivamente.

En un estudio de Uribe et al. (2017) [27] encontraron que en un edificio de enseñanza universitaria realizaban un estudio detallado de la intensidad de la iluminación o su correcta ubicación, al que le seguía un estudio del edificio para analizarlo mediante simulación. Mediante el programa de simulación corporal se determinó la intensidad de iluminación en todas las áreas del edificio escolar. Resultó que el consumo de energía podría reducirse en un 15%. Esto demuestra que el consumo de energía se reduce significativamente.

En el caso de **Nelson et al. (2015) [28]** Estudiaron la Iniciativa Energética para la Sostenibilidad de la Universidad de Coímbra, Portugal. Realizó una campaña de seguimiento para medir y desagregar el consumo eléctrico. También evaluó el consumo de gas natural y agua. También evaluaron la envolvente del edificio y los sistemas de calefacción e iluminación. Investigaron algunos patrones de comportamientos ambientales energéticos de la comunidad académica a través de una encuesta basada en la web. Con resultados de una reducción del consumo de unos 26.123 kWh / año, evitando la emisión de 3.704 KgCO₂ / año, con un costo inicial de 9.920 euros.

En el estudio de **Lores et al. (2014) [29]** analizaron los componentes principales de múltiples vías. Este enfoque permite definir índices estadísticos simples T2 y SPE que se utilizarán en gráficos de seguimiento. Estos índices se utilizan para detectar comportamientos anormales en escalas de tiempo. Después de la detección, se realiza un análisis de contribución para aislar las variables responsables de dicho mal comportamiento. La explotación de dichos modelos, obtenidos en condiciones normales de funcionamiento, puede utilizarse para detectar tanto fallas en los sensores como malos comportamientos en los patrones de consumo de energía en el caso de estudio centrado en edificios académicos ubicados en el Campus de la Universidad de Girona.

La necesidad de reducir los requisitos energéticos de los sistemas de iluminación debe brindar a los ingenieros una visión más madura y consciente durante la planificación y esto significa que sus

principales objetivos deben ser el confort visual y la eficiencia energética. En el estudio de **Ferdinando et al. (2016) [30]** examina el caso de estudio de un aula ubicada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Sapienza de Roma y, para evaluar la posibilidad de combinar luz natural y artificial, se centra en la realización de un nuevo sistema de iluminación. Esta nueva solución está formada por fuentes LED y sistemas de control, Resultando que existen períodos de recuperación que justifican los mayores costos que presenta la electrónica que caracteriza al sistema de lógica de control.

Los investigadores **Amy et al. (2019) [31]** En su estudio comentan que los edificios educativos, son el tercer mayor consumidor de energía en los Estados Unidos, brindan oportunidades significativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al aumentar la eficiencia energética debido a que los edificios heterogéneos consumen mucha energía, como lo son laboratorios, instalaciones de investigación médica, instalaciones deportivas y alimentos. Dedujeron que existe una gran oportunidad para conservar energía mediante la modernización de estos edificios. Concluyeron que a través del análisis del contenido de los datos identificaron los factores de decisión que se clasifican en cinco categorías principales: viabilidad económica, impacto ambiental, características institucionales, impacto de los ocupantes y practicidad técnica, para la modernización de estos edificios.

En el estudio de **Joonho et al. (2019) [32]** Estimaron la eficiencia energética de edificios educativos con el estudio de caso de edificios en City University of Hong Kong mediante la construcción de un modelo de frontera estocástica de demanda de energía. El modelo se estimó utilizando los datos estadísticos universitarios de 2011 a 2015. Para una frecuencia constante de datos entre las variables, adoptaron el método de suma cuadrática para convertir los datos del informe universitario anual en un conjunto de datos mensual. Con resultados mostraron que la eficiencia energética promedio es de 0,87, lo que implica que se puede ahorrar el 13% del consumo total de energía.

Ayesha et al. estudio, la calidad del aire interior es una preocupación importante para la salud humana porque las personas pasan la mayor parte de su tiempo en el interior. (2018) [33] tuvo como objetivo investigar y comparar la calidad del aire y el confort térmico en cuatro instituciones educativas con diferentes tipos de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Midiendo simultáneamente la temperatura exterior y la humedad relativa y realizando análisis estadísticos. Se encontró que los edificios con sistemas no centralizados tenían una mayor frecuencia de violaciones de los niveles de CO₂ que los edificios con sistemas centralizados. Además, se encontró que los parámetros de confort térmico están influenciados por las condiciones climáticas externas y la orientación del edificio.

En el trabajo de **Mohd et al. (2019) [34]** Presenta los ahorros potenciales para lograr la eficiencia energética en la edificación académica a través de estrategias de optimización y operativas. Utilizo varias herramientas analíticas existentes, como ASHRAE CLTD / CLF, método de lumen, valor actual neto y relación costo beneficio. Sus resultados mostraron que el uso de aire acondicionado, iluminación y electrodomésticos se puede reducir en un 12%, 52% y 40%, respectivamente. La eficiencia energética se ha convertido en la actualidad en una de las tareas más desafiantes para las organizaciones académicas y comerciales, y esto ha impulsado la investigación en campos novedosos.

En el estudio de **A. De Paola et al. (2012) [35]** Abordaron el tema del monitoreo oportuno y ubicuo de los complejos de edificios, con el fin de optimizar su consumo de energía, con un sistema inteligente dirigido al usuario, y concluyeron con un diseño de una arquitectura de tres niveles para detectar la presencia del usuario de los habitantes en el edificio y comprender sus preferencias con respecto a las condiciones ambientales con el fin de optimizar la eficiencia energética global de los edificios.

En la investigación de **Mehreen et al. (2015) [36]** Realizó un estudio piloto para analizar la relación entre los perfiles de demanda de energía eléctrica y las actividades de los usuarios de un edificio universitario. Para obtener información sobre cómo se utiliza, opera y administra el edificio a diario, se distribuyó un cuestionario en línea al personal y los estudiantes, así como entrevistas realizadas con el personal clave de la gerencia. Y realizó un análisis de los datos de demanda eléctrica cada media hora para el edificio del estudio de caso para identificar tendencias y patrones clave en el uso de energía. Concluyo con información detallada sobre los patrones de ocupación podría ayudar al equipo de gestión a rediseñar las estrategias de control para un rendimiento energético óptimo del edificio.

La eficiencia energética como concepto combina acciones tomadas tanto por la oferta como por la demanda para aumentar la seguridad del suministro sin sacrificar el bienestar o la producción. Además, se consigue un ahorro en el consumo energético y en la economía general de la población. Al mismo tiempo, se logró una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y una mejora en la situación financiera de las empresas energéticas [37].

investigadora Boyano et al. (2013) [38] presentó datos de consumo de energía y sugirió posibles estrategias de ahorro de energía para edificios de oficinas. Mediante la simulación de diferentes escenarios. Los resultados de sus edificios de oficinas modelados EnergyPlus pueden considerarse representativos de los edificios de oficinas de toda Europa. De acuerdo con los estudios anteriores, existe una buena investigación en el diseño BIM (Building Information Modeling). Es esencial para la transformación digital de la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción, y también está relacionado con el confort térmico, la eficiencia energética y puede lograr una buena comprensión general de la eficiencia de los edificios. El uso del software EnergyPlus se volvió importante como resultado de estudios previos que mostraron reducciones en los costos de energía y ahorros significativos, así como demostraciones detalladas del desempeño del aire acondicionado y cómo afecta el confort térmico.

El aire acondicionado generalmente se trata de enfriar el aire, pero también incluye eliminar la humedad como un derivado del aire de enfriamiento. La calefacción es necesaria en climas más fríos para compensar la pérdida de calor a través de la envolvente del edificio y para mantener una temperatura de vida adecuada. La ventilación es la introducción de aire fresco del exterior en un edificio para diluir los contaminantes del aire interior (escapes) de las personas y los materiales de construcción. Esto suele significar extraer el aire de estancias con altas emisiones contaminantes, como baños y cocinas. Los sistemas HVAC casi siempre incluyen un filtro o limpiador de aire recirculado y, a veces, humidificadores [39]. La Figura 1 muestra los componentes HVAC y sus procedimientos operativos [40]. Puede ver que el gas refrigerante caliente se comprime a alta presión y alta temperatura en el compresor. En el condensador, el gas caliente se enfría lo suficiente como para condensarse en un líquido caliente. El calor se rechaza en una zona "cálida", generalmente en el exterior. Por sí sola, la válvula de expansión permite que el fluido pase por la zona a una presión mucho más baja. Cuando se reduce la presión, parte del líquido se vuelve

gaseoso (se evapora) y enfría el líquido restante. En el evaporador, el líquido refrigerante restante se evapora en un gas que absorbe calor de la zona "fría". Luego, el refrigerante ingresa al compresor de modo 1 como vapor saturado y se comprime isotrópicamente a la presión del condensador. La temperatura del refrigerante durante la compresión isotrópica se eleva a un valor máximo que es mucho más alto que la temperatura ambiente. Luego, el refrigerante ingresa al condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como un líquido saturado en el estado 3 a medida que rechaza calor a los alrededores. La temperatura del refrigerante en esta condición permanecerá por encima de la temperatura ambiente. El refrigerante líquido saturado en el estado 3 luego se estrangula a la presión del evaporador a través de una válvula de expansión o un tubo capilar. La temperatura del refrigerante en este proceso cae por debajo de la temperatura de la sala de refrigeración. El refrigerante ingresa al evaporador en el estado 4 como un vapor húmedo de mala calidad que se evapora completamente al absorber el calor del espacio enfriado. El refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y regresa al compresor, completando el ciclo [41].

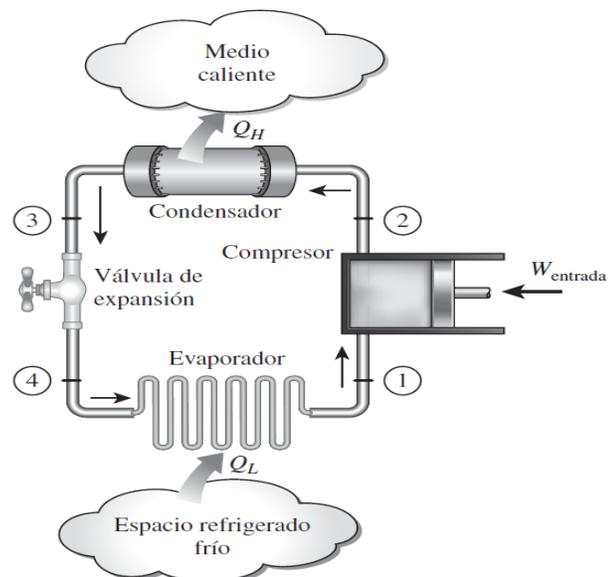


Figura 1. Componentes de un HVAC y su funcionamiento. Fuente: [40].

2.3 Mecanismos de transferencia de calor

A continuación, se describen los tres mecanismos de transferencia de calor:

Conducción

La conductividad térmica es el nombre que se le da al mecanismo de transferencia de energía que se produce en el intercambio de energía cinética entre partículas de dos sistemas (iones, moléculas, átomos, etc.) en contacto directo o entre dos partes de un mismo sistema a diferente temperatura. Consulte la figura 2. Por tanto, es la transferencia de energía de una partícula a otra a través de la materia, pero sin desplazamiento.

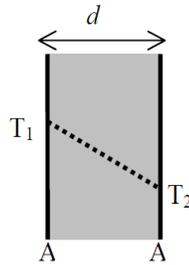


Figura 2. Conducción de calor. Fuente: [41].

La transferencia de calor por conducción puede ocurrir en sólidos y líquidos, y los sólidos metálicos son los mejores conductores de calor. Solo consideraremos la conducción en equilibrio y en un medio homogéneo, por lo que esta conducción se da en una sola dirección. Un ejemplo típico es la conducción de calor a través de la superficie de un sólido cuyas superficies tienen diferentes temperaturas. El flujo de calor por conducción es proporcional al área de interfaz entre los sistemas y el gradiente de temperatura, es decir, el cambio de temperatura por unidad de longitud, que puede expresarse mediante la ecuación (1).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = kA \frac{\Delta T}{d} \quad (\text{W}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde, $\Delta T = |T_1 - T_2|$, en $^{\circ}\text{C}$; A = Área de la superficie, en m^2 ; d = distancia recorrida por el flujo de calor, en m ; k = conductividad térmica, en $\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ [41].

Convección

La convección es un mecanismo de transferencia de calor que ocurre debido al movimiento de un fluido. Por lo tanto, el transporte simultáneo de masa y energía requiere la presencia de líquidos [40]. La convección forzada ocurre cuando el movimiento del fluido es causado por una causa externa, como un ventilador o una bomba. La convección es natural o libre debido a las diferencias de densidad entre regiones de fluido a diferentes temperaturas. Es, por ejemplo, lo que crea el flujo de aire. En el caso de la congelación del agua, el movimiento convectivo combinado con la expansión inusual del agua simplemente hace que la superficie se congele. En el cuerpo humano, la sangre actúa como un fluido convectivo que transfiere calor desde el interior del cuerpo hacia la superficie del mismo. Los mecanismos de convección se utilizan en muchos sistemas de calefacción, como los radiadores de agua caliente [22][23]. El flujo de calor por convección entre una superficie sólida y un líquido en contacto con ella viene dado por la ecuación (2):

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (\text{W}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$; A es la superficie en la cual tiene lugar la transferencia de calor en m^2 ; T_s es la temperatura de la superficie en $^{\circ}\text{C}$; y T_f es la temperatura del fluido lejos de la superficie en $^{\circ}\text{C}$ (En la superficie, la temperatura del fluido es igual a la temperatura superficial del sólido) [40].

Radiación

La radiación es energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en la configuración electrónica de átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio (ver Figura 3). De hecho, este transporte es el más rápido (se produce a la velocidad de la luz) y no tiene atenuación en el vacío. Es así como la energía solar llega a la tierra..

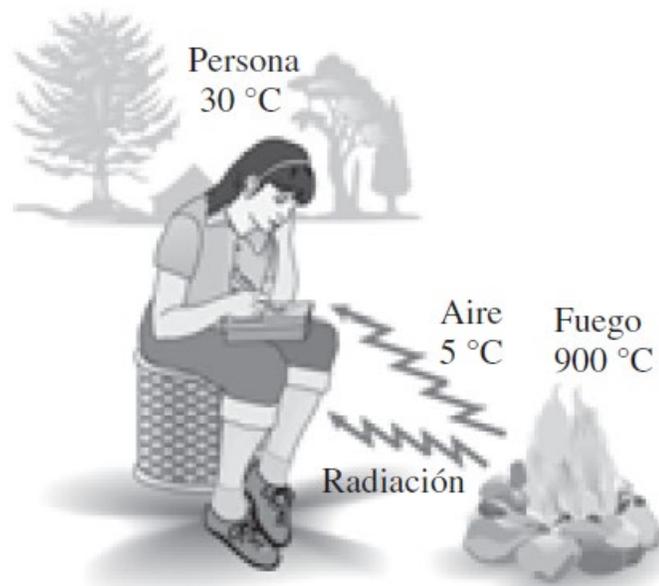


Figura 3. Transferencia de energía por radiación. Fuente: [40].

La radiación es un fenómeno volumétrico en el que los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, generalmente se considera que la radiación es un fenómeno superficial de sólidos que son opacos a la radiación térmica, como metales, madera y rocas, porque la radiación de las regiones internas de estos materiales nunca llega a la superficie, mientras que la radiación que incide sobre estos objetos generalmente se absorbe dentro de unos pocos micrómetros, dentro de los límites de la superficie [40]. La tasa de radiación máxima que se puede emitir desde una superficie a una temperatura absoluta T_s está determinada por la ley de Stefan-Boltzmann, como se muestra en la ecuación (3).

$$\dot{Q}_{emitida\ max} = \sigma AT_s^4 \quad (\text{W}) \quad \text{Equacion (3)}$$

Donde A es el área superficial en m^2 ; T_{os} es la temperatura de la superficie en $^{\circ}\text{C}$ y $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann [40].

2.3.1 Carga de enfriamiento

El servicio de enfriamiento o enfriamiento es la tasa requerida para eliminar el calor de la cámara para reducir su temperatura al valor deseado. Esta tarifa tendrá unidades de energía por unidad de tiempo, normalmente expresadas como: kW, kJ/día, kcal/día, kcal/h, etc. Además, cuando se extraen calorías, las kilocalorías a menudo se denominan "refrigoria". Por otro lado, el punto de partida para el diseño de una cámara frigorífica es evaluar su demanda frigorífica, o "carga", para poder determinar qué sistema de refrigeración es el más adecuado para compensar la citada ganancia de calor (pérdida frigorífica). Obviamente, la carga puede cambiar con el tiempo, por lo que generalmente se estima la demanda máxima.

El cálculo de la carga térmica de enfriamiento (Q_r) es necesario para conocer la capacidad de enfriamiento de la unidad de aire acondicionado que se utilizará y, en última instancia, la energía eléctrica consumida. La carga total de calor de enfriamiento (Q_r) está determinada por la fórmula (4):

$$Q_r = Q_s + Q_l \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde, Q_s es la carga térmica sensible, en W; y Q_l es la carga térmica latente, en W [41].

2.4 Energy plus

EnergyPlus™ es un completo programa de simulación de energía de edificios utilizado por ingenieros, arquitectos e investigadores para modelar el uso de energía (para calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y cargas de servicios y procesos) y el uso de agua en edificios. Algunas características y capacidades notables de EnergyPlus incluyen [42]:

- La solución integrada simultáneamente de las condiciones de la zona térmica y la respuesta del sistema HVAC, no supone que el sistema HVAC sea capaz de soportar las cargas de la zona y puede simular habitaciones no acondicionadas y no acondicionadas.
- Soluciones de balance de calor basadas en efectos de radiación y convección que producen cálculos de temperatura superficial, confort térmico y condensación.
- Marcos de tiempo sub-horarios personalizables para las interacciones entre las zonas térmicas y el medio ambiente, las interacciones entre las zonas térmicas y los sistemas HVAC tienen un marco de tiempo variable automático. Permiten a EnergyPlus modelar sistemas con dinámicas rápidas, intercambiando velocidad de simulación por precisión.
- Modelos combinados de transferencia de calor y masa que consideran el flujo de aire entre zonas.
- Modelos mejorados de sistemas de acristalamiento, incluyendo persianas ajustables, acristalamiento electrocrómico y cálculo capa por capa de la energía solar absorbida por el acristalamiento.
- Los cálculos de luz y deslumbramiento proporcionan información sobre el confort visual y el control de la luz de marcha.
- HVAC basado en componentes que admite configuraciones de sistema estándar y nuevas.
- Amplias estrategias integradas de control de HVAC e iluminación y un sistema de secuencias de comandos de tiempo de ejecución extensible para controles personalizados.
- Importe y exporte interfaces de modelos funcionales para cosimulación con otros motores.
- Informes de salida resumidos y detallados estándar, además de informes personalizables con resolución de tiempo seleccionable de año a hora, todos con multiplicadores de energía.

es un programa basado en consola que lee la entrada y escribe la salida en un archivo de texto. Tiene varias utilidades, incluido IDF-Editor para crear archivos de entrada con una interfaz simple similar a una hoja de cálculo, EP-Launch para procesar archivos de entrada y salida y realizar simulaciones por lotes, y EP-Compare para comparar gráficamente dos a uno o más resultados. simulaciones Además, EnergyPlus ofrece varias interfaces gráficas completas. El DOE utiliza el paquete de aplicaciones y el paquete de desarrollo de software OpenStudio [43] para realizar la mayor parte de su trabajo con EnergyPlus.

2.5 Eficiencia energética

La energía ha estado involucrada en diversos procesos a lo largo de la historia humana, desde la creación de alimentos hasta las industrias manufactureras y de la construcción que utilizan la energía de una forma u otra para llevar a cabo estas actividades o productos. Sin embargo, se entiende como un recurso natural más que como un producto que puede ser aprovechado y suplir determinadas necesidades cuando se presta un servicio. Las propiedades de la energía surgen de cómo las fuerzas gravitatorias, electromagnéticas y nucleares interactúan con la materia. Se manifiestan cuando se intercambia energía entre diferentes sistemas. La energía tiene dos formas básicas: la energía cinética, que es el resultado del movimiento, y la energía potencial, que relaciona el estado de un sistema con el estado de otro sistema y las fuerzas que existen entre ellos. Además, la energía se puede transferir, almacenar o distribuir. Todo dependerá de la fuente de donde se obtenga y del tipo de energía que se utilice en el futuro.

La eficiencia energética se considera como un conjunto de acciones que permiten optimizar la cantidad de energía consumida en relación con los servicios y productos obtenidos. Inicialmente, el consumo de energía se determinó según el tipo de uso del edificio, ya que el rendimiento, el equipamiento interno, la duración del uso y el tipo de uso difieren según el tipo de edificio. Existen normas que definen los requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios, su diseño, construcción, planes de operación y mantenimiento y el uso de energías renovables locales. Uno de esos estándares internacionales es ASHRAE 90.1-2010, que define los requisitos y criterios para determinar el cumplimiento de la eficiencia energética:

- Edificios nuevos y sus sistemas
- Nuevas piezas de construcción y sus sistemas.
- Nuevos sistemas y equipos en edificios existentes.
- Los sistemas para nuevas instalaciones o edificios se especifican específicamente en la norma como parte de un proceso industrial o de fabricación.

ASHRAE 90.1 2010 se aplica a complejos residenciales de más de cuatro pisos. La norma no se aplica a los "edificios de poca altura", que se definen como viviendas unifamiliares, casas móviles y otros edificios residenciales de menos de cuatro pisos. No es adecuado para casas móviles, casas modulares o edificios que utilizan electricidad o combustibles fósiles [44]. En algunos casos, la evaluación de ciertos tipos o materiales de construcción encontrará excepciones y se deben cumplir los requisitos estándar. El estándar se divide en 12 partes y 7 anexos para respaldar los estándares anteriores. Los apartados 1, 2, 3, 4 y 12 son administrativos y buscan encontrar el objeto, definiciones, alcance y disposiciones aplicables al documento. Desde los apartados 5 al 11 se encuentran los requisitos mínimos y sus componentes técnicos que permiten una evaluación

adecuada de los edificios para determinar su desempeño energético. Algunos certificados importantes son:

- ISO 50001 Gestión de la eficiencia energética
- EN 16247 Verificación de auditoría energética
- EA 0045 Planes de negocio (PNPSE)
- EA 0044 Sostenibilidad energética en CPD
- EA 0050 Conducción eficiente
- UNE 216701 Proveedores de servicios energéticos
- EN 16247 Verificación de auditoría energética
- EA 0045 Planes de negocio (PNPSE)
- STANDARD ASHRAE 100-2015
- NOM-008-ENER-2001
- NOM-020-ENER-2011

Capítulo 3 : Metodología de simulaciones

3.1 Caso de estudio con el software Energy Plus

En las instituciones académicas las aulas que consumen más energía son los centros de cómputo, en la mayoría de los casos no se realiza un estudio adecuado para tener la mayor eficiencia de estas instalaciones por lo tanto se tiene un cierto déficit en el consumo eléctrico y a la vez de confort térmico. En el presente reporte de investigación se buscar reducir los consumos de energía en el laboratorio de estudio, y mejorar las condiciones térmicas del espacio ocupado por los estudiantes, así como de la oficina adjunta al centro de cómputo.

Se ha encontrado diversas herramientas computacionales energéticas que permiten establecer el consumo de energía de edificaciones a partir de modelos arquitectónicos detallados, tomando en cuenta información sobre equipamientos incluidos computadoras, aires acondicionados luminarias etc. De esta forma, es posible modificar los modelos buscando un funcionamiento más eficiente de las edificaciones, de forma previa a su construcción.

Un de las mejores herramientas computacionales usadas para este fin es EnergyPlus, se ha encontrado que es un programa de simulación de energía de todo el edificio, que diversos profesionales como ingenieros, arquitectos e investigadores utilizan para modelar tanto el consumo de energía calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, cargas de proceso y no reguladas como el uso del agua en los edificios.

3.1.1 Funcionamiento del Software EnergyPlus

El software Energy Plus que es un motor de calculo que se emplea para ejecutar simulaciones energéticas de edificios se trata de una colección estructurada de módulos analíticos que evalúan los diferentes modelos asociados de un inmueble, los módulos analíticos fueron desarrollados por investigadores por instituciones privadas y gubernamentales por todo el mundo, mediante estos procedimientos es posible tomar datos de entrada descriptivo altamente detallada de un edificio y generar los datos de las condiciones térmicas del edificio y de sus alrededores, energy plus realiza 2 tipos de simulaciones la simulación de balance masa y calor y simulación de sistemas del edificio como se muestra en la figura 4.



Figura 4 Tipos de simulación de Energy plus (Figura propia)

3.1.2 Geometría Energy Plus

Se construyó la geometría en 3d utilizando las herramientas de open studio y de energy plus a través del software sketch up se realizó de un centro de cómputo para fines académicos en el cual debe tener 20 computadoras 8 ventanas y contar con una oficina y contar con 2 computadoras, así como tener un sistema de HVAC.

Al comienzo se debe tener el espacio del centro de cómputo que es de 10m x 6m y conjuntamente el espacio de la oficina de 3m x 3m.

Con la herramienta de open studio se realiza la elevación seleccionando el área del centro de cómputo y de la oficina e indicando que sea de 3m de alto.

Se inicia con el centro de cómputo y se selecciona para construir la puerta principal de 2.5m x 1m con la herramienta de sketch up y a su vez las 8 ventanas de 1m x 2m, así como la puerta hacia la oficina de 2.5m x 1m y los espacios de las computadoras de 0.8m x 0.5m de cada computadora y el espacio del profesor y su computadora de 1m x 1.3m como se muestra en la Figura (5).

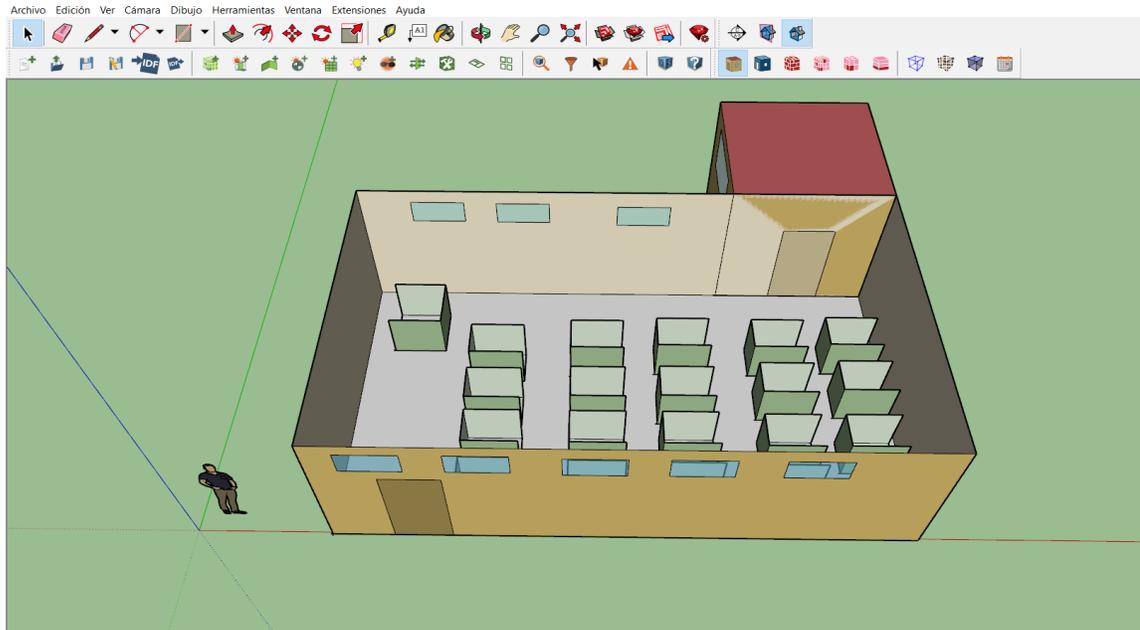
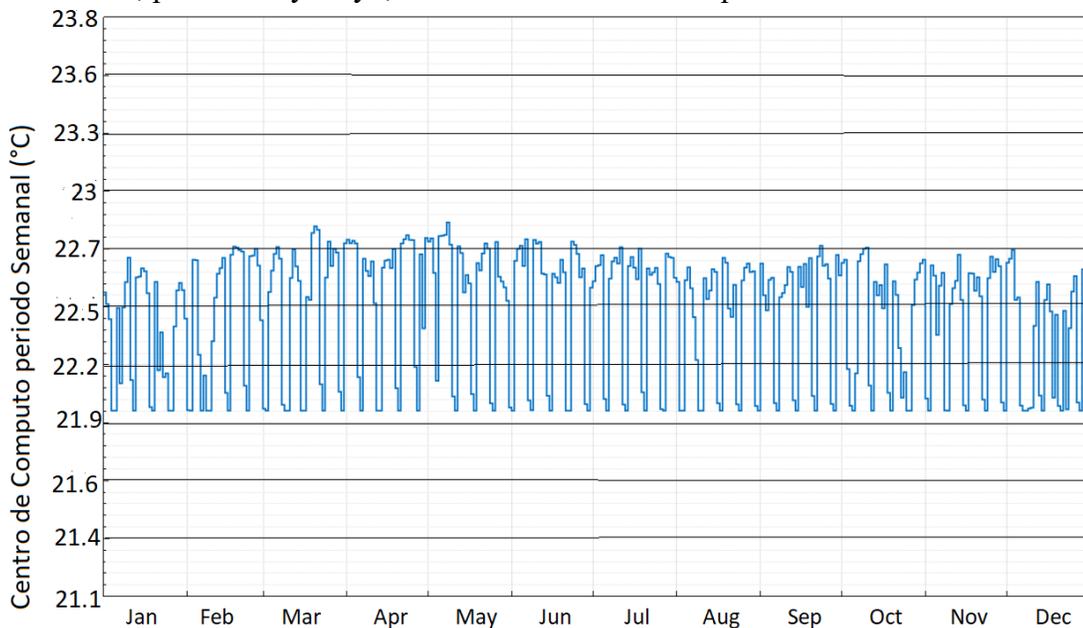


Figura 5 espacio del aula de computo

3.1.3 Resultados de la practica Energy Plus

Una vez terminada la simulación y verificando que no haya error obtendremos un reporte de la geometría realizada, así como graficas a detalle.

En la primera grafica de la Grafica 1 se presenta el comportamiento de la temperatura del aire en el área para estudiantes del centro de cómputo, esto durante el periodo de enero a diciembre del año 2020 en Pachuca de Soto Hidalgo. Cabe mencionar que esta área esta acondicionada con un HVAC. En la sección lateral de la figura 7 se muestra el rango de temperaturas que se alcanzó, el cual estuvo variando aproximadamente de 21°C hasta los 22.8°C y se pudo observar que, en algunas semanas, por marzo y mayo, se obtuvo la máxima temperatura.



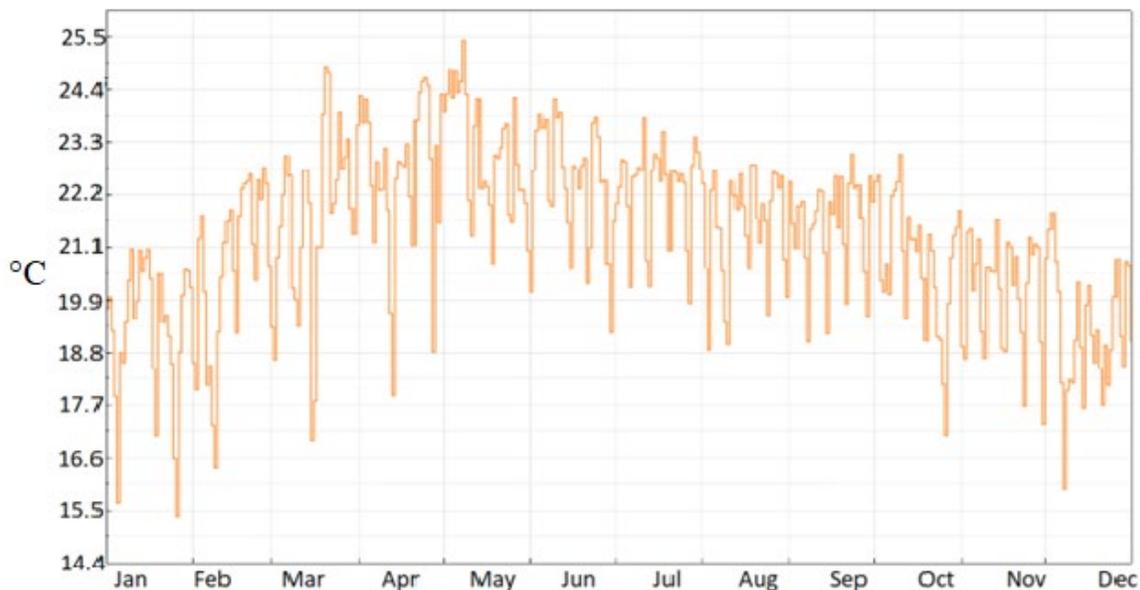
Grafica 1 Temperatura del aire en el centro de cómputo aproximado en un periodo semanal

En la Grafica 2 se presenta el comportamiento de la temperatura del aire en el área para estudiantes del centro de cómputo acomodado ahora en un promedio mensual y cabe destacar que en el año 2020 en el centro de cómputo que las mayores temperaturas fueron en abril y mayo con unas temperaturas promedio de 22.6 grados Celsius y se puede observar que enero y diciembre fueron los meses con menor temperatura promedio con 22.4 grados Celsius.



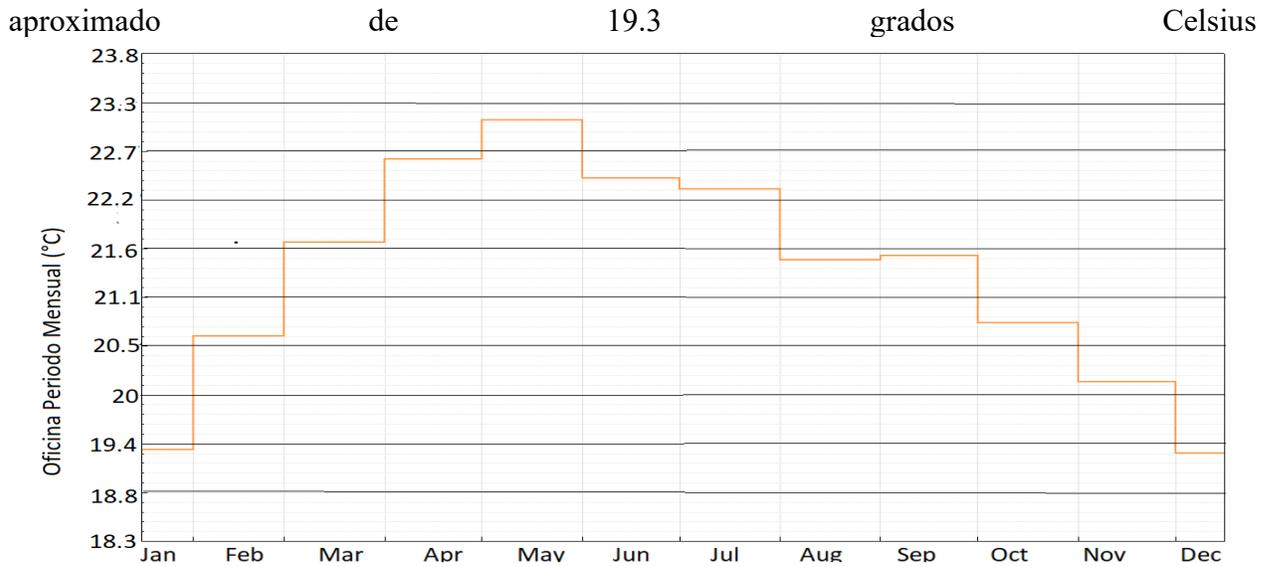
Grafica 2 Temperatura del aire en el centro de cómputo aproximado en un periodo mensual

Como se observa en la Grafica 3 nos da los datos en forma de grafica de la temperatura del aire en la oficina adjunta al centro de cómputo esta oficina no está acondicionada por lo que se puede observar que existe una variación mucho más significativa en las temperaturas semanales de aproximadamente de 15.4 grados Celsius hasta los 25.4 grados Celsius a lo largo del periodo de enero a diciembre.



Grafica 3 Temperatura del aire interior

Con la gráfica de la Grafica4 se acomodó las temperaturas mensualmente y se observa que el mes con mayor temperatura en la oficina fue en mayo con una temperatura promedio aproximada de 23 grados Celsius contrariamente en el mes de enero y diciembre fue la temperatura más baja con un



Grafica 4 Temperatura del aire en la oficina aproximado en un periodo mensual

Como puedes observar en la Figura 6 y la Figura 7, un mapa de calor de las 24 horas del día en el periodo de enero a diciembre del año 2020 arroja una imagen en la que es posible distinguir distintos tonos de colores en función de la relevancia de la zona.

Normalmente, siempre se utilizan colores cálidos para su representación, que suele seguir el siguiente criterio:

Tonos rojos, naranjas y amarillos para las zonas con mayor temperatura. Cuanto mayor sea su intensidad mayor temperatura hubo en esa hora del día.

Tonos verdes y azules para las zonas con menor Temperatura general.

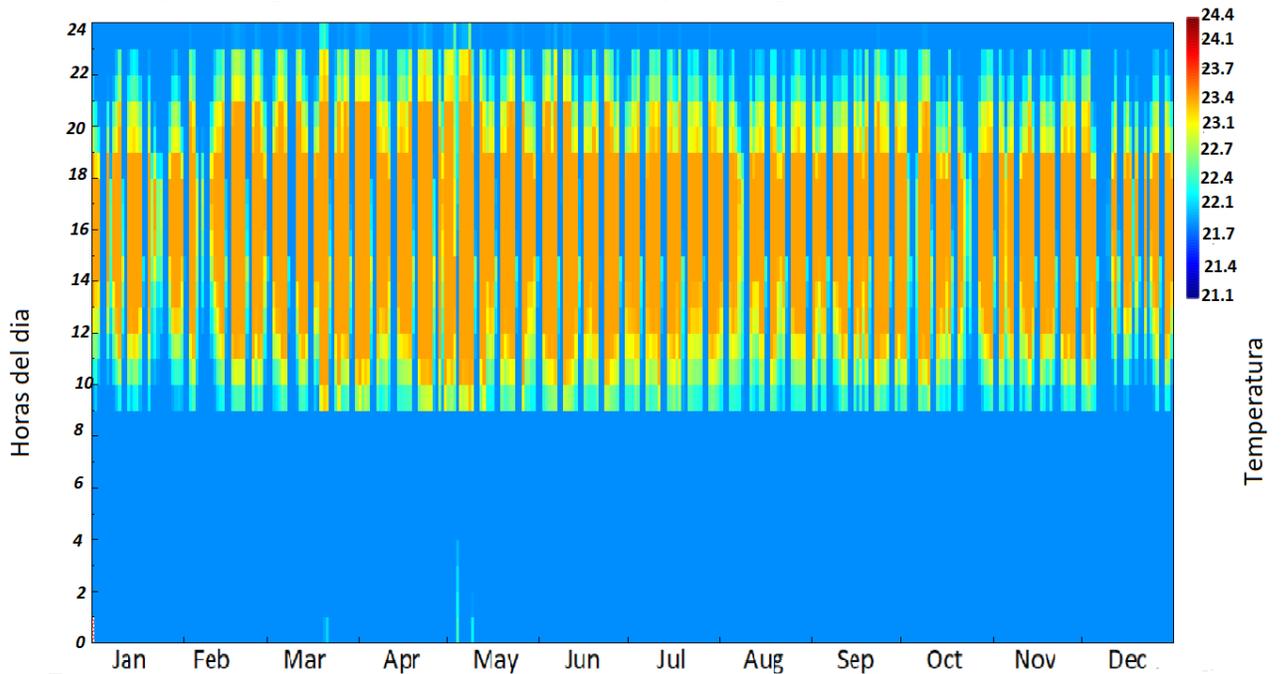


Figura 6 mapa de calor del centro de computo

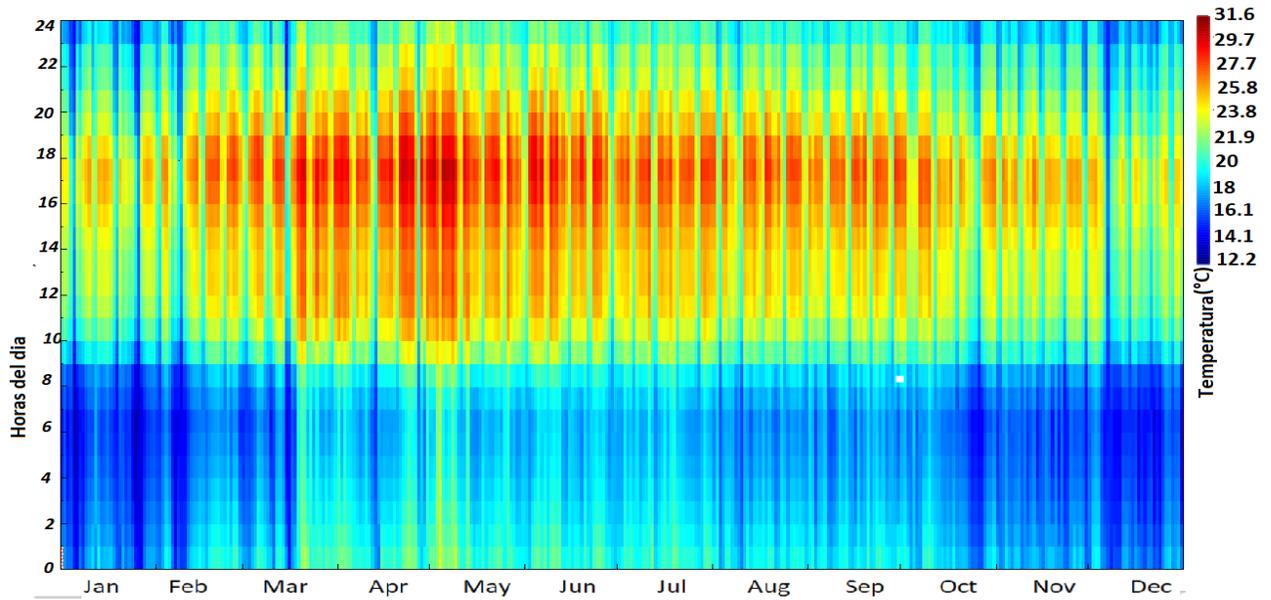
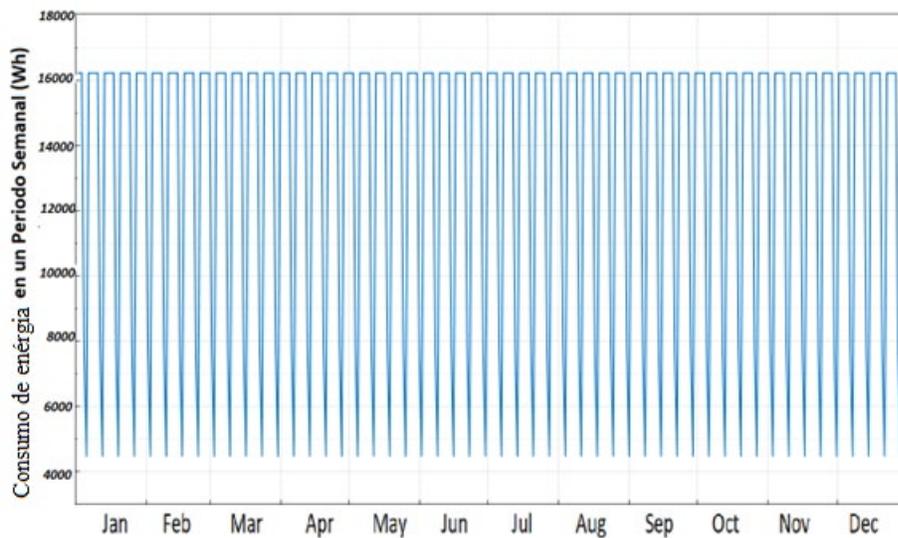


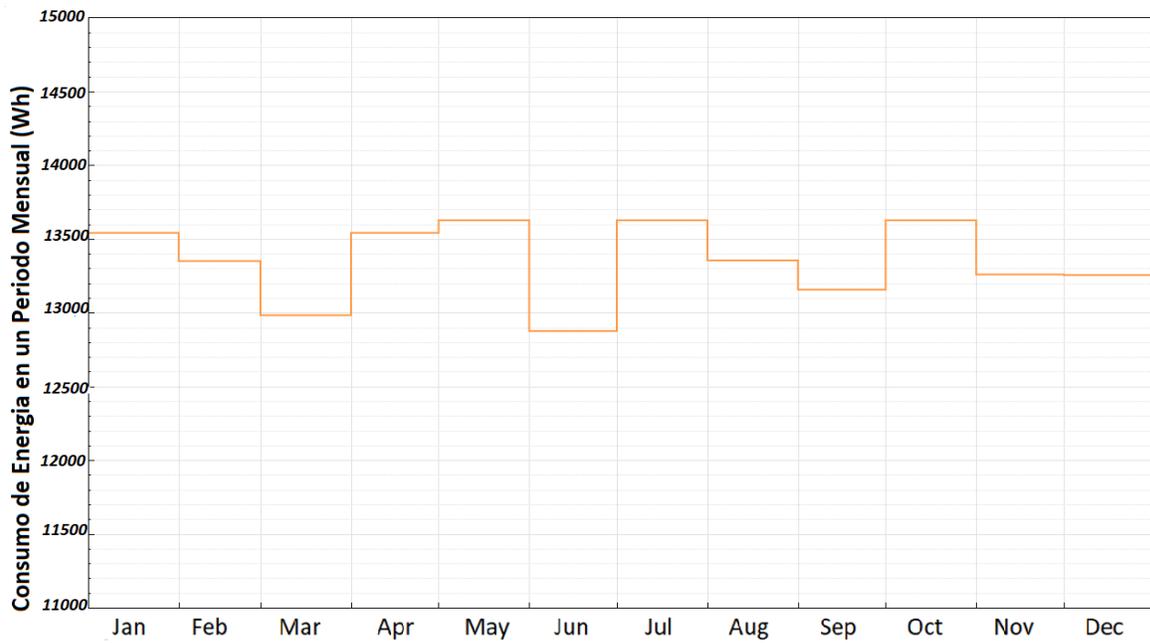
Figura 7 mapa de calor de la oficina

En la Grafica 5 se puede observar el consumo de energía promedio semanal total del edificio en el periodo de enero-diciembre y se puede observar fácilmente que varía desde los 4500(Wh) hasta los 16100(wh).



Grafica 5 consumo de energía promedio semanal total del edificio

En la Grafica 6 se muestra el consumo de energía promedio mensual total del edificio y se analiza que el mes de mayo junto con julio que fueron el de mayor temperatura tiene un mayor consumo con un promedio de 13600(Wh) y el de menor consumo fue junio con un promedio de 12900(Wh).



Grafica 6 consumo de energía promedio mensual total del edificio

3.1.4 Análisis de resultados de la propuesta

En la figura 8 y Figura 9 se agregaron 4 pequeñas ventanas que se pueden abrir al centro de cómputo y 2 a la oficina para agregar más ventilación y al estar cerca del suelo se puede tener una cierta ventilación cerca de los CPU de las computadoras por ende evitar que se calienten y que no entren a trabajar en su máxima potencia los ventiladores internos de cada computadora.

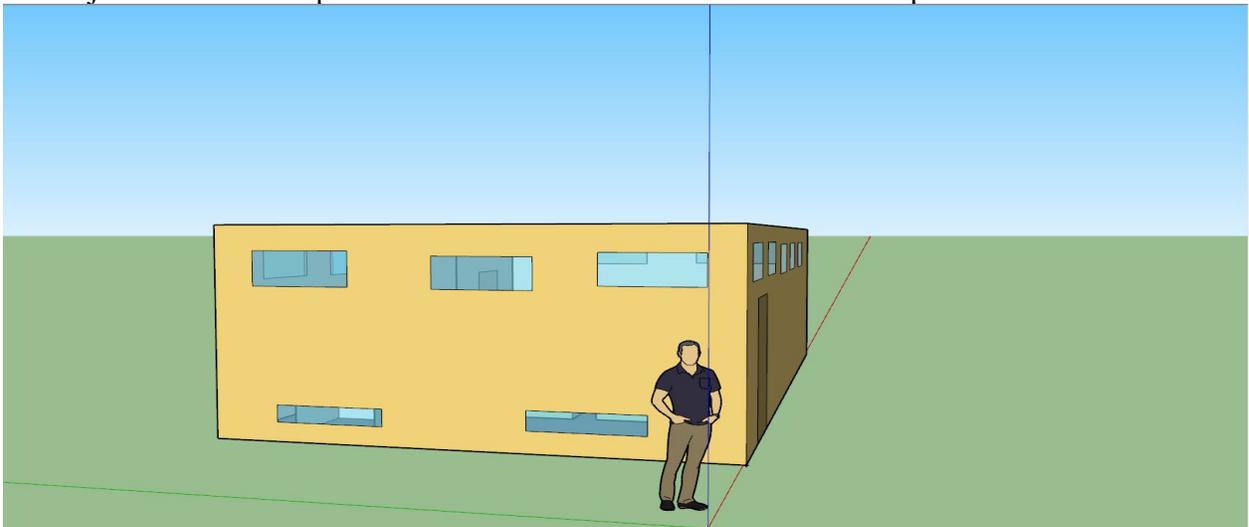


Figura 8 vista de 2 ventanas adicionales al centro de cómputo

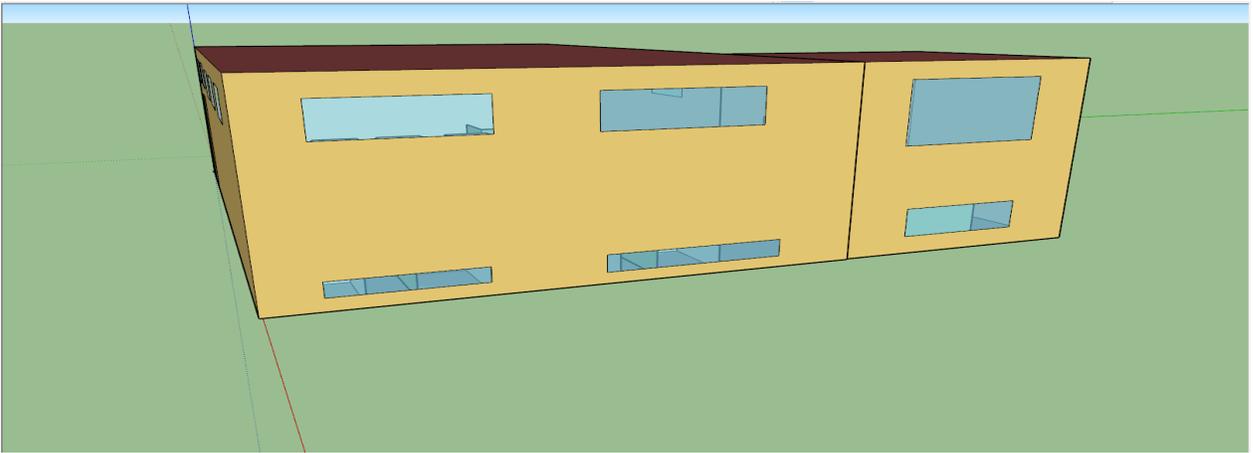
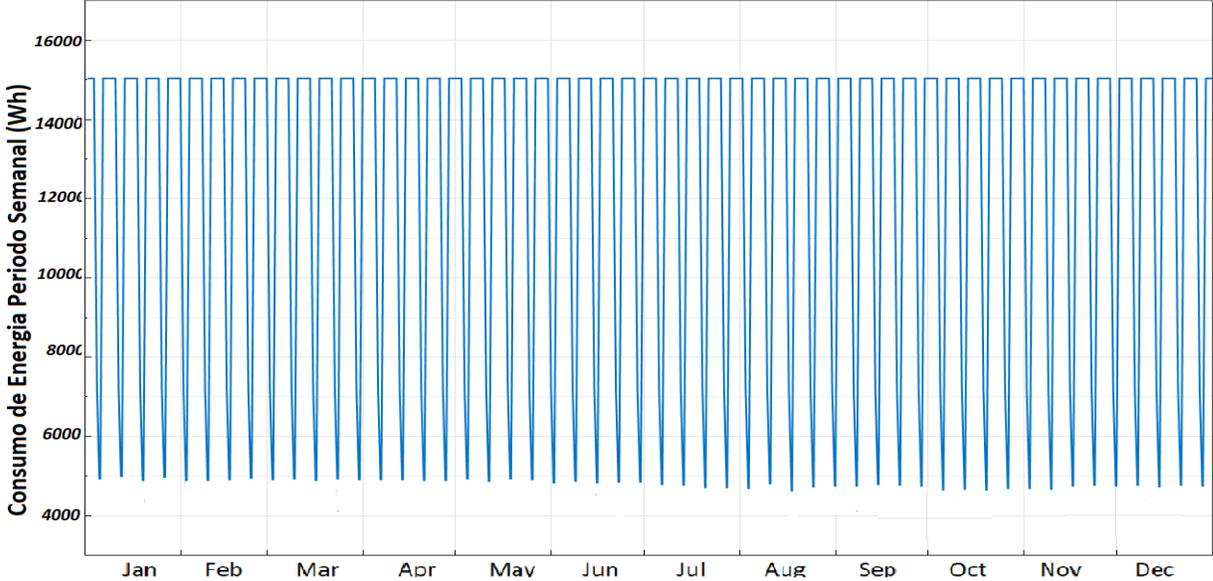


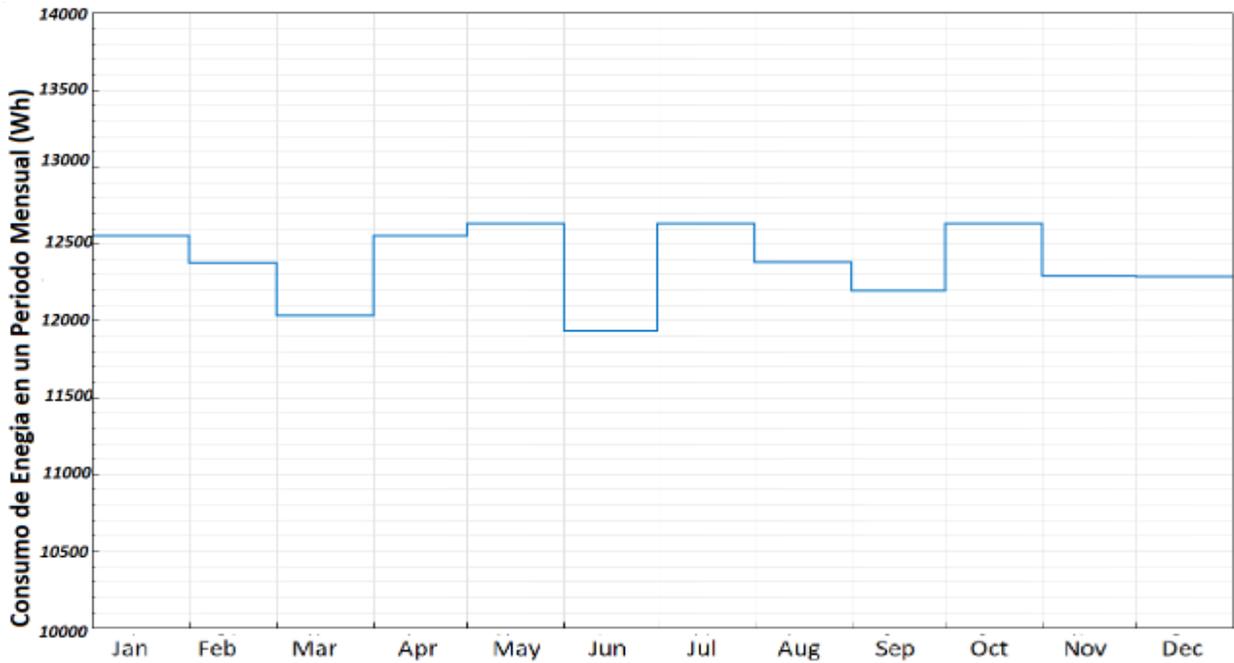
Figura 9 vista de las ventanas extras en el centro de cómputo y la oficina

En la Grafica 7 se muestra la gráfica del consumo de energía con las ventanas extras semanalmente en total del edificio en el periodo de enero a diciembre y se observa que va desde 4400(Wh) hasta los 14900(Wh) en promedio.



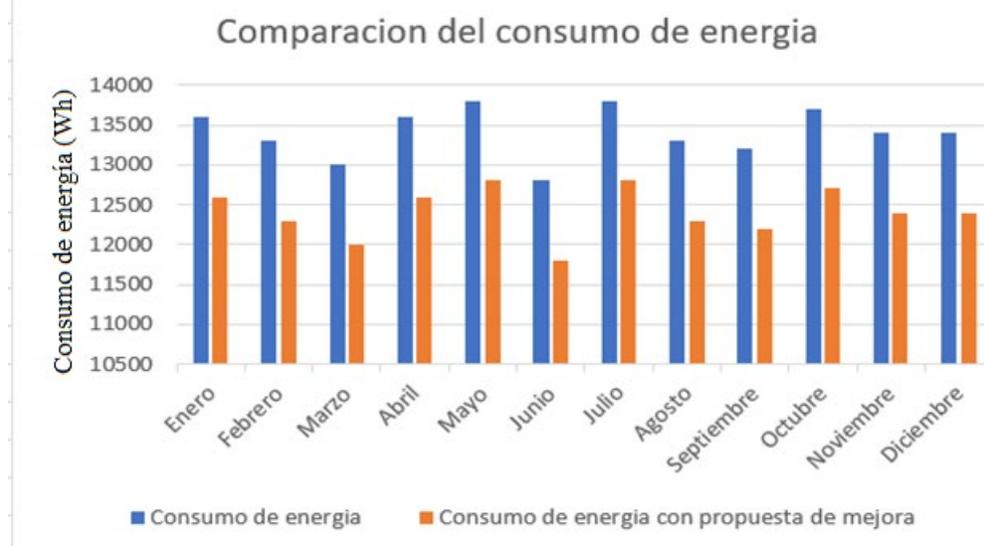
Grafica 7 consumo de energía con las ventanas extras semanalmente en total del edificio

En la Grafica 8 se muestra el consumo de energía con las ventanas extras mensualmente y se observa que existe una reducción pequeña pero significativamente los meses más calurosos y donde más energía se consumió ahora en promedio fue de 12800(Wh) y los meses con menor consumo de 12000(Wh) en promedio total del edificio.



Grafica 8 consumo de energía con las ventanas extras mensualmente

En la Grafica 9 se puede apreciar una gráfica comparativa del consumo de energía mensualmente del edificio de estudio del lado izquierdo el consumo del edificio sin la propuesta de mejora y en el lado derecho el consumo con la propuesta de mejora de las ventanas extra para una mejor ventilación y se demuestra que existe una reducción de 1000Wh al mes con la mejora.



Grafica 9 Grafica comparativa del consumo de energía mensualmente

3.2 Caso de Estudio con Cypetherm

Este ejemplo explica cómo diseñar una red de tuberías con CYPETHERM HVAC, desde el inicio de un modelo 3D hasta la generación del tamaño y resultados de la red de tuberías de un edificio industrial (lista de cálculo, plano y modelo 3D) utilizando el generador IFC y CYPETHER. software de climatización.

Constructores IFC. Es una aplicación gratuita de CYPE para la creación y mantenimiento de modelos IFC de edificios. IFC Builder es fácil de usar y accesible, integrado en el flujo de trabajo Open BIM a través de la plataforma BIMserver.center. También le permite modelar edificios manualmente.

Al crear proyectos, puede importar modelos CAD/BIM en formato IFC generados por programas CAD/BIM como Allplan®, Archicad® y Revit®. Permite a IFC Builder acceder a datos de programas con tecnología BIM (Building Information Modeling) e incluir automáticamente elementos de construcción de edificios.

Modelado arquitectónico en IFC Builder desde cero, con o sin plantillas o dibujos en formato DXF, DWG, JPEG o BMP. Utilice estas plantillas para simplificar la entrada manual de datos.

El usuario introduce la estructura del edificio y los elementos estructurales (porque está interesado en cálculos posteriores). El modelado se realiza capa por capa utilizando elementos 3D en un espacio de trabajo 2D.

CYPETHERM HVAC le permite diseñar sistemas de climatización (calefacción, ventilación y aire acondicionado), generar planos, cálculos, listas de materiales y presupuestos, lo que supone un importante ahorro en mano de obra y por tanto uniformidad en la documentación. El método de cálculo utilizado en cada elemento se detalla haciendo clic en el botón Verificar resultados en el panel de propiedades de cada elemento.

Los cálculos se realizan de acuerdo con las normas ASHRAE. Para suelo radiante, los cálculos y dimensiones del sistema se realizan de acuerdo con la norma UNE-EN 1264, tal y como se muestra en la Figura 10.

The screenshot shows the software interface with the following content:

Pérdida de presión lineal
La pérdida de presión lineal por fricción de un fluido que trascurre por un conducto puede calcularse mediante la ecuación de Darcy.

$$\frac{\Delta P_f}{L} = \frac{f \cdot P_v}{D_h}$$

Donde:

- $\Delta P_f/L$ Pérdida de presión lineal = 0.95 Pa/m
- f Factor de fricción = 0.0174
- P_v Presión dinámica = 23 Pa
- D_h Diámetro hidráulico = 427.8 mm

0.95 ≤ 0.95 Pa/m ✓
Ref: 'ASHRAE Duct Design'

Factor de fricción
Para flujo turbulento, el factor de fricción se puede obtener mediante la ecuación de Altshul-Tsal.

$$f' = 0.11 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

Donde:

- f Factor de fricción provisional = 0.0172
- f Factor de fricción definitivo = 0.0174
- ε Factor de rugosidad = 0.09 mm
- D_h Diámetro hidráulico = 427.8 mm
- Re Número de Reynolds = 177067

Número de Reynolds
Para aire estándar a una temperatura comprendida entre 4 y 38°C (o 40 y 100°F), el número de Reynolds se puede calcular

Acceptar

Figura 10 Cálculos de acuerdo a la ASHRAE Fuente: Cype.es

3.2.1 Geometría Cypetherm

Se construyo la geometría en 3d en el software IFC builder utilizando las herramientas que nos proporciona como nos muestra la figura 11 así como se observa el espacio de trabajo.

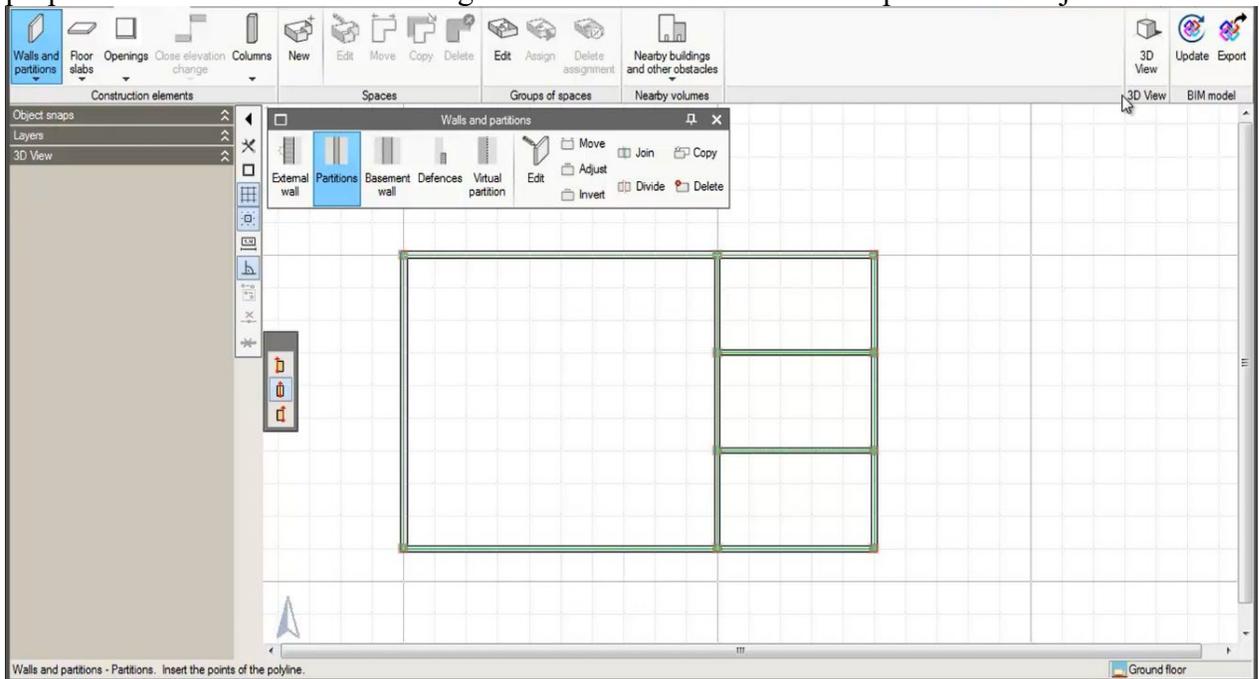


Figura 11 IFC Builder espacio de trabajo

En la Figura 12 se puede observar la vista en 3D para comprender mejor el área dibujada

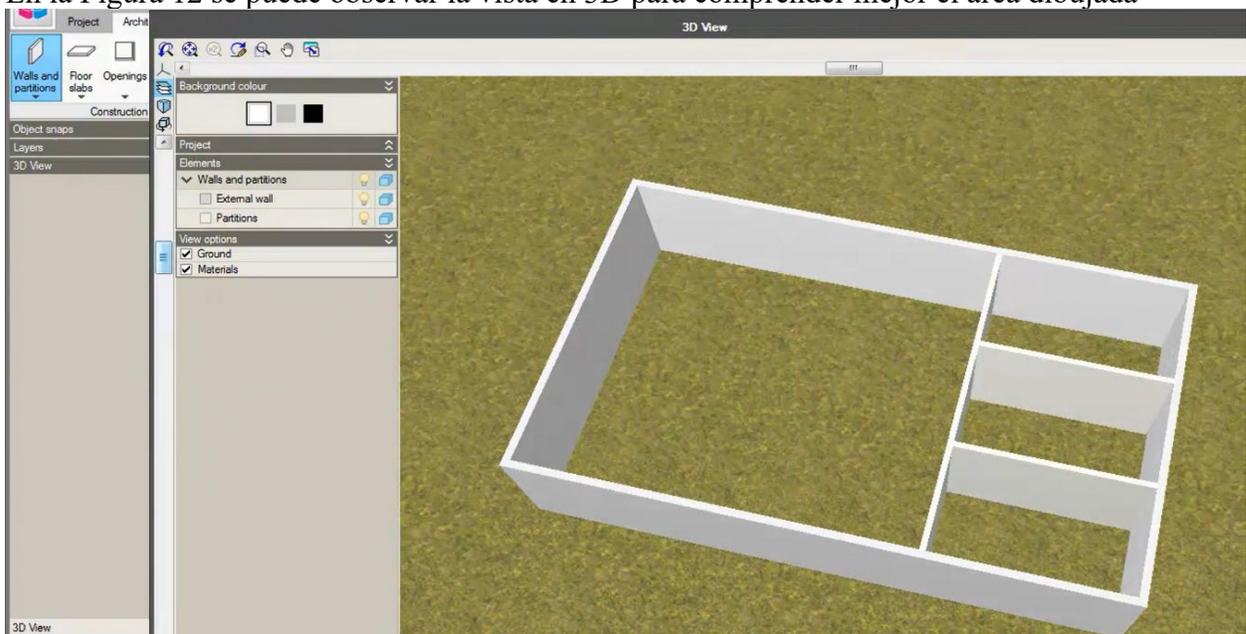


Figura 12 Vista en 3D

En la figura 13 se muestra cómo se exporto la geometría del ifc builder y se agregó todos los conductores, así como el retorno con sus rejillas para el caudal necesario, los difusores de 200 l/s también una red de ventilación primario para las oficinas con su rejilla de 29 l/s también cuenta

con una unidad interior de conductos cuyo modelo tiene un ventilador de 128 l/s con una red de conductos y sus difusores con un caudal de 79 l/s.

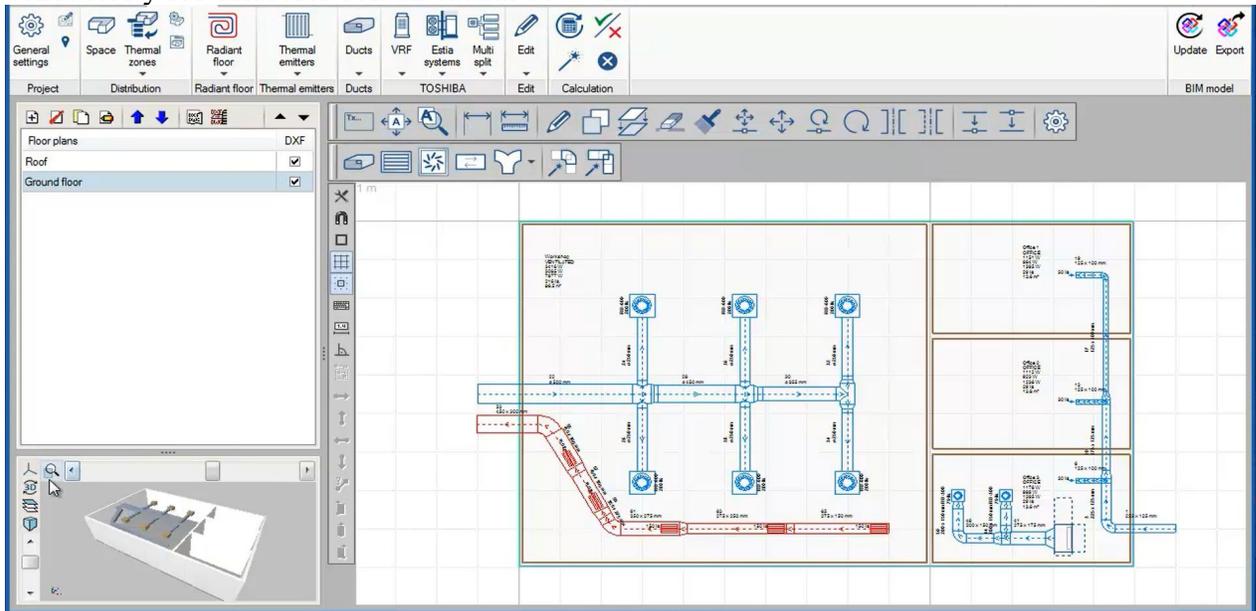


Figura 13 Red de conductos

3.2.2 Resultados Cypetherm

Una vez terminada la simulación y verificando que no haya error obtendremos unos reportes primero el que se muestra en la figura 14 que es el de los planos con la red de conductos ya sea en formato PDF o VGG.

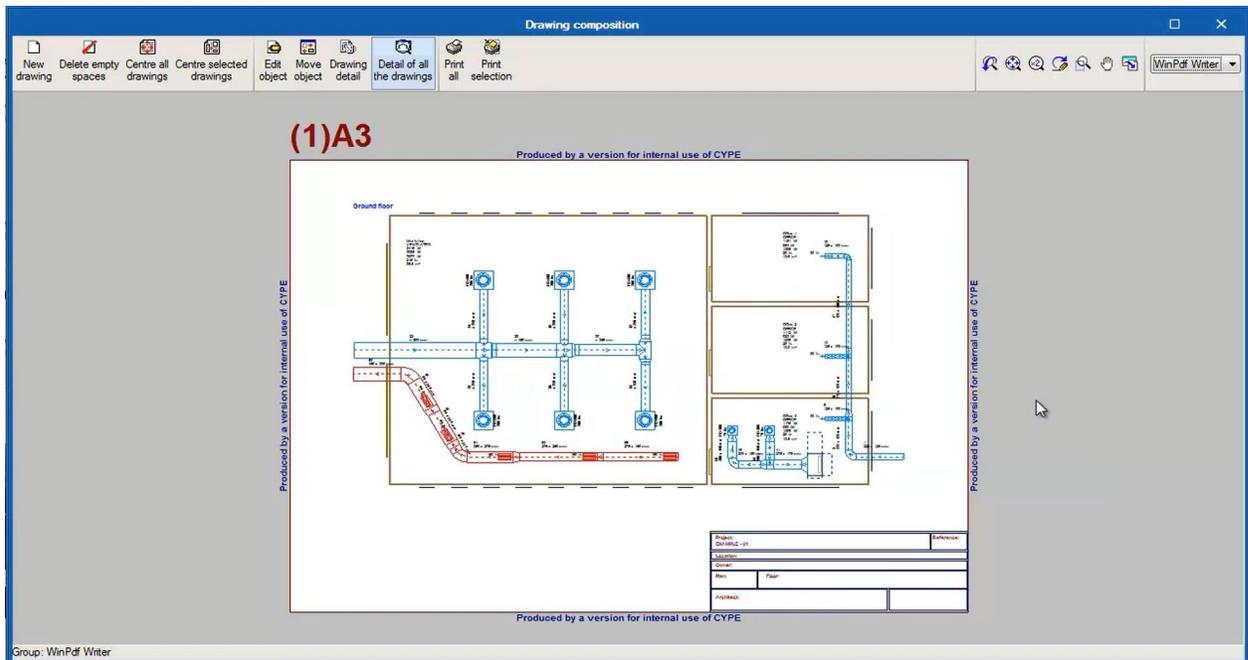


Figura 14 Planos del edificio

El siguiente reporte es el listado de conductos que contendrá todas las redes como se muestra en la Tabla 1 el software lo exporta en diferentes formatos el más común es el formato en pdf.

Tabla 1 Listado de conductos.

Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material
					Anchura	Altura						
1 - 5	1	Tramo recto	1200	218.6	200.0	200.0	30.00	4.00	47.45	190	298	Chapa galvanizada
	2	Tramo recto	800	218.6	200.0	200.0	20.00	2.50	21.67	54	108	Chapa galvanizada
	3	Tramo recto	400	218.6	200.0	200.0	10.00	2.50	5.82	15	54	Chapa galvanizada
	4	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	2.05	1.62	3	39	Chapa galvanizada
	5	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	36	-
3 - 7	3	Tramo recto	400	218.6	200.0	200.0	10.00	2.50	5.82	15	54	Chapa galvanizada
	6	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	1.99	1.62	3	39	Chapa galvanizada
	7	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	36	-
2 - 9	2	Tramo recto	800	218.6	200.0	200.0	20.00	2.50	21.67	54	108	Chapa galvanizada
	8	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	2.03	1.62	3	54	Chapa galvanizada
	9	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	51	-
2 - 11	2	Tramo recto	800	218.6	200.0	200.0	20.00	2.50	21.67	54	108	Chapa galvanizada
	10	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	1.88	1.62	3	54	Chapa galvanizada
	11	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	51	-
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material
1 - 13	1	Tramo recto	1200	218.6	200.0	200.0	30.00	4.00	47.45	190	298	Chapa galvanizada
	12	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	2.06	1.62	3	108	Chapa galvanizada
	13	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	105	-
1 - 15	1	Tramo recto	1200	218.6	200.0	200.0	30.00	4.00	47.45	190	298	Chapa galvanizada
	14	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	2.00	1.62	3	108	Chapa galvanizada
	15	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	36	105	-
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material
16 - 23	16	Tramo recto	750	218.6	200.0	200.0	18.75	1.97	19.14	38	96	Chapa galvanizada
	17	Tramo recto	750	218.6	200.0	200.0	18.75	0.84	19.14	16	59	Chapa galvanizada
	18	Tramo recto	600	218.6	200.0	200.0	15.00	1.44	12.49	18	43	Chapa galvanizada
	19	Tramo recto	450	218.6	200.0	200.0	11.25	0.65	7.25	5	25	Chapa galvanizada
	20	Tramo recto	450	218.6	200.0	200.0	11.25	0.98	7.25	7	20	Chapa galvanizada
	21	Tramo recto	300	218.6	200.0	200.0	7.50	2.00	3.41	7	13	Chapa galvanizada
	22	Tramo recto	150	218.6	200.0	200.0	3.75	3.15	0.96	3	6	Chapa galvanizada
	23	Rejilla de retorno	150	-	-	-	-	-	-	3	3	-
	21 - 24	21	Tramo recto	300	218.6	200.0	200.0	7.50	2.00	3.41	7	13

	24	Rejilla de retorno	150	-	-	-	-	-	-	3	6	-	
20 - 25	20	Tramo recto	450	218.6	200.0	200.0	11.25	0.98	7.25	7	20	Chapa galvanizada	
	25	Rejilla de retorno	150	-	-	-	-	-	-	3	13	-	
18 - 26	18	Tramo recto	600	218.6	200.0	200.0	15.00	1.44	12.49	18	43	Chapa galvanizada	
	26	Rejilla de retorno	150	-	-	-	-	-	-	3	25	-	
17 - 27	17	Tramo recto	750	218.6	200.0	200.0	18.75	0.84	19.14	16	59	Chapa galvanizada	
	27	Rejilla de retorno	150	-	-	-	-	-	-	3	43	-	
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material	
					Anchura	Altura							
28 - 33	28	Tramo recto	90	218.6	200.0	200.0	2.25	2.04	0.38	1	9	Chapa galvanizada	
	29	Tramo recto	90	218.6	200.0	200.0	2.25	1.25	0.38	0	9	Chapa galvanizada	
	30	Tramo recto	60	218.6	200.0	200.0	1.50	2.50	0.19	0	8	Chapa galvanizada	
	31	Tramo recto	30	218.6	200.0	200.0	0.75	3.11	0.05	0	8	Chapa galvanizada	
	32	Tramo recto	30	218.6	200.0	200.0	0.75	0.89	0.05	0	7	Chapa galvanizada	
	33	Rejilla de impulsión	30	-	-	-	-	-	-	7	7	-	
30 - 35	30	Tramo recto	60	218.6	200.0	200.0	1.50	2.50	0.19	0	8	Chapa galvanizada	
	34	Tramo recto	30	218.6	200.0	200.0	0.75	0.96	0.05	0	8	Chapa galvanizada	
	35	Rejilla de impulsión	30	-	-	-	-	-	-	7	8	-	
29 - 37	29	Tramo recto	90	218.6	200.0	200.0	2.25	1.25	0.38	0	9	Chapa galvanizada	
	36	Tramo recto	30	218.6	200.0	200.0	0.75	0.95	0.05	0	8	Chapa galvanizada	
	37	Rejilla de impulsión	30	-	-	-	-	-	-	7	8	-	
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material	
					Anchura	Altura							
38 - 41	38	Tramo recto	158	218.6	200.0	200.0	3.95	1.48	1.42	2	86	Fibra de vidrio	
	39	Tramo recto	79	218.6	200.0	200.0	1.98	1.21	0.37	0	84	Fibra de vidrio	
	40	Tramo recto	79	218.6	200.0	200.0	1.98	0.90	0.37	0	83	Fibra de vidrio	
	41	Difusor de impulsión	79	-	-	-	-	-	-	83	83	-	
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material	
					Anchura	Altura							
38 - 43	38	Tramo recto	158	218.6	200.0	200.0	3.95	1.48	1.42	2	86	Fibra de vidrio	
	42	Tramo recto	79	218.6	200.0	200.0	1.98	0.90	0.37	0	84	Fibra de vidrio	
	43	Difusor de impulsión	79	-	-	-	-	-	-	83	83	-	

El tercer y último reporte que nos proporciona es el listado de materiales como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Materiales.

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
007.001	m ²	Conducto rectangular. Material: Chapa galvanizada	35.72
007.001b	m ²	Conducto rectangular. Material: Fibra de vidrio	4.49
007.003	Ud	Difusor de impulsión (DIFFUSER 300x8), 300 x 300 mm	2
007.003b	Ud	Difusor de impulsión (RD-600), 500 x 500 mm	6
007.003c	Ud	Rejilla de impulsión, 125 x 125 mm	3
007.003d	Ud	Rejilla de retorno, 400 x 200 mm	5

Capítulo 4 Resultados y Análisis

4.1 Investigación del edificio de estudio

La investigación se llevó a cabo en el centro de cómputo ubicado en el Instituto Tecnológico de Pachuca, como se muestra en la figura 15, el edificio es de 2 pisos en el cual el primer piso se divide en dos oficinas, tres aulas, un centro de máquinas, 2 baños y las escaleras en el segundo piso esta dividido en tres aulas, 1 bodega, seis oficinas, y los 2 baños



Figura 15 Centro de computo

En el primer piso se encuentra una pequeña oficina de secretaria con una computadora y una impresora, así como un total de 12 luminarias a la vista como se muestra en la Figura 16.



Figura 16 Interior Primer piso

En la oficina principal de jefatura del centro de cómputo se encuentra 1 computadora una impresora y un aire acondicionado el cual es obsoleto y no funciona, ocho luminarias y cuatro contactos



Figura 17 Oficina de jefatura

También en el primer piso se encuentra otra oficina donde se encuentran seis computadoras cuatro impresoras, seis luminarias, ocho contactos dobles, y un aire acondicionado el cual ya no funciona



Figura 18 Oficina de administración

En la sala de video conferencias en el primer piso cuenta con seis luminarias, cuatro contactos



Figura 19 Sala de video conferencia

El salón de audiovisual cuenta con un aire acondicionado funcional de la marca York by Jonhson control de 230Va.c. a 30Hz trifásico con una capacidad de enfriamiento de 9073Kcal/h, 10.55Kw, 36000 Btu/h y con un consumo de energía en el enfriamiento de 3685 Kw también cuenta con una función de calentamiento de 9350 Kcal/h. 10.87Kw y con un consumo al calentar de 3.75Kw



Figura 20 Aire acondicionado del aula audiovisual



Figura 21 especificaciones del aire acondicionado

El centro de máquinas también llamado site cuenta con doce computadoras, diez luminarias, una impresora, dieciséis contactos dobles y tres aires acondicionados en el cual dos no funcionan.



Figura 22 Área de maquinas conocida como SITE

El aire acondicionado funcional es de la marca Mirage de 24000 Btu/h, con un consumo de 2000Wh, 9.6A, y que utiliza el refrigerante R22 1620g

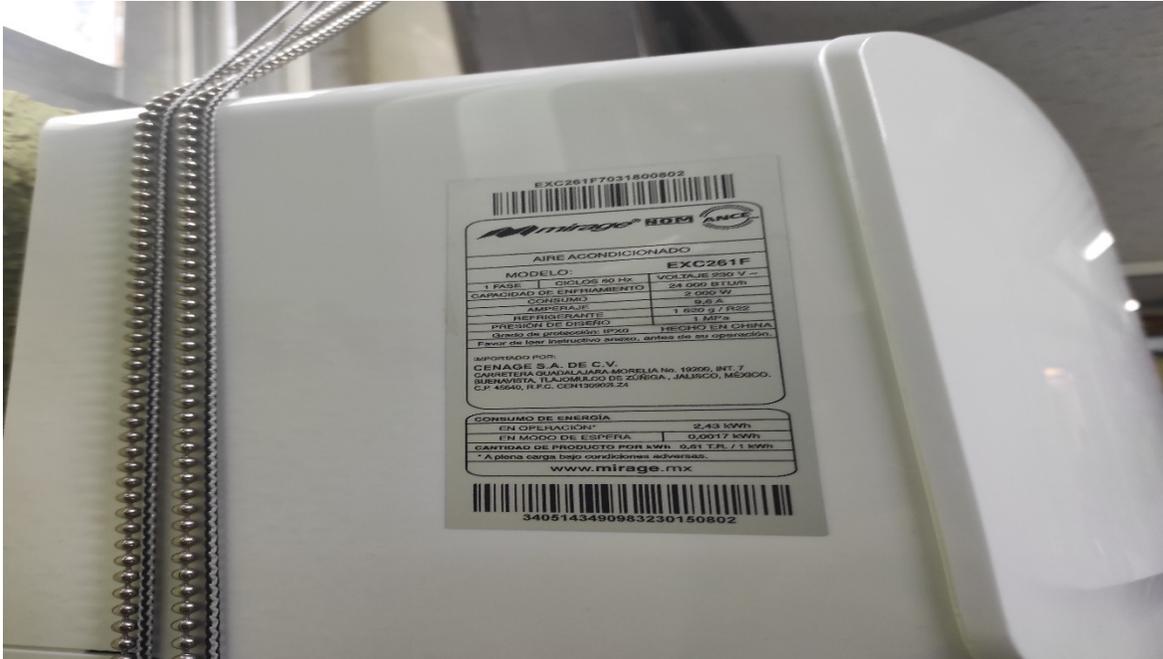


Figura 23 Aire Acondicionado Site

El aula principal del primer piso llamado sala de consulta general cuenta con treinta computadoras, nueve luminarias, treinta y tres contactos, y un proyector

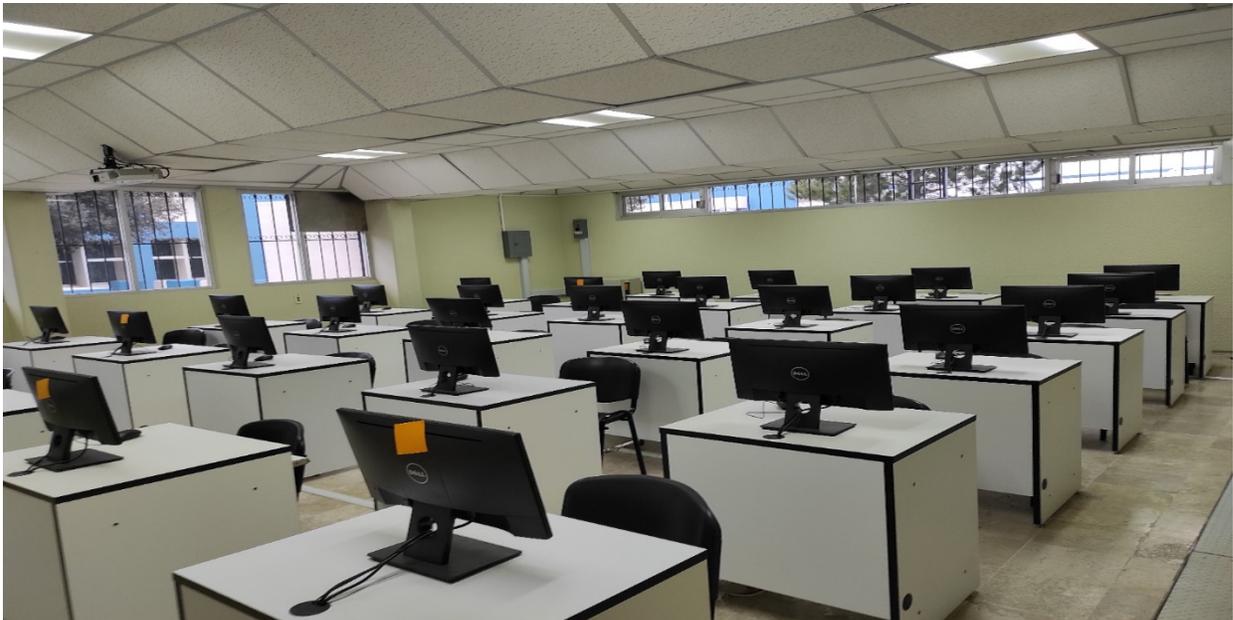


Figura 24 Vista General Sala de Consulta

También cuenta con un aire acondicionado funcional es de la marca Mirage de 24000 Btu/h, con un consumo de 2000Wh, 9.6A, y que utiliza el refrigerante R22 1620g



Figura 25 Aire acondicionado de la sala de consulta general

En otra aula del primer piso se cuenta con dos computadoras, nueve luminarias, catorce contactos dobles, cuatro aires acondicionados de los cuales tres no funcionan.



Figura 26 Vista General Aula 2

El aire acondicionado funcional es de la marca prime con una capacidad de 18000Btu/h de corriente de 7.56A y una potencia de 1697.26W y utiliza el refrigerante R-22



Figura 27 Aire acondicionado del aula 2

En el segundo piso se encuentra el aula identificada como Aula ACCA el cual cuenta con 21 computadoras, nueve luminarias, cuarenta y dos contactos y dos aires acondicionados que ya no están en operación



Figura 28 Aula ACCA

En el segundo piso también se encuentra un espacio identificado como educación a distancia en el cual funciona también como oficinas y cuenta con siete computadoras, una impresora, ocho luminarias y un aire acondicionado sin funcionar



Figura 29 Educación a distancia

También se encuentra el aula BCCB en el segundo piso el cual por el momento no cuenta con ninguna computadora, pero se cuenta con el espacio para acomodar hasta

41 computadoras, cuenta con nueve luminarias, cuarenta y cinco contactos un aire acondicionado el cual no funciona.



Figura 30 Aula BCCB

En el segundo piso se encuentra el aula educación a distancia CCC el cual está sin uso, pero se puede contar con el espacio para acomodar un aproximado de veinte a veinticinco computadoras cuenta con nueve luminarias y diez contactos y un aire acondicionado sin funcionar



Figura 31 Aula CCC

En el segundo piso se encuentra la coordinación para educación a distancia el cual son 4 oficinas del mismo tamaño en el cual cuentan cada una con espacio para tener de una a dos computadoras, cuatro contactos, dos luminarias y en dos oficinas se cuenta con un aire acondicionado sin funcionar



Figura 32 Cubiculos Educacion a distancia



Figura 33 Oficina coordinación para educación a distancia

Se recopiló la Información del primer piso en la siguiente tabla:

Tabla 3 Cantidad de equipos eléctricos y electrónicos de las áreas en el primer piso

Área	Luminarias	Computadoras	Contactos	Otros equipos	Aire Acondicionado
Sala Consulta General	9	30	33	3	1
Aula CC1 (Oficinas)	6	6	8	4	0
Aula CC2	9	1	14	4	1
Sala de Videoconferencias	6	0	3	1	1
Site	10	12	16	3	1
Jefatura del centro de computo	4	1	2	1	0

También se recopiló la información más importante del segundo piso en la siguiente tabla:

Tabla 4 Cantidad de equipos eléctricos y electrónicos de las áreas del segundo piso

Área	Luminarias	Computadoras	Contactos	Otros Equipos	Aire Acondicionado
Aula BCCB	9	0	41	0	0
Educación a Distancia	8	3	10	4	0
Aula ACCA	9	20	42	0	0
Almacén	2	0	1	0	0
Educación a Distancia CCC	6	0	19	0	0

De los datos recabados se llegó a la conclusión de que la mejor área para el estudio es la sala de consulta general en el primer piso por los diferentes equipos eléctricos y electrónicos.

4.1.2. Consumo de energía requerido

Utilizando la formula de la ecuacion (5) se calculo el consumo del area de estudio como se puede apreciar en la siguiente tabla

Potencia * Horas de uso * días del mes

Ecuacion (5)

Tabla 5 Consumo promedio del área seleccionada en un periodo mensual

Equipo	Consumo por mes
Computadoras	19800 Wh
Luminarias	4300 Wh
Aire Acondicionado	6000 Wh
Otros equipos	1200 Wh
Total	31300 Wh

4.2. Simulación en el edificio de estudio con el software Energy Plus.

Se realizo el modelo en 3d del edificio en el software de openstudio a traves del software sketch up.

En el cual se dividio en los 2 pisos asi como tambien en las 17 zonas.

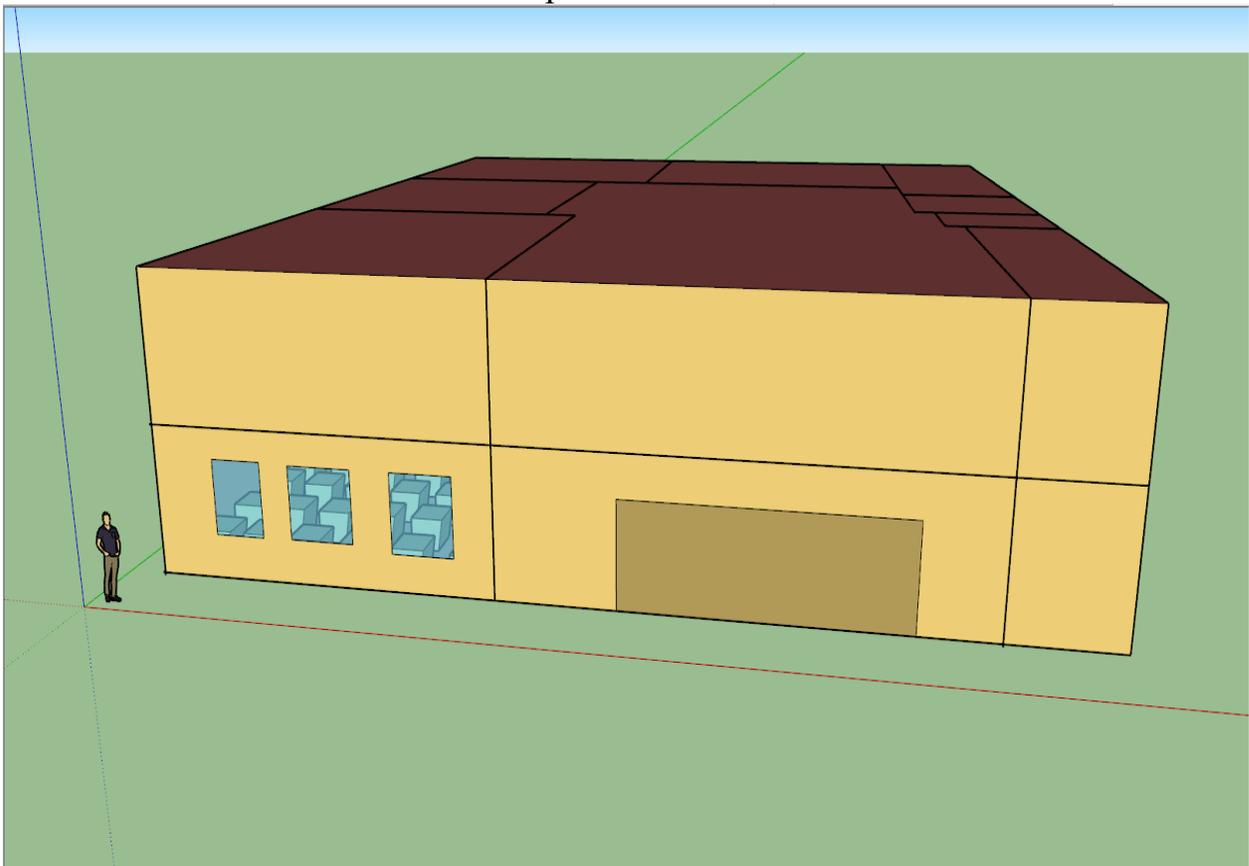


Figura 34 Modelo 3D del centro de computo

Luego se realizo el modelado de area de interes que es la sala de consulta general en el cual se muestra en la figura 35 que cuenta con 30 computadoras un pizarron electronico asi como tambien con el aire acondicionado y luminarias

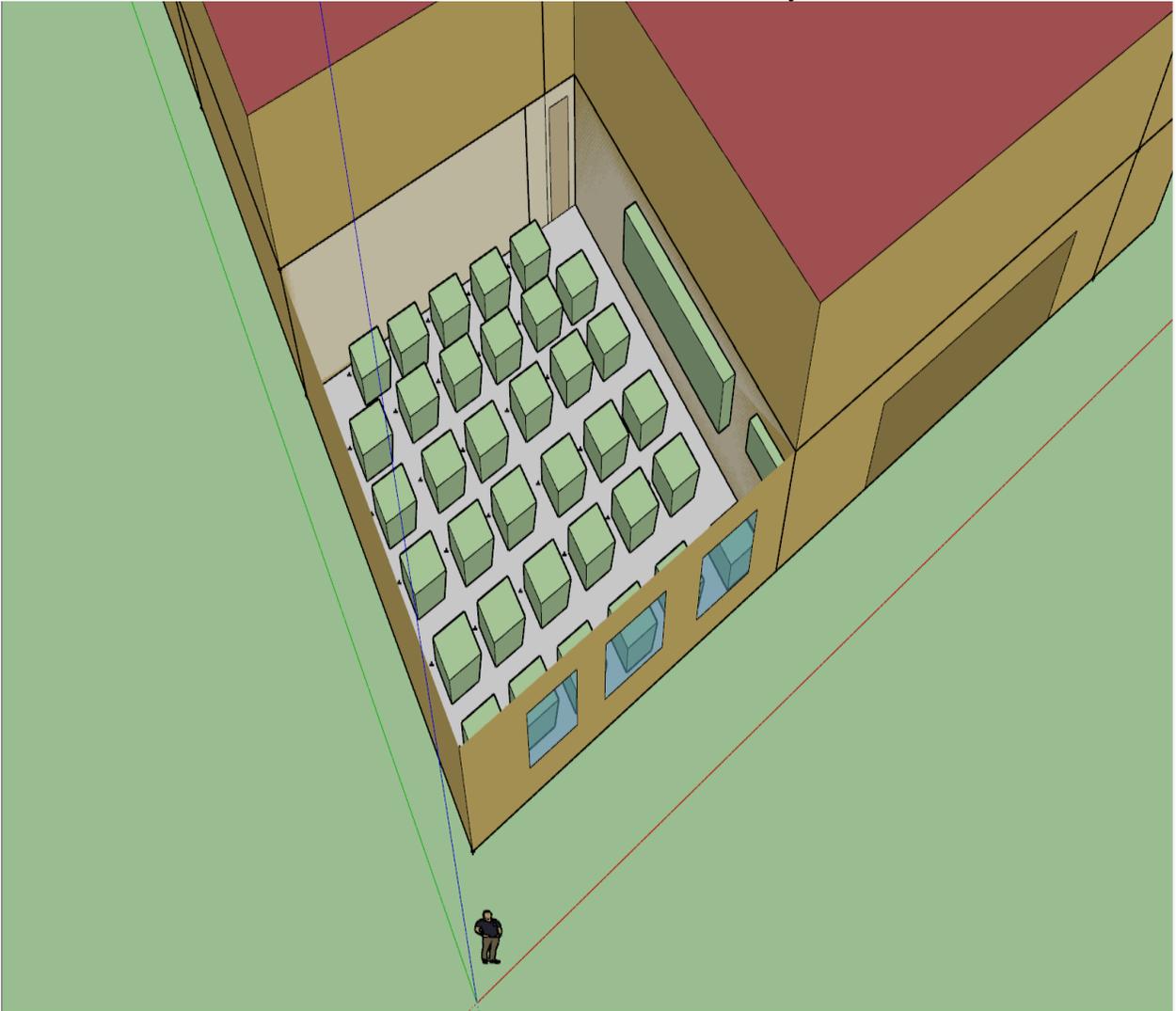


Figura 35 Modelo en 3D del área de estudio

Se dividió las zonas térmicas del edificio para tener un mejor análisis de las cargas así como también para que el software tenga una mejor comprensión del área deseada y pueda realizar los cálculos más precisos así como se muestra en la figura 36 en la que las diferentes áreas cuentan con un diferente color de identificación térmica.

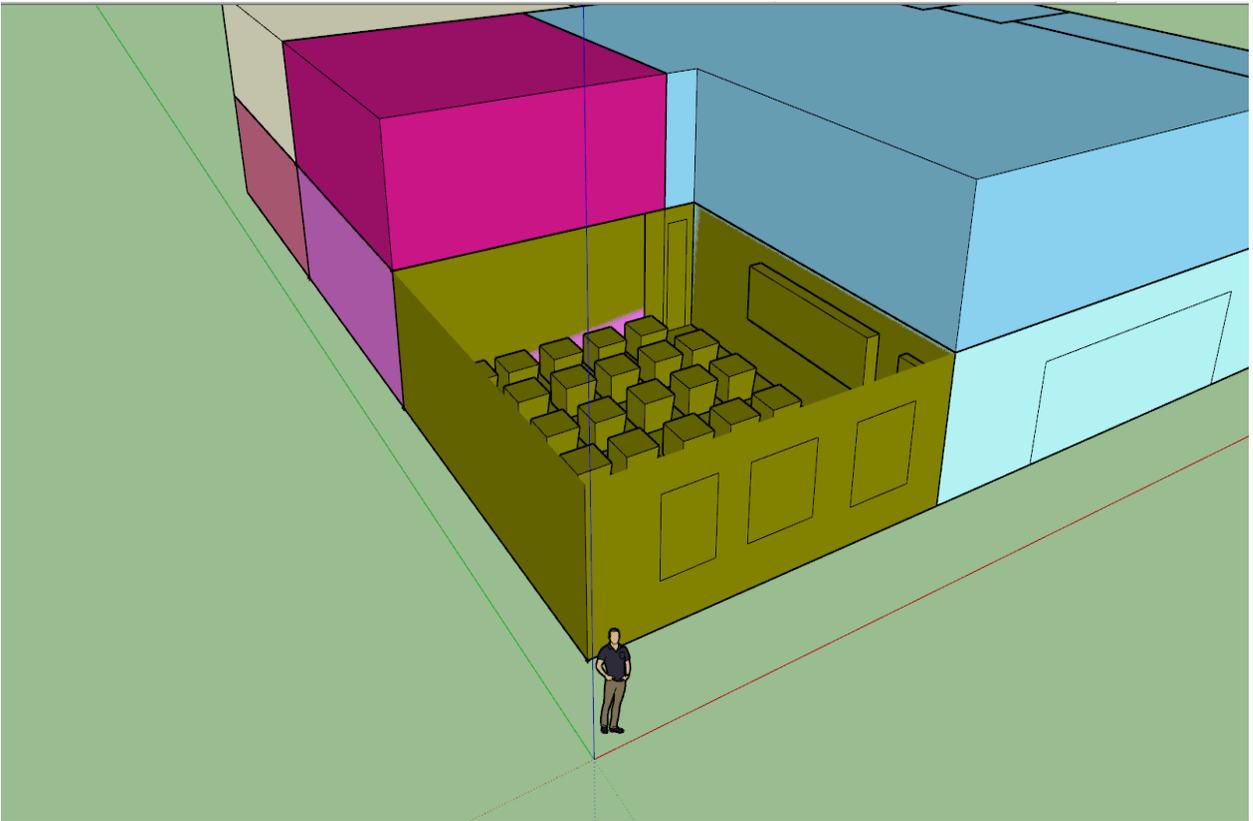
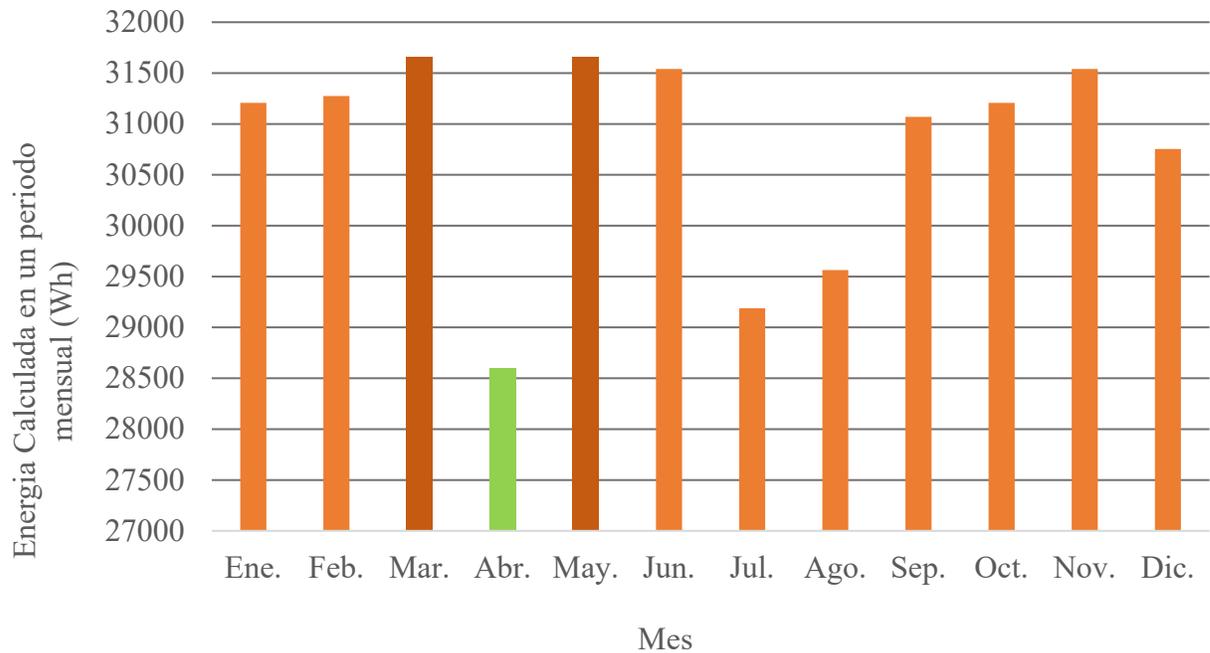


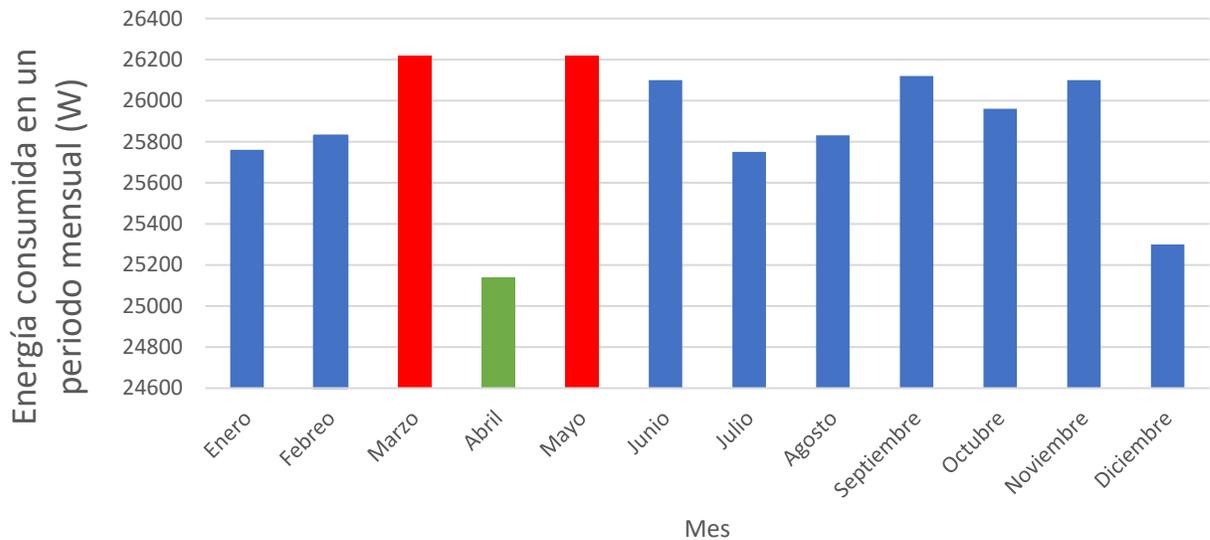
Figura 36 Zonas térmicas del centro de computo

Al realizar la simulacion se utilizaron los datos del clima de pachuca del año 2021 y dieron como resultado una serie de tablas como la siguiente en condiciones normales y nos da como resultado que el mes con mator consumo es en marzo y abril con un consumo aproximado de 31500 Wh y el menor consumo calculado se realizo en el mes de abril con aproximadamente 28500 Wh
Como se puede mostrar en la siguiente tabla.



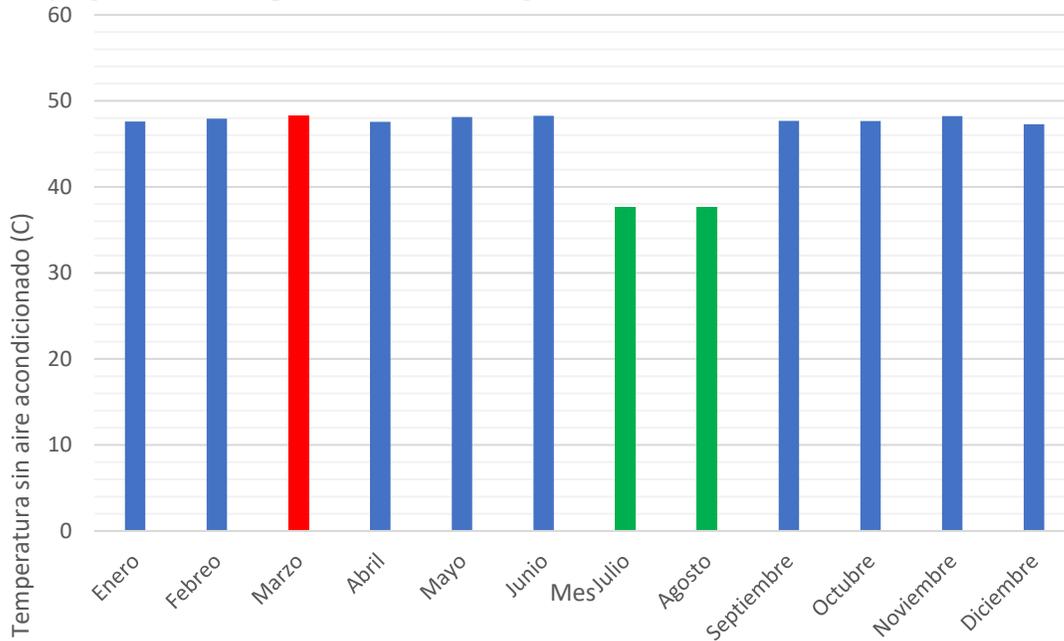
Grafica 10 Energía calculada en condiciones normales en un periodo mensual

Se realizo pequeñas modificaciones en el area de estudio en el cual se cambiaron los monitores del area de lcd de la marca dell por unos monitores de led el cual logra reducir de 40wh hasta 30 wh asi como el cambio en luminarias de 20wh hasta 18 wh y da como resultado como se muestra el consumo mensual de energia electrica en un periodo mensual en el cual se puede observar que el mes con mayor consumo en este periodo fue en marzo, mayo y noviembre con un consumo aproximado de 26000 Watts asi como tambien el mes con menor consumo ocurrio en abril, julio y agosto del mismo en el cual el consumo aproximado fue de 25000 Watts.



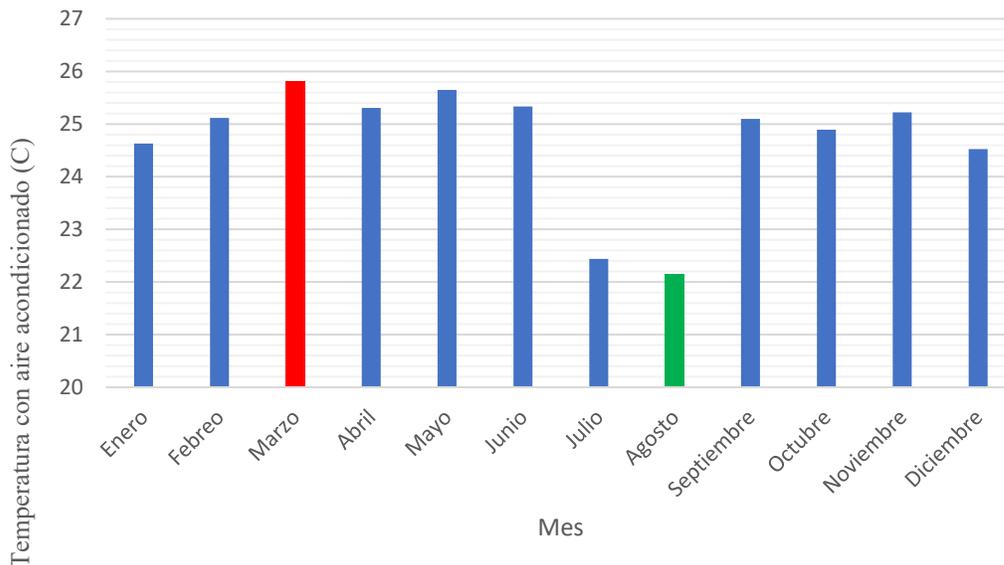
Grafica 11 Energía calculada con las modificaciones

Tambien resulto una tabla de la temperatura del aire como se muestra en la siguiente tabla en la cual estos valores de temperatura es de la sala de consulta general pero sin un sistema de aire acondicionado y se puede apreciar que el valor maximo de temperatura fue el mes de marzo y mayo con una temperatura aproximada de 48.5 grados °C asi como el mes con menor temperatura fue en julio y agosto con un aproximado de 37.9 grados °C



Grafica 12 Temperatura del area de estudio sin HVAC en un periodo mensual

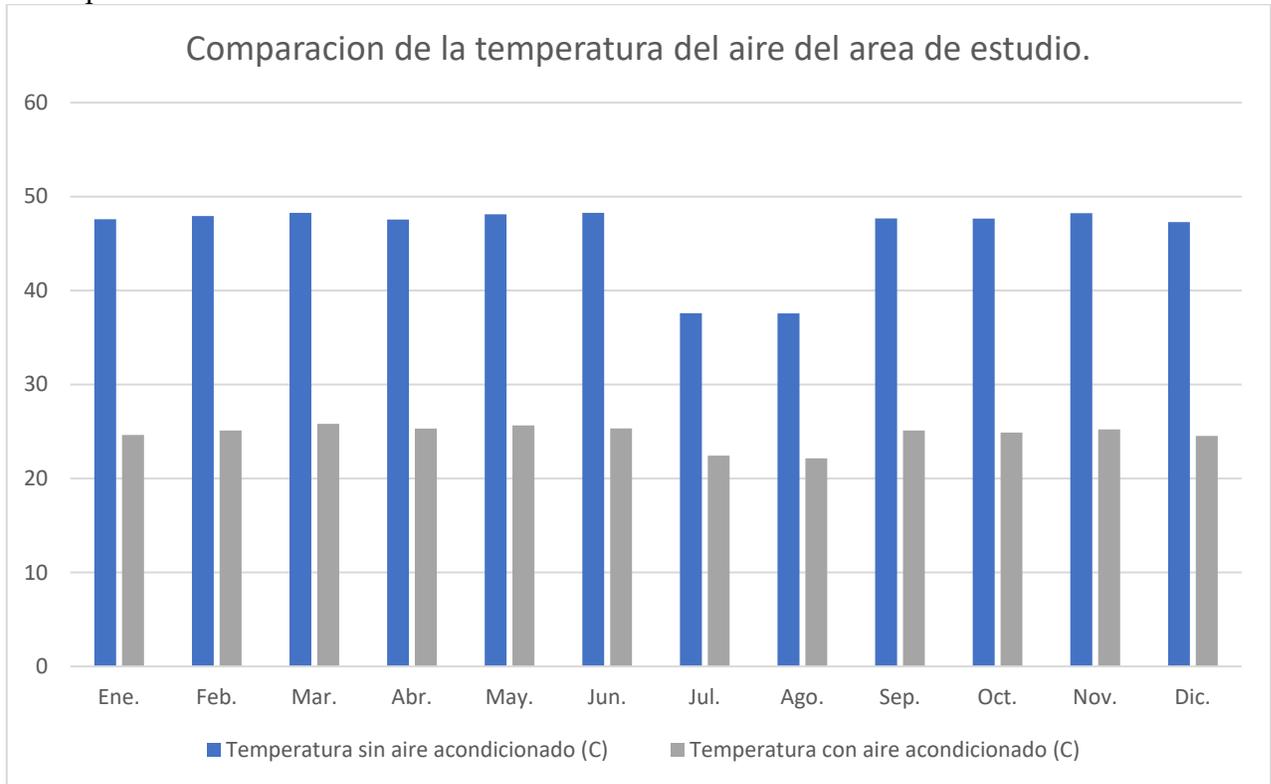
Asi como tambien se genero una tabla del aire en la que ahora cuenta con el sistema de aire acondicionado y se muestra que el mes con mayor temperatura fue en mayo con un aproximado de 24 grados °C y el mes con menor temperatura fue en agosto con un promedio de 21 grados °C



Grafica 13 Temperatura del area de estudio con HVAC

En la siguiente grafica se realizo la compaacion de la temperatura de la sala de consulta general con y sin aire acondicionado y se puede observar que si existen una gran variacion cuando se cuenta un sistema de aire acondicionado ya que existe una diferencia aproximada de 24.5 grados °C de la

mayor temperatura y una de 16.9 grados °C con la menor temperatura esto se debe a la temperatura calorifica que irradia los equipos electricos y electronicos asi como la de las personas que se encuentran ocupando el lugar que en este caso fue variando de 28 hasta 31 personas y al estar en un espacio reducido si no se contara con el sistema de aire acondicionado se eleva en gran medida la temperatura.



Grafica 14 Comparacion de la temperatura del area de estudio

4.2.1. Simulación en el edificio de estudio con el software Cypetherm

En el software cypetherm ifc builder se realizo el plano en 2D del la sala de consulta general en el que se creo el espacio los muros y particiones asi como las ventanas las puertas el suelo la azotea.

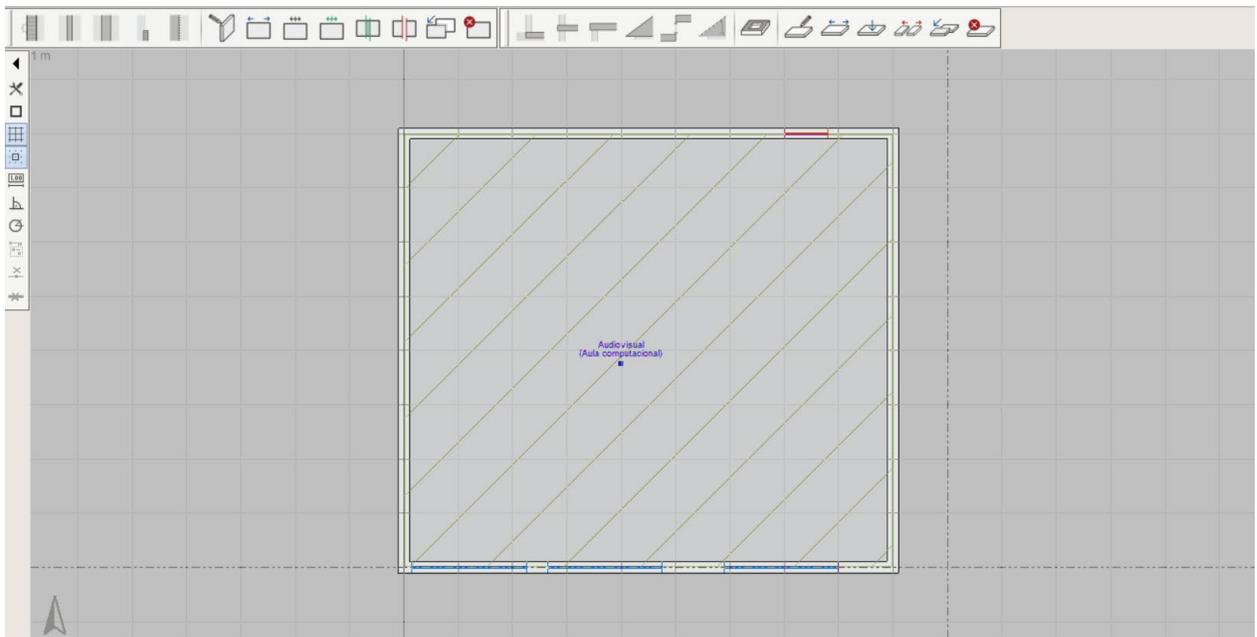


Figura 37 Area de trabajo en el software Cypetherm
Se verifico que todo estuviera en orden y correcto con el modelo en 3D.

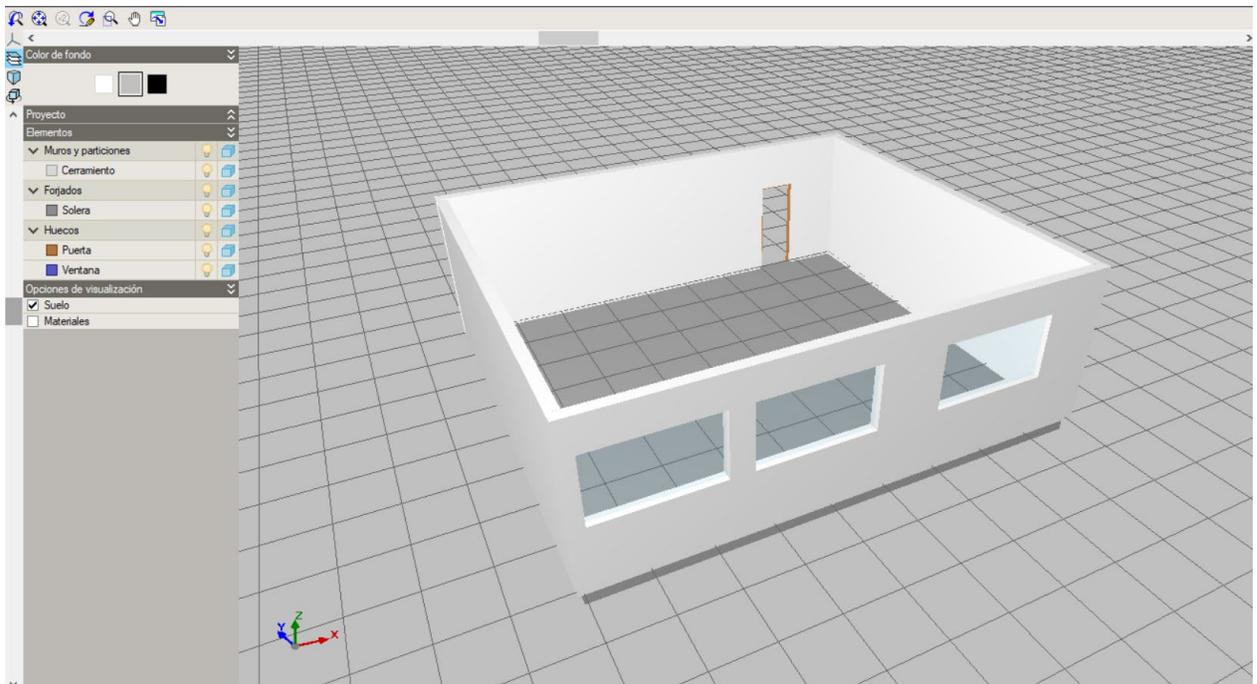


Figura 38 Modelo en 3D del area de estudio en Cypetherm

El modelo de la sala de consulta general se exporto al software cypetherm loads en el cual se añadio las cargas electricas y electronicas del espacio asi como las luminarias y se seleccionaron los datos del clima que mas se aproximaban que en este caso fue de la ciudad de mexico en caso de que todos los datos sean aceptables y correctos y se pueda realizar la simulacion el area cambiara de color representandose como una zona termica como se puede apreciar en la siguiente Figura 39.

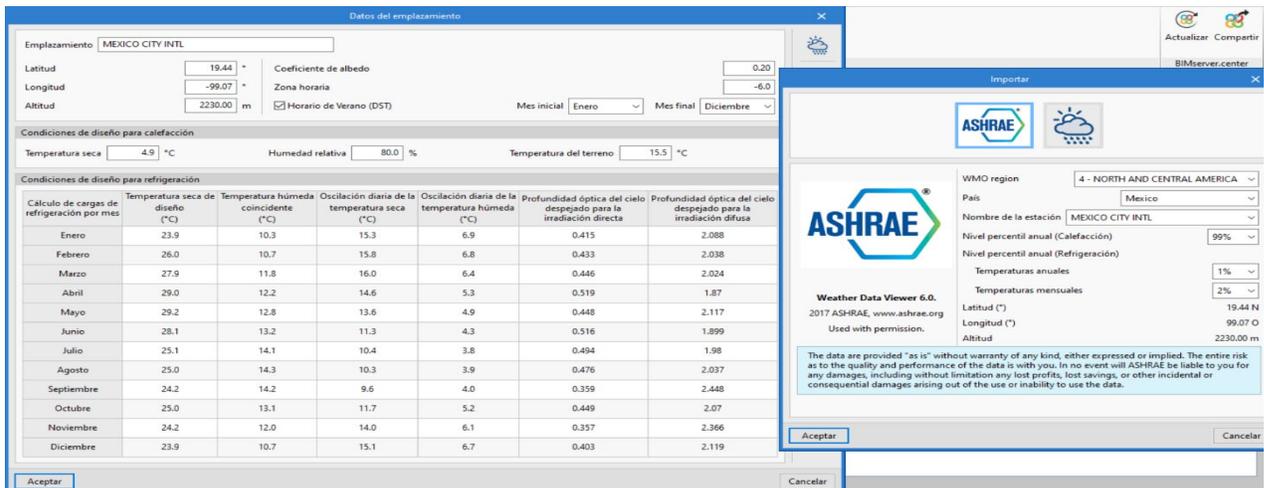


Figura 39 Datos del clima utilizado por el Software Cyptherm

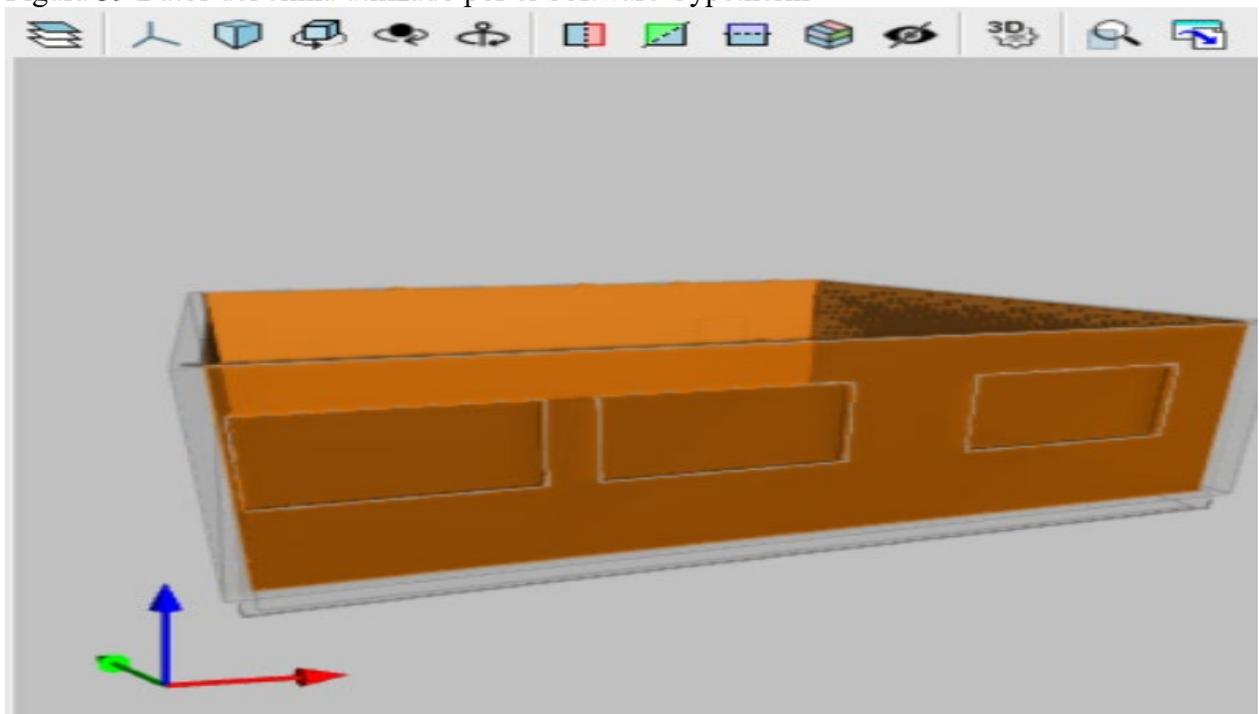
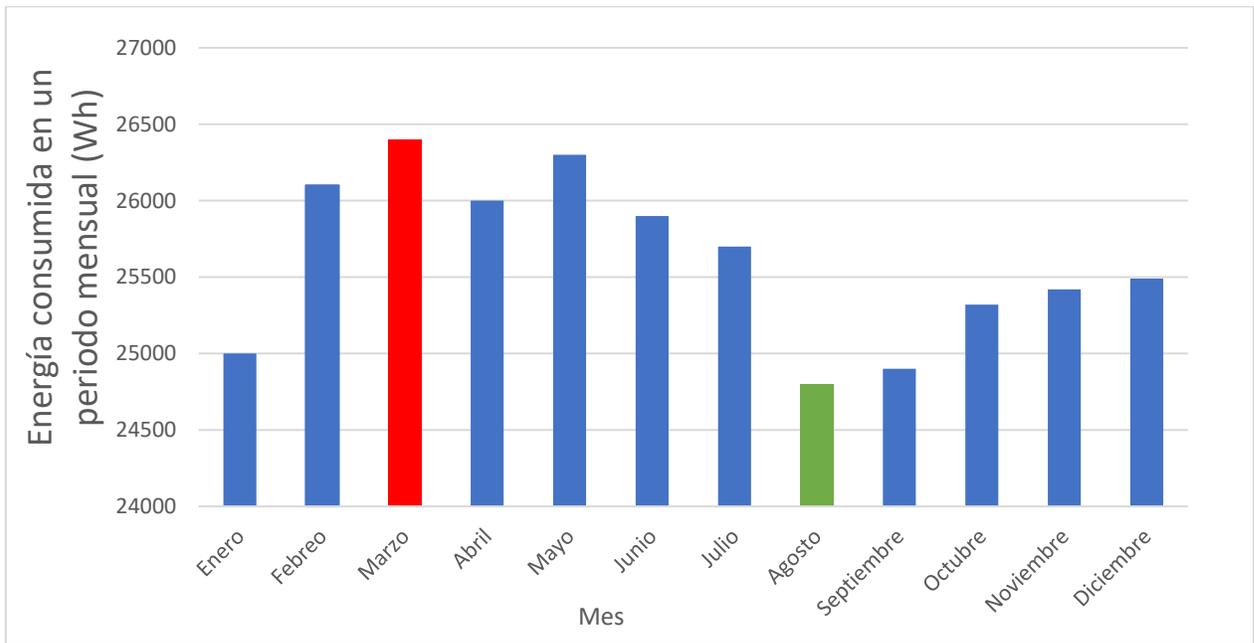


Figura 40 Zona termica en el modelo en 3D

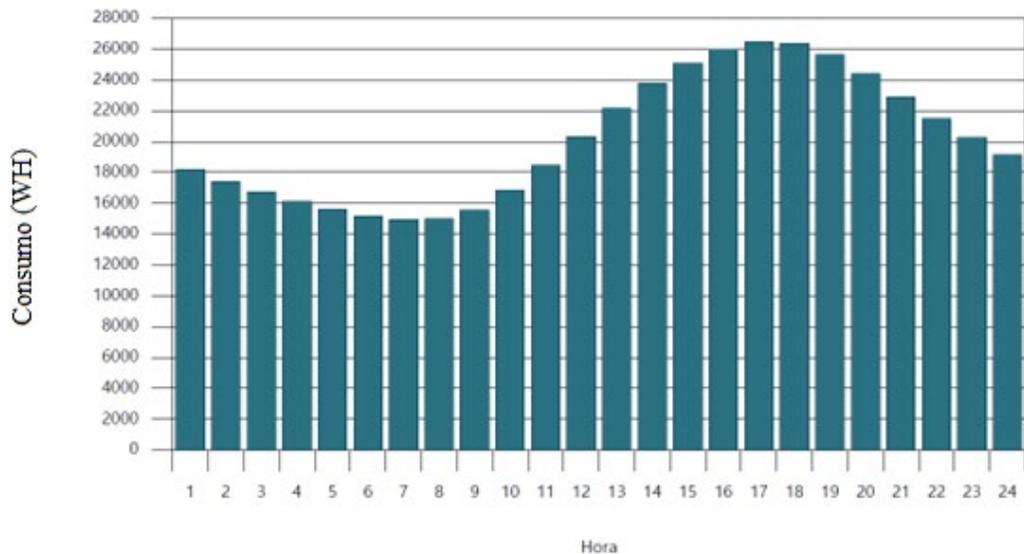
Una vez que se pueda identificar como zona termica se realizaran los calculos de las cargas térmicas y nos dara como resultado un informe de estas como se puede apreciar en la siguiente grafica en la cual se puede analizar que el mes con mayor carga térmica fue en marzo con un promedio de 26500W asi como el mes con menor carga fue en julio y agosto con un promedio aproximado de 24000W.



Grafica 15 Energía Calculada en el software Cypetherm

Otra grafica que proporciona el software es la evolución horaria de la carga de refrigeracion que realiza deacuerdo al dia y mes con mayor carga térmica que en este caso fue el 21 de marzo y se observa que la hora con mayor carga fue a las 17 horas del dia con una carga aproximada 26500 W y la menor fue a las 7 horas del dia con una carga de 15000W con lo cual se puede estimar que a las 17 horas fue el tiempo con una mayor temperatura en ese dia y mes y que a las 7 horas fue la menor temperatura de ese dia y mes una vez realizado los calculos el software los incorpora a la zona como se muestra en la imagen.

Evolución horaria de la carga máxima simultánea de refrigeración (21 de Marzo)



Grafica 16 Evolución horaria de la carga de refrigeracion

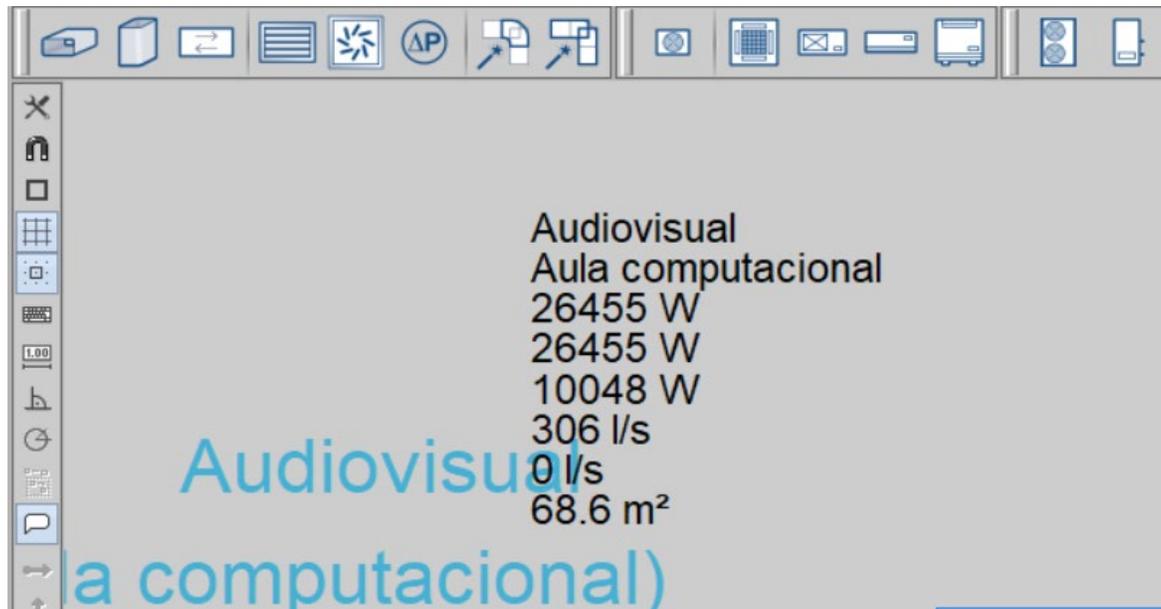


Figura 41 Datos proporcionado del área de estudio

En la figura 41 se muestran todos los datos ya calculados del área de estudio así como el área y el valor óptimo de l/s para los difusores.

Con los datos proporcionados de Cypheterm load se exporta el diseño al software cypheterm HVAC al tener los datos de las cargas térmicas y de los l/s del área se puede seleccionar y realizar adecuadamente el sistema de red de conductos de aire acondicionado, así como su capacidad y la de los difusores se selecciona el sistema adecuado se implementa y se vuelve a exportar a Cypheterm load y se observa que no hubo una variación con los datos entregados anteriormente.

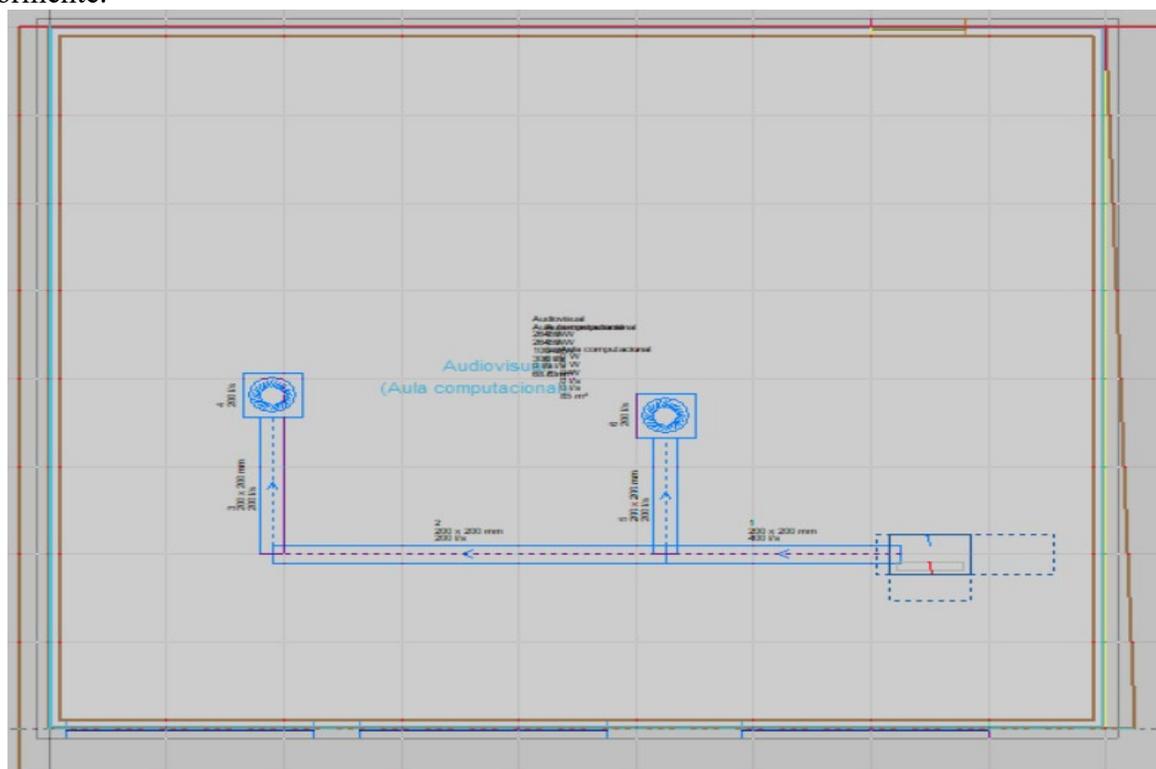


Figura 42 Modelado del nuevo sistema HVAC

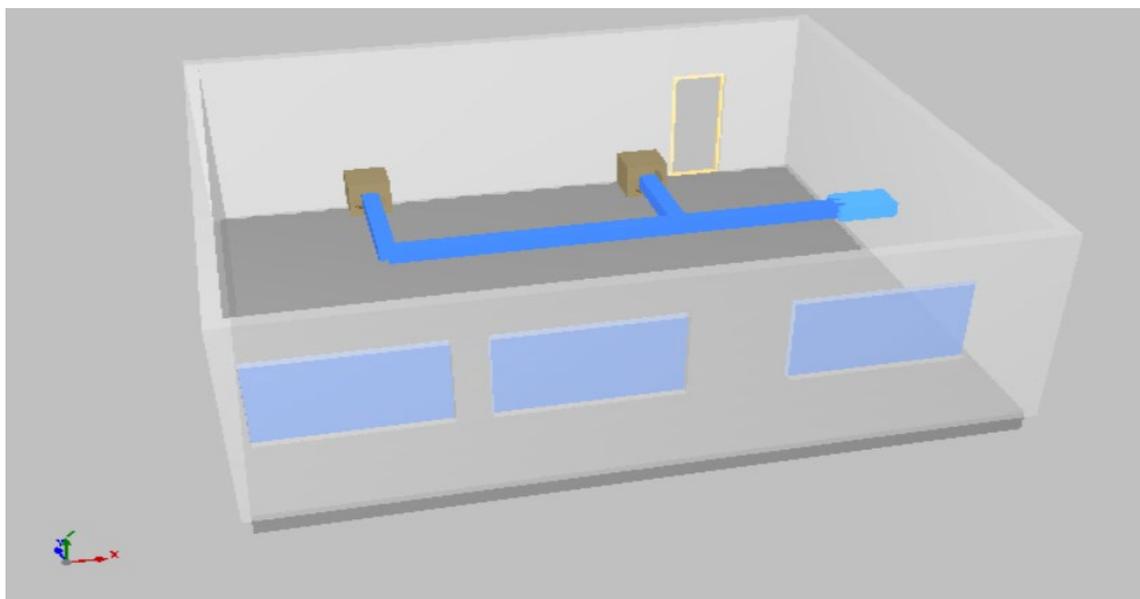


Figura 43 Vista en 3D del sistema de HVAC

Nos da un informe detallado de los conductos el cual nos proporciona el caudal, las dimensiones, la velocidad, la longitud, la pérdida de presión lineal, la pérdida de presión total, la pérdida de presión acumulada y el material.

La tabla 6 nos muestra todos los valores y los materiales proporcionados del software para el área de estudio con sus respectivas referencias para así tener un adecuado estudio del edificio.

En la tabla 7 nos muestra los materiales recomendados o proporcionados por el software para la implementación del sistema en el edificio de estudio

Tabla 6 Datos del sistema de HVAC

Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material
					Anchura	Altura						
1 - 4	1	Tramo recto	400	218.6	200.0	200.0	10.00	2.00	5.82	12	40	Chapa galvanizada
	2	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	3.34	1.62	5	28	Chapa galvanizada
	3	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	1.56	1.62	3	23	Chapa galvanizada
	4	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	20	20	-
Tramo de conducto	Referencia	Tipo	Caudal [l/s]	Diámetro equivalente [mm]	Dimensiones [mm]		Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdida de presión lineal [Pa/m]	Pérdida de presión total [Pa]	Pérdida de presión acumulada [Pa]	Material
					Anchura	Altura						
1 - 6	1	Tramo recto	400	218.6	200.0	200.0	10.00	2.00	5.82	12	40	Chapa galvanizada

5	Tramo recto	200	218.6	200.0	200.0	5.00	1.33	1.62	2	28	Chapa galvanizada
6	Difusor de impulsión	200	-	-	-	-	-	-	20	26	-

Tabla 7 Material de los conductos y modelo del HVAC

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
007.001	m ²	Conducto rectangular. Material: Chapa galvanizada	6.71
007.003	Ud	Difusor de impulsión, 500 x 500 mm	2
CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
010.002	Ud	Unidad interior modelo RAS-M07G3DV-E, sistema Multisplit, tipo unidad interior, con distribución por conductos TOSHIBA	1

4.2.2 Sustitución del HVAC

Con los valores obtenidos del aire acondicionado de acuerdo al software Cypheterm se realizó la modificación en los parámetros del aire acondicionado en el software EnergyPlus como lo muestra la figura y da como resultado una reducción del consumo calculado de energía como se muestra en la grafica 17.

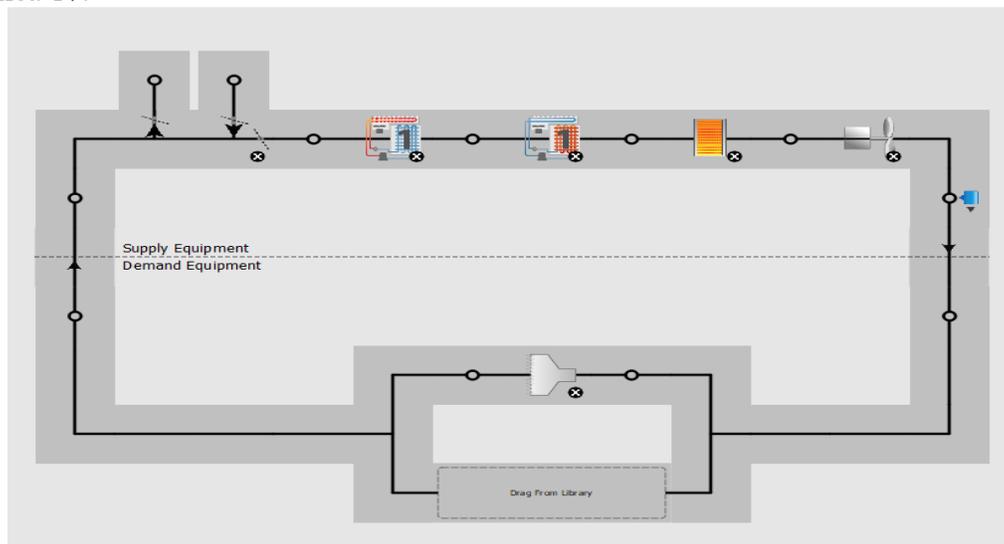
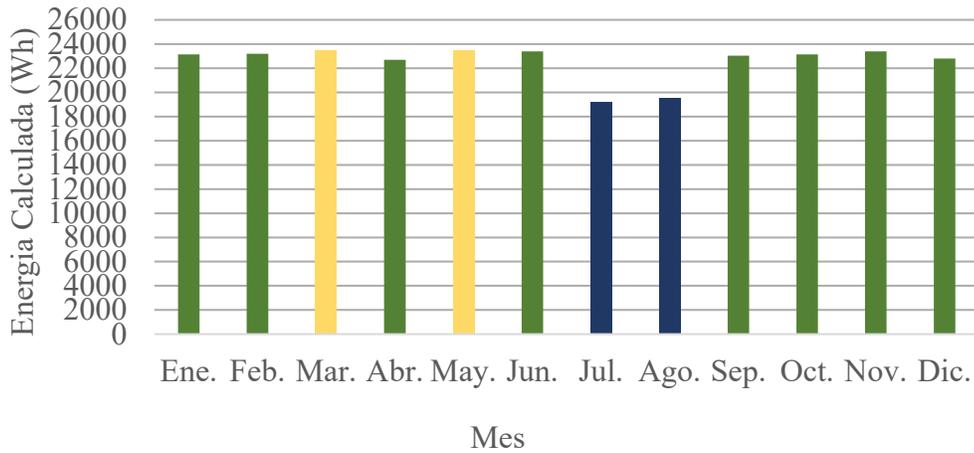


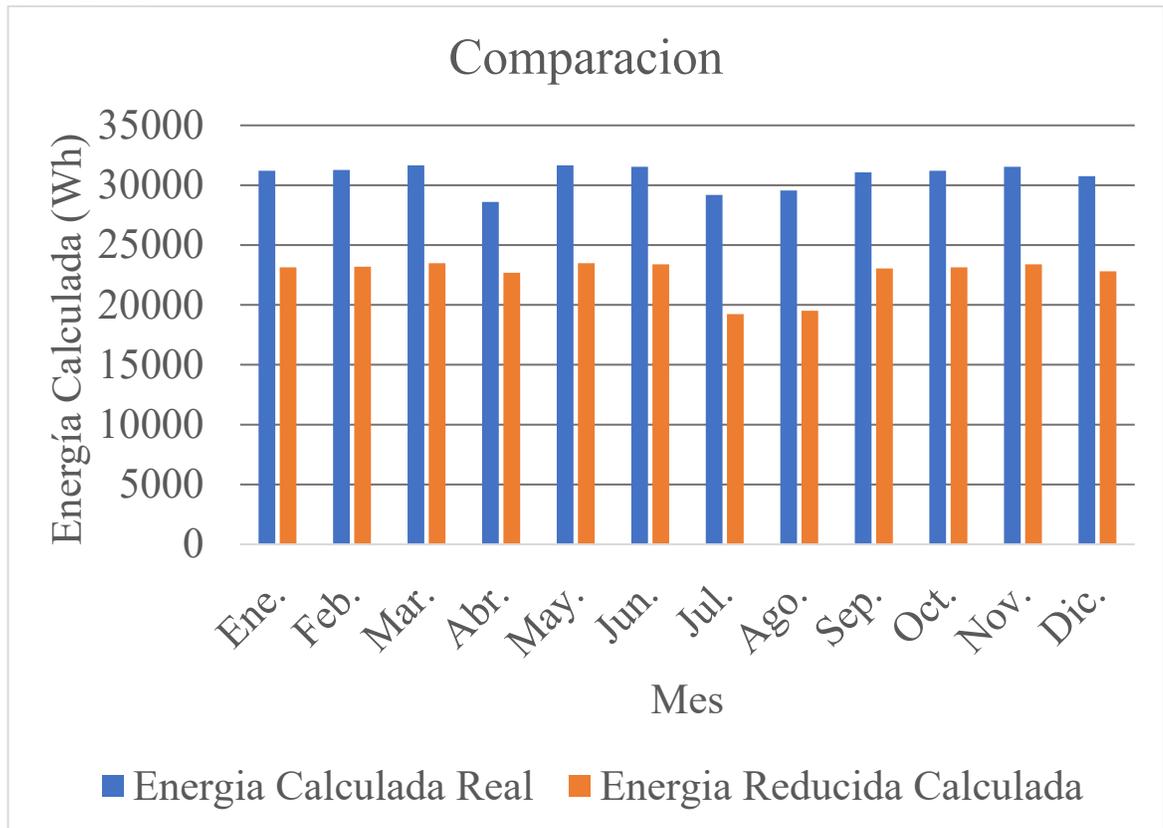
Figura 44 Sistema de HVAC en el software Energy Plus

Energía Reducida Calculada en un Periodo Mensual (Wh)



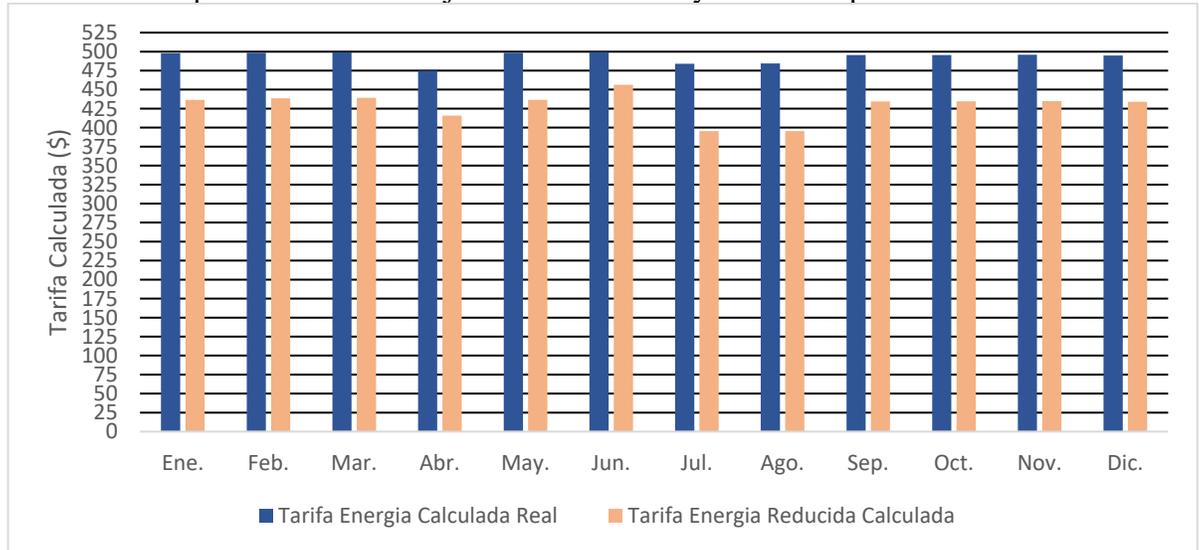
Grafica 17 Energía Reducida Calculada

En la siguiente grafica se puede apreciar la reducción del consumo calculado de la primera simulación del consumo real al cambio del sistema de HVAC y se puede notar que existe una reducción pequeña pero significativa del 12% hasta un 18% aproximadamente de acuerdo a los valores obtenidos



Grafica 18 Comparación de la energía Calculada real y la energía reducida calculada

Utilizando los datos proporcionados de la página de CFE [45] para Tarifa **GDMTO** el cual esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW, se calculó el costo a pagar por mes del consumo calculado real así como del consumo reducido calculado como se muestra en la siguiente grafica (19) en el cual se observa que el mes de marzo fue el mayor costo en el cual la tarifa de la energía calculada real fue de \$499.28 pesos mexicanos y en la energía reducida fue de \$439.7136 pesos mexicanos mientras que la menor fue en julio con \$483.357 y \$395.5 respectivamente



Gráfica 19 Comparación de la Tarifa real y la Tarifa reducida

Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Conclusiones

Es muy importante tener en cuenta el uso de los softwares para un adecuado estudio y así obtener una significativa energética.

Con pequeños cambios en la envolvente y/o en los equipos electrónicos se puede tener una reducción de temperatura, así como del consumo de algún área.

Tener en consideración los datos climáticos ya que estos en algunos softwares se pueden especificar las áreas mientras que en otros son más generales.

Los softwares por su programación ya tienen un estándar de normalización y en caso de que el área no se encuentre normalizado el software dará una advertencia, así como también dará errores en la simulación y no la realizara

En este estudio al cambiar unas componentes electrónicas y eléctricas, así como también del equipo de HVAC se logró obtener una reducción diminuta pero significativa con el tiempo de aproximadamente del 12-18% en el consumo calculado ya que se demostró la reducción del consumo calculado real y del consumo calculado reducido

Con los datos obtenidos de la comisión federal de electricidad se pudo realizar la conversión de los KW/H a pesos mexicanos mediante la tarifa GMT0 ya que esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW y se demostró que existe la reducción en el costo el cual es mínima mensualmente de aproximadamente desde \$50 hasta unos \$90 pesos mexicanos esta reducción se vuelve muy significativa con el paso del tiempo ya que en un periodo de un año se contaría con un ahorro promedio de \$1380 pesos mexicanos esto significaría que también se genera un ahorro en el consumo de combustibles fósiles por lo que existe la disminución en el consumo de CO₂ a largo plazo por lo que contamos con un pequeño pero muy significativo impacto en el ámbito ambiental así como con el pasar de los años se podrá generar una ganancia gracias a la disminución de la energía consumida que se genere en el edificio de estudio.

5.2 Recomendaciones

Al realizar este estudio se toma en cuenta que con pequeños cambios se obtiene un ahorro energético como se demostró así como también se puede conseguir aún más ahorro energético al utilizar la metodología en todo el edificio el ahorro se tornaría significativo como también si se realizara la investigación con un mayor manejo de los software ya que en esta investigación al realizarse de un edificio ya construido no se utilizó completamente todas las funciones que nos entrega los softwares de Energy Plus y de Cypheterm se puede realizar una modelación desde una edificación en proceso de construcción se puede realizar una mejor investigación al seleccionar la envolvente del edificio por una mucho mas adecuada para obtener aún mayores beneficios energéticos de los presentados actualmente en este trabajo que tendrían un mayor impacto ambiental así como económico ya que este estudio se puede realizar en cualquier edificación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Anguita, J. Arco, D. Hidalgo "Study of thermal comfort in the classrooms of the Technical School of Building Engineering of the University of Granada.", *Anales de Edificación*, Vol. 4, N° 4, pp. 55-64 (2018).
- [2] European Nearly zero energy building. Online https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
- [3] CONUEE (Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía) 2019. Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios. https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuaderno3nvciclo_2.pdf
- [4] secretaria de Gobernación (SEGOB). NOM – 008 – ENER - 2001. Diario Oficial de la Federación (2001).URL:http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767644&fecha=%2025/04/2001
- [5] secretaria de Gobernación (SEGOB). NOM-020-ENER-2011. Diario Oficial de la Federación (2011).URL:http://dof.gob.mx/nota_detalle.php%3Fcodigo%3D5203931%26fecha%3D09/08/2011
- [6] P. Andrew Hohne, K. Kusakana, B. Papy Numbi, "Improving Energy Efficiency of Thermal Processes in Healthcare Institutions: A Review on the Latest Sustainable Energy Management Strategies", *Energies*, Vol. 13, N°3, pp. 569-597, (2020).
- [7] M. Aliahmadipour, M. Abdolzadeh, K. Lari, "Air flow simulation of HVAC system in compartment of a passenger coach", *Applied Thermal Engineering*, Vol.123, N° 5, pp.973-990, (2017).
- [8] G. Barone, A. Buonomano, C. Forzano, A. Palombo, "Enhancing trains envelope – Heating, Ventilation, and Air conditioning systems: a new dynamic simulation approach for energy, economic, environmental impact and thermal comfort analyses", *Energy*, Vol. 204, N°78, pp. 11-33, (2020).
- [9] D. Lee, F. Tsai, "Air Conditioning Energy Saving from Cloud-Based Artificial Intelligence: Case Study of a Split-Type Air Conditioner", *Energies*, Vol. 13, N°8, pp. 33-58 (2020).
- [10] W. Wei Che, C. Yan Tso, L. Sun, D. Y.K., H. Lee, C. Y.H. Chao, A. K.H. Lau, "Energy consumption, indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat, ventilation and air conditioning (HVAC) system", *Energy & Buildings*, Vol.201, N°6, pp. 202-215, (2019).

- [11] Y. Chen, Y. Liu, J. Liu, X. Luo, D. Wang, Y. Wang, J. Liu, "Design and adaptability of photovoltaic air conditioning system based on office buildings", *Solar Energy*, Vol.202, N°3, pp. 17-24, (2020).
- [12] C. Liang, X. Li, X. Shao, B. Li, "Numerical analysis of the methods for reducing the energy use of air-conditioning systems in non-uniform indoor environments", *Building and Environment*, Vol. 167, N°106, pp.442-453, (2019).
- [13] Z. Ma, H. Ren, W. Lin, "A review of heating, ventilation and air conditioning technologies and innovations used in solar-powered net zero energy Solar Decathlon houses", *Journal of Cleaner production*, Vol.240, N°118, pp.156-175, (2019).
- [14] A. Ranade, G. Provan, A. El-Din Mady, D. O’Sullivan, "A computationally efficient method for fault diagnosis of fan-coil unit terminals in building Heating Ventilation and Air Conditioning systems", *Journal of Building Engineering*, Vol.27, N°10, pp.55-68, (2019).
- [15] J. Yao, "Building cooling energy uncertainty and life cycle economic performance: A stochastic air conditioning behavior model based comparative analysis", *Journal of Cleaner Production*, Vol.266, N°10, pp.12-25, (2020).
- [16] C. Zhen, H. Liang, S. You, W. Zheng, Z. Liu, "Numerical Simulation and Experimental Study of Comfort Air Conditioning Influenced by Bottom-supply and Stratum Ventilation Modes.", *Energy Procedia*, Vol.105, N°8, pp. 3609-3615, (2017).
- [17] Bo Shen, J. New, V. Baxter. "Air Source Integrated Heat Pump Simulation Model for EnergyPlus", *Energy and Buildings*, Vol.156, N° 9, pp. 64-86 (2017).
- [18] J. Xie, Y. Pan, W. Jia, L. Xu, Z. Huang "Energy-consumption simulation of a distributed air-conditioning system integrated with occupant behavior", *Applied Energy*, Vol. 256, N° 14, pp.11-39 (2019).
- [19] T. cher Seng, T. soe, "GETTING NATURE TO HELP IN ENERGY EFFICIENCY OF THE AIR CONDITIONING SYSTEM", *Energy Procedia*, Vol.143, N°19, pp. 230-236. (2017).
- [20] Bastos Porsani G, Del Valle de Lersundi K, Sánchez-Ostiz Gutiérrez A, Fernández Bandera C. (2021). Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). *Applied Sciences*, Vol. 11, N° 5.

- [21] Sebastian R, Gralka A, Olivares R, Arnesano M, Revel GM, Hartmann T, Gutsche C. (2018). Plug-and-Play Solutions for Energy-Efficiency Deep Renovation of European Building Stock. Proceedings, Vol. 2, N° 15.
- [22] Rico, A.; Cuadras, A. (2021). NEAR ZERO ENERGY BUILDINGS ENTROPY PERFORMANCE, in Proceedings of the Entropy 2021. The Scientific Tool of the 21st Century, Vol. 5, N° 7.
- [23] I. Castillo Devoz y G. Gutiérrez Ramírez, «DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA SOLAR DE AIRE ACONDICIONADO CON CHILLERS DE ADSORCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE LA GUAJIRA», EIEI ACOFI, sep. 2021.
- [24] Torregrosa-Jaime, B.; González, B.; Martínez, P.J.; Payá-Ballester, G. (2018). Analysis of the Operation of an Aerothermal Heat Pump in a Residential Building Using Building Information Modelling. Energies, Vol. 11, N.º 7.
- [25] Torregrosa-Jaime, B.; Martínez, P.J.; González, B.; Payá-Ballester, G. (2019). Modelling of a Variable Refrigerant Flow System in EnergyPlus for Building Energy Simulation in an Open Building Information Modelling Environment. Energies, Vol. 22, N.º 12.
- [26] Leonardo Habitzreuter, et al. (2019). Modelling the overheating risk in an uniform high-rise building design with a consideration of urban context and heatwaves. Indoor and Built Environment, Vol.29, N.º 5.
- [27] Rodríguez Uribe et, al. (2017). Optimización de la iluminación de la planta alta de un edificio académico para eficiencia energética, Revista del Desarrollo Tecnológico, Vol. 1, N.º 7.
- [28] Soares, N., Dias Pereira, L., Ferreira, J., Conceição, P. and Pereira da Silva, P. (2015) Energy efficiency of higher education buildings: a case study, International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol.16, N.º 5.
- [29] Lloren Burgas, Joaquim Melendez, Joan Colomer, (2014), Principal component analysis for monitoring electrical consumption of academic buildings, Energy Procedia,62,9.
- [30] Ferdinando Salata, Iacopo Golasi, Maicol di Salvatore, Andrea de Lieto Vollaro, (2016) Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings, Applied Energy, Vol.169, N.º 16.
- [31] Amy A. Kim, Yos Sunitiyoso, Lysandra A. Medal, (2019) "Understanding Facility Management Decision Making for Energy Efficiency Efforts for Buildings at a Higher Education Institution", Energy & Buildings, Vol. 99, N.º 18.
- [32] Joonho Yeo, Ye Wang, Alicia Kyoungjin An, Lin Zhang, (2019), Estimation of energy efficiency for educational buildings in Hong Kong", Journal of Cleaner Production, Vol.235, N.º 7.

- [33] Ayesha Asif, Muhammad Zeeshan, Muhammad Jahanzeb, (2018), Indoor temperature, relative humidity and CO2 levels assessment in academic buildings with different heating, ventilation and air-conditioning systems", Building and Environment, Vol. 133, N. ° 7.
- [34] ROSLI, M. A. H.; RAHMAN, M. M.; KAMARUZAMAN, (2019), Energy Efficiency in Academic Buildings Through Optimization and Operational Strategies. Journal Mekanikal,41,5.
- [35] A. De Paola, G. Lo Re, M. Morana and M. Ortolani, (2012), An intelligent system for energy efficiency in a complex of buildings, Sustainable Internet and ICT for Sustainability (Sustain IT), Vol. 20, N. ° 5.
- [36] Mehreen S. Gul, Sandhya Patidar, (2015), Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building, Energy and Buildings, Vol.87, N. ° 10.
- [37] Mentor Poveda. (2017), EFICIENCIA ENERGÉTICA: RECURSO NO APROVECHADO, Artículos técnicos Olade.
- [38] A. Boyano, P. Hernandez, O. Wolf, (2013), Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations, Energy and Buildings, Vol. 65, N. ° 9.
- [39] D. Bravo Hidalgo, Y. Pérez Guerra, "Eficiencia energética en la climatización de edificaciones.", Revista Publicando, Vol.8, N°3, pp. 218-238, (2016).
- [40] S. Towne, (2017, Julio 14), HVAC y refrigeración: en qué fijarse y en dónde, 1.ª edición, [Online]. Available: <https://es.jsheld.com/universidad/articulos-fed/hvac-y-refrigeracion-en-que-fijarse-y-en-donde>
- [41] Y.A. Cengel, M.A. Boles Termodinámica New York 7ed. McGraw-Hill 2011
- [42] J. A. Rodríguez. Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería. Argentina 1ed. Universidad Tecnológica Nacional, 2004.
- [43] EnergyPlus, Copyright (c) 1996-2019, The Board of Trustees of the University of Illinois, The Regents of the University of California, through Lawrence Berkeley National Laboratory (subject to receipt of any required approvals from the U.S. Dept. of Energy), Oak Ridge National Laboratory, managed by UT-Battelle, Alliance for Sustainable Energy, LLC, and other contributors. All rights reserved. url:<https://energyplus.net/>
- [44] A. M. Alonso Ramírez "Modelado energético del edificio O, Campus Central de la Universidad Rafael Landívar según el apéndice G del ASHRAE 90.1 2010" tesis, UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR, Guatemala de la asunción, México, (agosto 2017).
- [45] Tarifa GDMTO. (s. f.). CFE Comisión Federal de Electricidad. Recuperado 31 de agosto de 2022, <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTO.aspx>