

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**ESTUDIO DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DE LA
PROCURADURÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

MOISÉS IGNACIO HENRÍQUEZ NOLASCO

MARVIN JAVIER LÓPEZ DÍAZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

DR. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación Previo a la Opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**ESTUDIO DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DE LA
PROCURADURÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, SAN SALVADOR**

Presentado por:

MOISÉS IGNACIO HENRÍQUEZ NOLASCO

MARVIN JAVIER LÓPEZ DÍAZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JÍMENEZ

SAN SALVADOR, octubre 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JÍMENEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Jueves 29 de septiembre de 2022, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE
Director Interino


Firma

2. MSC. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA
Secretario


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ
(Docente Asesor)


Firma

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS


Firma

- ING. ANA MARIA FIGUEROA DE MUNGUIA


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DE LA PROCURADURIA GENERAL DE LA REPUBLICA, SAN SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- HENRÍQUEZ NOLASCO MOISÉS IGNACIO
- LÓPEZ DÍAZ MARVIN JAVIER

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.0

(**Nueve punto cero**)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por permitirme llegar a la finalización de mi carrera universitaria. A mi padre Roberto López que en paz descanse, por enseñarme siempre el camino del bien y ser un ejemplo como hombre y padre, por ayudarme tanto en lo personal como profesional y siempre sentirse orgulloso de mi. A mi madre María Julia Díaz de López por ser una madre incondicional, que siempre fue una fuente de ánimos y perseverancia para poder seguir y desarrollarme en lo académico y lo profesional, que junto a mi padre son una fuente de amor y cuidados para mi desarrollo y por ser los padres ideales que Dios me puso en la vida.

Agradezco a mi hermano y su familia, familiares que siempre estuvieron apoyándome en la etapa de estudiante y me motivaban en todo momento.

Agradezco a la Universidad y sus docentes y sobre todo a los docentes de la escuela de eléctrica por compartir sus conocimientos y siempre estar dispuestos a ayudar, a mis compañeros y amigos por estar en las buenas y en las malas en todo el proceso de estudio y por siempre motivarnos a seguir adelante.

Agradezco a nuestro docente asesor Dr. Carlos Osmín Pocasangre por tenernos paciencia en todo el proceso de la realización de nuestro trabajo de graduación, por guiarnos y solventar siempre las dudas.

Agradezco al Ingeniero Pedro Fabricio Moreno Funes que es parte de la unidad de medio ambiente de la Procuraduría General de La República, San Salvador el cual nos ayudó en todo momento para poder realizar el estudio.

Finalmente, quiero agradecer especialmente a Reinita, secretaria de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad por apoyarnos y siempre estar pendiente de todo nuestro proceso de tesis y motivarnos en todo momento.

Marvin Javier López Díaz

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por permitirme llegar a la finalización de mi carrera universitaria. A los familiares y amigos que me brindaron apoyo en todo este tiempo de aprendizaje. Un agradecimiento especial a Carmen Elene Leiva por todo el apoyo que me ha brindado que ha sido invaluable. Agradezco a la Universidad de El Salvador por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios superiores y obtener mi título de ingeniero.

Agradezco a todos los docentes de la facultad de ingeniería y arquitectura que compartieron sus conocimientos en cada una de las materias que curse en la carrera dándome la oportunidad de aprender un poco más sobre la Ciencia.

Agradezco a los docentes de la escuela de ingeniería eléctrica por haberme preparado para afrontar los desafíos que como ingeniero electricista me tocara enfrentar. Agradezco a Juancito y don Posada por estar siempre pendiente de equipo y materiales que necesitamos en el laboratorio, a niña Reinita por la ayuda que nos brinda para realizar nuestros tramites en la escuela.

Agradezco a Marvin López mi compañero de tesis por el esfuerzo y esmero que demostró en el trabajo para realizar esta tesis hasta el final.

Agradezco a nuestro docente asesor Dr. Carlos Osmín Pocasangre por tenernos paciencia en todo el proceso de la realización de nuestro trabajo de graduación, por guiarnos y solventar siempre las dudas.

Agradezco al Ingeniero Pedro Fabricio Moreno Funes que es parte de la unidad de medio ambiente de la Procuraduría General de La República, San Salvador el cual nos ayudó en todo momento para poder realizar el estudio.

Moisés Ignacio Henríquez Nolasco

Contenido

DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	1
INTRODUCCION	3
Objetivo General	4
Objetivos Específicos.....	4
CAPITULO 1	5
Marco teórico, descripción de metodología y programas.....	5
Metodología Básica para Auditoria Energética.....	12
Modelo Base de Consumo de Energía.....	17
Modelo de Bajo Consumo de Energía	18
Descripción y uso de equipos y programas a utilizar en la auditoria eléctrica.....	20
Medidor de energía y potencia portátil.	20
Uso e Instalación de Analizador de red DRANETZ 4400.....	21
Programas de Simulación de modelos de energéticos en edificios.....	25
SketchUp:	25
OpenStudio.....	28
Eficiencia en luminarias.....	41
CAPITULO 2	44
Auditoria.....	44
Metodología para la obtención de datos	44
Facturación.....	44
Planos de distribución de luminarias y toma corrientes del edificio	47
Obtención de medidas de oficinas, equipos eléctricos, tipo de construcción y horarios.....	47
MEDIDAS, MATERIALES Y HORARIOS DE LAS OFICINAS.....	55
Mediciones	55
Medición de temperatura con data logger	56
Resumen.....	59
CAPÍTULO 3	63
Simulaciones.....	63
Simulación Año Base de Consumo de Energía:.....	63
Schedule.	64
Construtions.....	65
Loads.	65

Geometry	66
Thermal Zones	66
HVAC Systems.	67
Output Variables.	68
Resultados de simulación Año Base de Consumo de Energía.....	69
Indicadores de desempeño energético.....	78
Simulación modelo de bajo consumo de energía	82
Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía A (Deshabilitando el agua caliente en oasis) ..	83
Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía B (Desconectando de la red los ups de cada computadora cuando termine la jornada laboral).....	86
Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía C (Apagando luminarias de oficinas después de la jornada laboral)	90
Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D (Setup Temperatura termostato interno 24°C)	95
Propuesta de sistema fotovoltaico Modelo de Bajo Consumo de Energía E.....	101
DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	108
DIAGRAMA UNIFILAR Y CONFIGURACION DE STRING	110
Resumen de simulaciones.....	113
Análisis de resultados.....	116
Mediciones	116
Simulación de año base.....	118
Simulación de bajo consumo A (apagando agua caliente de oasis).....	119
Simulación de bajo consumo B (Desconectando de la red los ups).....	120
Simulación de bajo consumo C (apagando luminarias después de la jornada laboral).....	121
Simulación de bajo consumo D (Temperatura de termostato 24 grados Celsius).....	122
Capítulo 4	125
Conclusiones.....	125
Recomendaciones	127
Bibliografía	128

DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

DEFINICIONES

ASHRAE: Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración, ASHRAE. Se organiza la Sociedad con el propósito de buscar avances en las ciencias y artes de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración, para el beneficio del público a través de la investigación, escritura de las normas, educación continua y publicaciones.

Aislación térmica: impedir en alguna medida la transferencia de calor desde o hacia el cuerpo aislado. Los materiales de aislación térmica aprovechan en general el hecho de que el aire es un excelente aislante. Por esta razón, la gran mayoría de los materiales usados como aislantes son porosos, manteniendo el aire atrapado en su interior.

Auditoría Energética: es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio. Normalmente una auditoría energética se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida.

Calor: La cantidad de energía térmica que un cuerpo pierde o gana en contacto con otro a diferente temperatura recibe el nombre de calor. El calor constituye, por tanto, una medida de la energía térmica puesta en juego en los fenómenos caloríficos.

Carga Térmica: También nombrada como carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano).

Cargas Internas: Son consideradas como ganancias de calor desde la iluminación, equipo eléctrico y personas.

Climatización: consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados.

Confort Térmico: Es la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Es decir, el bienestar térmico del hombre en la situación bajo la cual este expresa satisfacción con el medio ambiente que lo rodea, tomando en cuenta no solamente la temperatura y la humedad propiamente dichas, sino también el movimiento del aire y la temperatura radiante.

Cortasol: Estructura saliente en la fachada de un edificio con la finalidad de bloquear la incidencia de los rayos solares.

EER (Relación de Eficiencia Energética): la relación de la capacidad de enfriamiento de la red en Btu/h con la potencia eléctrica de entrada o consumida en watts bajo condiciones de operación de diseño.

Eficiencia: funcionamiento en las condiciones nominales especificadas en los datos de placa.

Eficiencia energética: es la capacidad para usar menos energía para producir la misma cantidad de iluminación, calor, transporte y otros servicios energéticos.

Luminaria: aparato destinado a contener las lámparas y equipos auxiliares, protegido de los agentes exteriores, conseguir un adecuado funcionamiento de los mismos, una distribución luminosa que permita un buen rendimiento luminoso para el nivel de iluminación requerido, así como una buena uniformidad de iluminación. También llamada linterna.

Sistema Fotovoltaico: Sistema de paneles fotovoltaicos conectados entre sí que funciona como unidad para producir energía.

Ventilación natural: es la acción mediante la adecuada ubicación de superficies, pasos o conductos aprovechando las depresiones o sobrepresiones creadas en el edificio por el viento, humedad, sol, convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno sin que sea necesario aportar energía al sistema en forma de trabajo mecánico.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración)

EP: Programa de EnergyPlus

OS: Programa de OpenStudio

CNE: Consejo Nacional de Energía

EE: Eficiencia Energética

HVAC: Heating, Ventilating, and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)

KW: Kilowatt

KWh: Kilowatt-hora

SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones

INTRODUCCION

La búsqueda de ahorro de costos en conceptos de energía es un planteamiento necesario actualmente debido al alto costo de recursos y su utilización por lo tanto el planteamiento de realizar un estudio para el ahorro lleva a la par el estudio de la eficiencia energética la cual es el conjunto de acciones que permiten el mayor aprovechamiento del uso de la energía en todas sus formas posibles, con el fin de obtener servicios, productos destinados a lograr beneficios sociales, económicos y ambientales. Por lo tanto, una edificación energéticamente eficiente es necesaria para poder obtener un mayor ahorro de energía y así ayudar al medio ambiente.

Por lo que en este trabajo se presenta el estudio del Edificio de La Procuraduría General De La República, San Salvador, con el fin de obtener formas de ahorro y mejorar la eficiencia energética sin afectar el confort de las personas que utilizan la edificación.

Actualmente el manejo de programas de simulación y análisis del comportamiento energético de una edificación facilita la obtención de modelos los cuales proporcionan proyecciones en las cuales podemos realizar mejoras al uso de los recursos para mejorar el rendimiento energético del edificio, además de las herramientas informáticas también es necesario una metodología a seguir para la correcta obtención de datos por lo que al realizar una auditoria eléctrica y térmica del edificio nos proporcionar datos reales los cuales nos ayudaran a mejorar la veracidad de los resultados en las simulaciones y análisis.

Para ello se realizaron simulaciones en base a los resultados obtenidos de la auditorias y se utilizó el motor de EnergyPlus (EP) con la herramienta de construcción e introducción de geometría SketchUp y el Plug-in para la modelización de edificios e introducción de cargas, horarios, etc., OpenStudio (OS). EnergyPlus es probablemente el motor de cálculo más completo y constantemente actualizado para la simulación energética de edificios, OpenStudio es una interfaz que facilita la introducción de los objetos necesarios en EnergyPlus y que se apoya en SketchUp para la introducción geométrica y constructiva de los edificios. Esta asociación de EnergyPlus con SketchUp mediante OpenStudio permite modelizar edificios para simularlos energéticamente.

Por lo que al realizar las simulaciones de los modelos base y bajo consumo nos proporcionar un claro comportamiento actual y en el cual podremos realizar modificaciones para obtener ahorros tanto de recursos como económicos siempre y cuando no se vea afectado el confort por lo que al final también se presentaran alternativas y recomendaciones para mejorar la eficiencia energética del edificio y así obtener lo máximo en ahorro.

Objetivo General

- ✓ Realizar un estudio para el ahorro y eficiencia del edificio de la Procuraduría General de La República, San Salvador (Torre PGR) y aplicar las técnicas de administración de energía junto con herramientas efectivas para establecer modelos de operación real (modelo línea base), y crear una acción de mejora para ahorrar energía y la eficiencia energética en las instalaciones propuestas de esta institución.

Objetivos Específicos

- ✓ Implementar metodologías disponibles que evalúen la eficiencia energética en edificios del sector público.
- ✓ Aplicar las herramientas informáticas de análisis térmico y eléctrico, para evaluar los comportamientos térmicos y energéticos de las distintas condiciones en la que operan los inmuebles.
- ✓ Realizar una auditoria Eléctrica y realizar modelo base de consumo de energía y posteriormente realizar un modelo de bajo consumo de energía para obtener ahorros en la facturación y mejora en la eficiencia energética.
- ✓ Proveer un plan de acción que puedan aprovechar las oportunidades de ahorro y mejorar las operaciones de los inmuebles en cuanto al uso de los rubros energéticos que integren.
- ✓ Realizar un análisis para cuantificar los consumos de energía de iluminación, equipo de oficina, aire acondicionado y otras cargas que sean representativas en la facturación.
- ✓ Genera recomendaciones en base a los resultados que puedan ayudar a utilizar la energía de forma eficiente sin que se afecte el confort de las personas.

CAPITULO 1

Marco teórico, descripción de metodología y programas.

¿Qué es la Eficiencia Energética (EE)?

Se puede considerar eficiencia energética a la optimización del consumo energético para alcanzar un nivel de confort y servicios determinados, entre los cuales podemos destacar el consumo de energía eléctrica y ajustarlo a las necesidades reales de los usuarios o implementando medidas para ahorrar energía evitando pérdida de confort.

Para conseguir un recinto eficiente energéticamente es necesario implementar una serie de medidas que, en realidad, están al alcance de todos, por ejemplo: el uso adecuado de equipos de iluminación, climatización y su respectivo horario sin afectar las necesidades de confort, así mismo la adquisición de equipos eléctricos con etiquetas de A+, A++, A+++ y también la consideración de materiales los cuales permiten tener propiedades necesarias para implementar algunas mejoras como: aislantes para obtener un área que evite la transmisión de calor y otros.

¿Cómo mejorar la eficiencia energética de un edificio?

Para mejorar la eficiencia energética de un edificio, se debería realizar una rehabilitación energética integral. Conviene aprovechar las obras y mejoras que se vayan a realizar en el edificio, reparaciones, etc. para incluir este tipo de medidas de eficiencia energética que nos permitan ahorrar energía en los edificios.

Algunas estrategias para mejorar la eficiencia energética de un edificio son:

- La renovación de los sistemas relacionados con la energía: sistemas de calefacción, aire acondicionado, ventilación, iluminación, electrodomésticos. El uso de sistemas eficientes de climatización, como Chillers, calderas de condensación o bombas de calor, que además de ser más eficientes emiten menos emisiones directas de CO₂ a la atmósfera.
- Integración de renovables: energía solar térmica, geotermia, eólica.

- Mejora del aislamiento y eliminación de puentes térmicos: cambiar las ventanas supone una mejora de la eficiencia energética ya que ayuda a conservar el frío/calor que se genera en la vivienda y aislarla del exterior.
- Integrar energías renovables que permitan ahorrar energía, como paneles solares térmicos o paneles fotovoltaicos para autoconsumo.
- Renovar la iluminación por otra de tipo LED.
- Toda reforma en un edificio debe ir orientada a mejorar la eficiencia energética de un edificio, de cara a reducir la huella ambiental del edificio y reducir el consumo energético.
- Uso adecuado de horarios de utilización de equipos como: iluminación, climatización y su programación (temperatura en caso de equipos de AA).

Para que las edificaciones trabajen eficientemente, debemos de entender cómo funciona un edificio, para ello, se deben de comprender aquellos componentes que contengan las condiciones mínimas de EE a que se le atribuye al edificio desde el momento en que se diseña hasta la operación a la que será aplicado, entonces, el funcionamiento energético de un edificio se expresa en el siguiente párrafo:

"Un edificio es una MÁQUINA TÉRMICA a la cual se le aplica una ENERGÍA (en forma de energía térmica, eléctrica) mediante la transformación de la cual es capaz de realizar un TRABAJO (calefacción, refrigeración, iluminación, ascensores, etc.) y generando a la vez unos residuos"

Dr. Florencio Manteca González,

Departamento de Arquitectura Bioclimática de CENER6

Cualquier tipo de energía (entiéndase a la energía del tipo eléctrico y combustible) que ingresa al edificio, es utilizada de acuerdo a la aplicación que se requiera internamente en la infraestructura. Es decir, si se considera un edificio del tipo administrativo, la electricidad, por ejemplo, se utiliza para la iluminación, para los equipos eléctricos de oficina, para los equipos de aire acondicionado, etc.; el combustible se utiliza para el transporte o planta de emergencia. En algunos países la energía proveniente del sol es aprovechada para la climatización e iluminación. La utilización de equipos eléctricos y la carga térmica de los usuarios incrementan la temperatura interna de la infraestructura, esto da partida a soluciones de climatizar la infraestructura, implementado los distintos tipos de tecnología que existen en la actualidad. Estas tecnologías suelen ser la utilización de elementos para la aislación térmica del edificio, instalación de equipos de aire acondicionado, utilización de los elementos naturales, etc.

Sin embargo, el empleo de la energía genera costos y residuos que, sin una buena administración del manejo de estas, estos remanentes se elevan en gran medida que la

repercusión cae sobre la base económica que sostiene el funcionamiento del edificio y, sobre todo, de algunos residuos que repercuten en el medio ambiente.

Un edificio puede durar de 50 a 100 años o más. Por lo tanto, es sumamente rentable (y no muy caro) incorporar una tecnología energética eficiente desde el principio, aplicando las normas, reglamentos y tecnologías relativas a la EE. El valor a largo plazo de un edificio depende de 3 factores:

a) la capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios;

b) de condiciones medioambientales variables;

c) evolución de las expectativas sobre calidad del proyecto.

Por lo tanto, los edificios bien ventilados e iluminados, que tengan un consumo mínimo de energía y que resulten atractivos a los consumidores constituirán una inversión más sólida y duradera. Como consecuencia, la prolongación de la vida útil del edificio ya construido y la conservación de su valor como inversión a largo plazo van a depender de una serie de intervenciones de rehabilitación destinadas a mejorar la construcción en función de los factores enumerados.

Condiciones Generales de Diseño, Construcción y Climatización en Edificios

El EE debe de comenzar desde la realización de los planos arquitectónicos de la infraestructura, tal como se muestra en la figura 1.1. En este punto todo profesional en diseño arquitectónico debe de considerarse aspectos como:

- Trayectoria y proyecciones del sol. Orientación del edificio.
- La captación y protección solar sobre la envolvente.
- Consideración de aislación térmica de la envolvente.
- Adoptar las iniciativas de arquitectura bioclimáticas.
- Etc.

Una vez terminado el diseño arquitectónico se continúa con la parte de diseño eléctrico, en esta etapa, lo significativo a considerar en la EE es el diseño de iluminación. El profesional eléctrico (ingeniero, técnico, etc.) junto con profesionales en arquitectura, deben de concertar con la mejor iluminación considerando la luz natural. El ingeniero eléctrico debe de diseñar la iluminación correcta de acuerdo a la aplicación y/o utilización que será asignada a cada área del edificio, donde debe de considerar los equipos necesarios y

eficientes, mientras que el arquitecto debe de evaluar condiciones de penetración de luz natural considerando los adecuados materiales de acristalamiento.

La siguiente etapa corresponde a los lineamientos de selección de materiales a utilizar en la obra civil, los profesionales en construcción (Ing. Civiles, maestros de obra, etc.), que también deben de coordinarse con los arquitectos y profesionales mecánicos, tienen que evaluar que materiales que deben utilizarse considerando las propiedades físicas de estos. Es decir, valorar los elementos como ladrillos, cemento, tipo de material de las ventanas y puertas, etc., estudiando sus propiedades como conductividad térmica y eléctrica, densidad del material, absorción térmica, solar y visible, etc.

Esto conlleva a evaluar tecnologías de aislamiento térmico de la envolvente del edificio, tanto para las paredes como para las ventanas interiores y exteriores, entre otras configuraciones sobre la estructura del edificio. Las figuras 1.2 y 1.3 muestran una tecnología para cada caso (pared y ventana), de entre numerosas tecnologías de aislación térmica que existen.

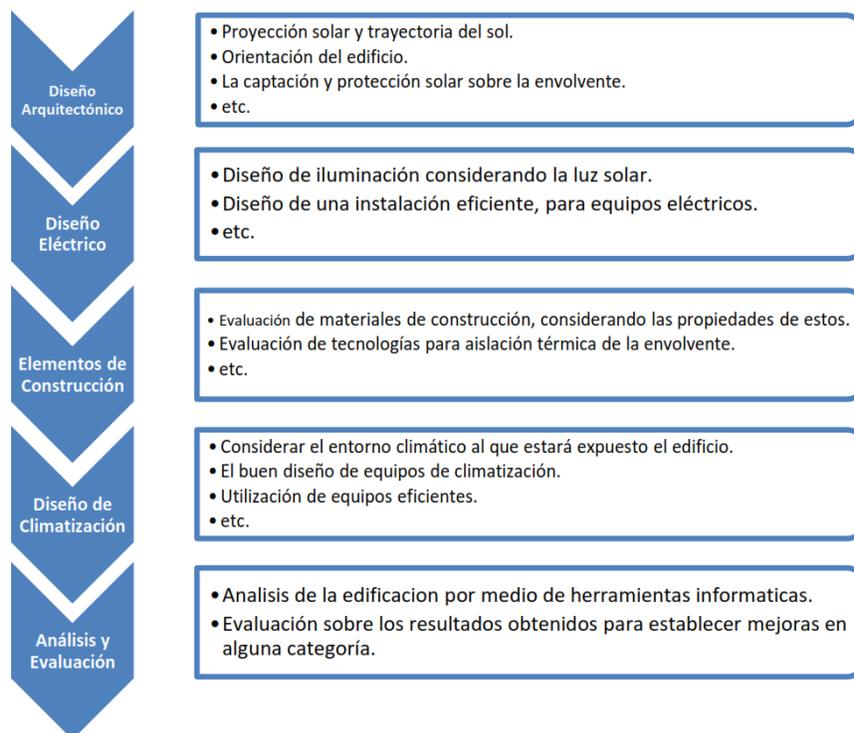


Figura 1.1. Proceso de análisis y evaluación de Eficiencia Energética en diseño de edificaciones, también es válida para otro tipo de construcción. Fuente: Tesis Eficiencia Energética En Los Edificios De La Facultad De Ingeniería Y Arquitectura De La Universidad De El Salvador.

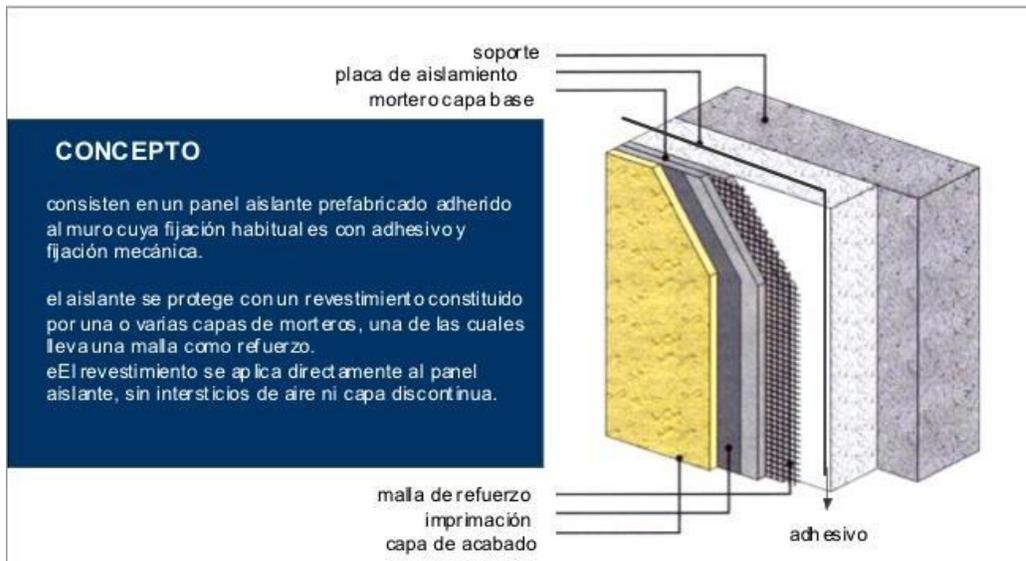


Figura 1.2. Imagen descriptiva de Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (ETICS). Fuente: Tesis Eficiencia Energética En Los Edificios De La Facultad De Ingeniería Y Arquitectura De La Universidad De El Salvador.

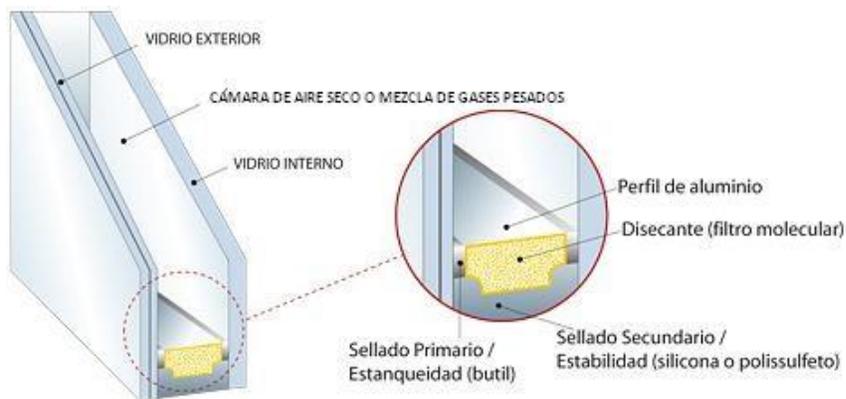


Figura 1.3. Imagen descriptiva de Sistema de Doble Vidriado Hermético (DVH). Fuente: Tesis Eficiencia Energética En Los Edificios De La Facultad De Ingeniería Y Arquitectura De La Universidad De El Salvador.

Entre las ventajas que proporcionan estos sistemas son la de reducir ruido, controlan y regula el paso de la luz, protege tanto del frío como del calor regulando su entrada y/o pérdidas, reduce las emisiones contaminantes de CO₂, proporciona un importante ahorro económico en consumos de energía (calefacción y/o aire acondicionado).

Posteriormente sigue el diseño de equipos de aire acondicionado (en adelante AA) para climatizar las áreas que serán ocupadas en el edificio. Esta etapa es una de los más importantes dados los porcentajes significativos de consumo de energía que producen, los profesionales en instalación de equipos de AA, deben de considerar factores como:

- Ambiente externo de la infraestructura.
- Ocupantes del área a climatizar.
- Equipos eléctricos e inmuebles de oficina que estarán en el área.
- Ocupar equipos de AA que sean eficientemente energéticos.
- Emplear la infiltración y ventilación de aire. Etc.

El dimensionamiento de los equipos de climatización es una tarea meticulosa con respecto a todos los elementos que se deben de tomar en cuenta, muchas empresas dedicadas a la instalación de equipos de AA, generalmente no prestan atención a las metodologías de dimensionamiento de estos equipos, profesionales en estas áreas se dan a la tarea de usar métodos empíricos con la finalidad de conseguir el beneficio propio económico. Por ello se debe persuadir a las empresas y/o profesionales dedicados a la instalación de equipos de climatización, que adopten las herramientas adecuadas para el buen dimensionamiento de estos equipos.

La última etapa constituye la evaluación y análisis del modelo arquitectónico del edificio (hasta este momento no se ha iniciado el proceso de construcción del proyecto), en este punto todos los profesionales deben de integrarse para evaluar el diseño del edificio mediante instrumentos informáticos de análisis energéticos. Los resultados del análisis determinarán el comportamiento energético del edificio, sin embargo, estos resultados previos a la operación del edificio son parciales, es decir, puede ser que cuando el edificio entre a operar, no se tenga los resultados esperados de eficiencia energética, debido a muchas razones que puede variar dependiendo del responsable de la infraestructura. Esta incertidumbre, permite que los análisis de los diseños de pre-construcción sean más rigurosos creando un ciclo del proceso de diseño y evaluación de EE hasta obtener el mejor diseño del edificio valorando las diferentes opciones de tecnologías que permitan lograr una buena EE.

Por último, se inicia la etapa de construcción, y una vez terminada esta fase, sigue la etapa de operación según la finalidad con la que se construyó el edificio, en el periodo de vida útil del edificio es donde se registrarán los verdaderos resultados de la práctica de la EE, sin embargo, dependerá de las exigencias de parte del responsable del edificio acatar las recomendaciones para la aplicación de EE.

Así que todos los profesionales involucrados en el proceso diseño y evaluación de EE que se mostró en la figura, tienen como objetivos integrar aspectos esenciales del uso eficiente de la energía que permiten a los usuarios de las edificaciones tener confort, calidad laborar,

calidad productiva (económica y tecnológica) de la empresa, etc., para orientar a que se logre la máxima EE de los edificios. Algunas pautas que esta integración de profesionales debe de respetar para el diseño y construcción de edificios son:

- Diseñar el edificio de tal modo que consuma la menor energía posible durante su vida útil (diseño bioclimático, correcta ventilación e iluminación natural, facilidad de acceso, reducción de recorridos, fácil intercomunicación entre personas, etc.)
- Utilizar tecnologías de alta eficiencia energética, sobre todo para equipos de AA y de oficinas. Los edificios para uso hospitalarios deben de explotar condiciones energéticas en sus equipos médicos.
- Diseñar el edificio de tal modo que se utilice la menor energía posible durante su construcción, utilizando materiales que se hayan fabricado con el menor gasto energético posible; buscando la mayor eficacia durante el proceso constructivo; evitando al máximo el transporte de personal y de materiales; estableciendo estrategias de prefabricación e industrialización.

Bajo esta mirada es esencial comprender que el uso eficiente de la energía en los edificios es donde debe considerarse desde las primeras etapas de diseño. De este modo, es muy importante que el diseño arquitectónico busque acercarse lo más posible al confort de los usuarios, haciendo mínima la necesidad de gastar energía para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana.

Auditorías Energéticas en Edificios Existentes

La realización de Auditorías Energéticas permite conocer en detalle los indicadores de mayor interés energético de los edificios y proponer actuaciones para mejorar la eficiencia de los equipos e instalaciones, y así obtener ahorros energéticos y económicos.

Para iniciar un estudio de EE en estos edificios primero se debe de concebir una metodología que comprenda el funcionamiento de la infraestructura para luego aplicar ciertas medidas de ahorro energético. Los siguientes pasos enumeran brevemente la metodología a seguir:

- Obtener información y operación actual del edificio: Esto incluye la visita de campo, medición y cuantificación de áreas o recintos, equipos eléctricos actuales, personas por áreas, horarios de trabajo y uso de equipos.
- Analizar el comportamiento del edificio en cuanto a su consumo de energía: Obteniendo el consumo por medio del historial recibos.
- Crear base de datos de perfiles de carga (kw) y consumo energía por zonas o recintos.

Metodología Básica para Auditoria Energética

Las auditorías son un proceso sistemático mediante el que se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de la empresa para detectar los factores que afectan a dicho consumo e identificar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro en función de su rentabilidad. El diagrama de flujo de bloque de la figura 5 muestra las etapas típicas de la metodología en las que se desarrolla una auditoría energética que a continuación se describen:

Paso 1. Preauditoria o Prediagnóstico. Se realiza una primera vista a la instalación como toma de contacto, recabando información sobre los equipos, métodos de trabajo, protocolos de actuación, datos de tarificación y consumos energéticos (eléctricos, combustibles fósiles, energías alternativas). El objetivo de esta etapa es detectar los puntos críticos en cuanto a consumos, malas prácticas y poder establecer un plan de acción en cuanto a los períodos y puntos de toma de datos, medidas y entrevistas con el personal.

Paso 2. Toma de datos. Los períodos de toma de datos varían notablemente dependiendo del tipo de empresa, oscilando desde días hasta meses en función del número de equipos a auditar, tipos de instalaciones, dimensiones, etc. En cualquier caso, deben ser suficientes para que los datos sean representativos. Es importante durante esta etapa contar con la colaboración del personal de la empresa, especialmente con el encargado de mantenimiento y el jefe de planta.

Paso 3. Diagnóstico. El estudio de los datos anteriores permitirá identificar los puntos donde no se está consiguiendo un uso eficaz de la energía y establecer las medidas correctivas oportunas, como sustitución de equipos, nuevos protocolos de actuación, etc. Además de la viabilidad técnica, debe analizarse la viabilidad económica, determinando inversiones, beneficios, costes y períodos de recuperación.

Paso 4. Implantación y seguimiento. Una vez adoptadas las medidas propuestas, debe realizarse un seguimiento para comprobar que se están ejecutando correctamente y confirmar las mejoras y los ahorros consiguientes.

A pesar de la consistencia de la metodología de estudio energético representada por el diagrama de bloques de la figura 1.4, no se muestran ciertos procesos que son determinantes a la hora de implementarla en casos reales de edificios diversos según su operación, a causa de esta diversificación de edificaciones es necesaria la confección de una metodología más precisa para su ejecución en la que se deben integrar elementos esenciales que apoyan el estudio, por lo que, en la sección siguiente se desglosa este tipo de metodología para que pueda ser aplicada en los diversos edificios según su utilidad para la que se construyó.



Figura 1.4. Diagrama de bloque que representa la metodología básica de estudio de Eficiencia Energética. Estas etapas son típicas para cualquier metodología. Fuente: Tesis Eficiencia Energética En Los Edificios De La Facultad De Ingeniería Y Arquitectura De La Universidad De El Salvador.

Para finalizar esta sección se debe de entender que las metodologías son bases fundamentales para realizar un estudio en el campo de EE en edificios. La buena aplicación de estas reflejará al final del análisis resultados satisfactorios y contundentes para aquellas instituciones que estén determinadas a que se le efectúe un estudio de mejora en la EE.

Modelo de metodología de estudio de eficiencia energética.

En la sección anterior se mencionó sobre la incapacidad de ejecutar la metodología expuesta en los diversos edificios, en esta sección se expande a una metodología más detallada que involucra criterios más rigurosos para un estudio de EE.

Se sabe que en una ciudad existe diversidad de edificaciones que se le atribuyen diferentes usos (por no mencionar un país), tales como hospitales, centros de estudios, oficinas administrativas, etc., de allí surgen las diversas metodologías para los distintos tipos de edificio según la utilidad por la que se construyó. Entonces, dado que una metodología aplicable a hospitales (los hospitales son casos especiales de estudio de EE), esta no se puede aplicar a un edificio dedicado a oficinas o a otro tipo; los dos presentan usos distintos y equipo eléctrico diferente. No obstante, todas las metodologías disponibles para estudios de EE tienen características similares que pueden integrarse en una sola metodología general, es por ello que las etapas de la metodología básica (ver figura 5 de la sección anterior) no muestra pautas esenciales que pueden ser fundamentales a la hora de la aplicación. En la figura 6 tenemos un nuevo modelo de metodología para EE, se puede ver que este diagrama de bloques es más preciso en sus etapas, ya que desglosan elementos más expresivos.

Para realizar el estudio de eficiencia energética se debe considerar los siguientes aspectos los cuales nos permitirán realizar un buen estudio con resultados consistentes y que mostrarán el comportamiento real actual del edificio a estudiar.

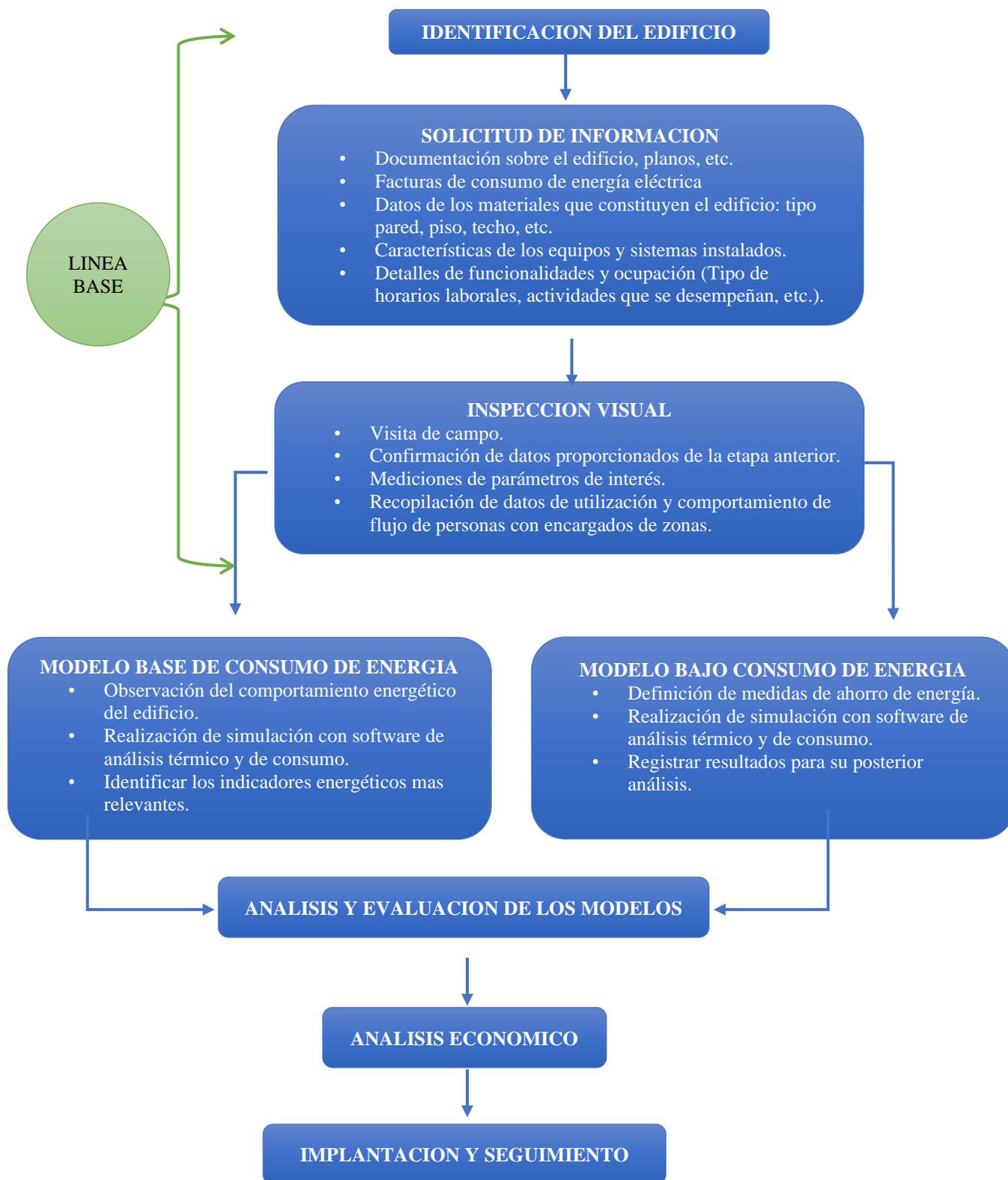


Figura 1.5. Diagrama de bloque que representa una metodología más compuesta y Detallado en comparación con la metodología expuesta en la sección anterior. Fuente: Tesis Eficiencia Energética En Los Edificios De La Facultad De Ingeniería Y Arquitectura De La Universidad De El Salvador.

Línea Base

La línea base es la especificación de las condiciones actuales o iniciales de los edificios ya construidos que se encuentran en operación. Ésta es importante porque es el punto de partida de la operación real del edificio en donde se observarán las oportunidades de ahorro energético y sobre los cuales se comparan los resultados de la aplicación de medidas de ahorro que lleguen a implementarse, las primeras tres etapas del diagrama de bloques presentados en la figura 6 comprende lo que es la Línea Base expuestas a continuación.

Identificación del Edificio

Aunque esta etapa es imprescindible para cualquier edificación, hay casos en los que empresas, instituciones, organizaciones, etc., tienen en operación varios edificios y estos están en una misma facturación por lo cual se debe especificar que edificio o edificios se desarrollara el estudio.

Solicitud de Información

En esta parte de la metodología se debe solicitar toda información crucial para un estudio de EE, una lista de esta información es la siguiente:

- ✓ Solicitar planos arquitectónicos de todas las vistas posibles del edificio, esta documentación debe incluir planos eléctricos, de distribución de equipos de climatización, etc.
- ✓ Solicitar recibos de facturas eléctricas y de combustible. Esta información sirve para tener una comprensión del comportamiento al que ha estado sujeto el edificio hasta su actual operación en función de energía y costos. Las facturas deben de solicitarse desde un período considerable de 2 años como mínimo.
- ✓ Obtener información de las características constructivas del edificio. Se debe de instar sobre los materiales utilizados en la construcción de la envolvente, el material utilizado en las ventanas y puertas, materiales utilizados internamente en el edificio (pisos, cielo falso, divisiones, etc.). También hacer una investigación de las propiedades físicas de los materiales (conductividad eléctrica, conductividad térmica, coeficiente de reflexión, etc.).
- ✓ Obtener información técnica de los equipos de oficinas (PC's, faxes, fotocopiadoras, etc.), incorporar a esta información las características funcionales y ocupacionales de estos equipos.
- ✓ Adquirir información de los equipos de climatización, esto es:
 - identificación el tipo de equipo de climatización, datos técnicos de unidades condensadores como unidades evaporadoras, dimensiones de los ductos que sirven el aire a las áreas, etc., reporte del control de mantenimiento dado a los equipos de climatización,

- si no se posee planos de distribución de equipos de climatización, solicitar las áreas climatizadas por cada equipo, incorporar la distribución de controles de temperatura, reporte de características ocupacionales de los equipos de climatización, es decir, hora de encendido y apagado, temperaturas de termostato, etc., Cantidad de personas que hacen uso de las instalaciones. Dado que un edificio contiene diferentes campos de trabajo, sería preciso hacer un conteo de las personas por cada área y mejor aún, si el conteo es por cada área climatizada. Si el estudio lo requiere, solicitar también un registro de datos meteorológicos a instituciones especializadas, de la región donde se encuentra el edificio. Este cúmulo de información es vital para las siguientes etapas de la metodología, ***por lo que la falta de alguna información de los ítems anteriores traerá inconvenientes en el proceso del estudio***, como contratiempos, resultados desfavorables, etc.

Inspección Visual

Después de obtener toda la solicitud requerida, la siguiente etapa es la de realizar una inspección visual al edificio, en esta etapa se deben recoger datos sobre mediciones de parámetros eléctricos y físicos de interés (eléctricos, temperatura, etc.), catear cambios en las instalaciones que no están registrados en los planos y la corroboración de la información adquirida en la etapa anterior, en síntesis, es un levantamiento de campo con la colaboración de los encargados de campo sobre todo de los encargados del mantenimiento o jefe de planta, la colaboración incluye entrevistas a estos sujetos.

Durante la visita al edificio se debe de apreciar las posibles deficiencias que dan hincapié a una operación ineficiente y que conlleva a una elevación del consumo energético. Estas deficiencias serán de gran valor a la hora de definir las medidas de ahorro energético.

Modelo Base de Consumo de Energía

De acuerdo a la información adquirida en las etapas anteriores, se crea un modelo base que interprete el comportamiento energético actual del edificio, para ello se realizan prácticas simuladas con software de análisis térmico y energético. Si es posible se aplicarán normas y técnicas atribuibles a aspectos técnicos como diseño del edificio, equipos de climatización, sistema eléctrico (sobre todo iluminación), etc.

Después de operar los resultados arrojados por las simulaciones se tendrá un perfil de consumo de energía donde se identificarán los indicadores energéticos que manifiesten anomalía, es decir aquellos indicadores que presenten un nivel de consumo no deseable.

A estos indicadores se les efectuarán los cambios necesarios de acuerdo a las medidas definidas de ahorro de energía y así crear un *modelo de bajo consumo de energía*, este

modelo es explicado en la siguiente etapa. Los resultados de estas simulaciones se registran para su posterior análisis en la etapa *análisis y evaluación de los modelos*.

Modelo de Bajo Consumo de Energía

Este modelo incluye medidas de mejoramiento en la operación del edificio, con finalidad de aprovechar el ahorro energético y de mejorar la EE. Luego de identificar los indicadores energéticos a evaluar, provenientes del *modelo base de consumo de energía* y del juicio tomado en la inspección visual de aquellos elementos que requerirán cambios, se elabora una serie de acciones que deben de insertarse en el modelo creado en la etapa anterior. Estas acciones varían en los diferentes estudios y esto es porque los edificios presentan diferentes operaciones, algunas medidas que comúnmente se presentan en EE son:

- Remodelación constructiva de algunas zonas del edificio. Por ejemplo, la instalación de corta soles o persianas metálicas para disminuir la incidencia directa de los rayos solares. En esta práctica se necesitará de la colaboración de profesionales en arquitectura o profesionales civiles.
- Cambio y/o instalación de equipos climáticos eficientes. Debe de considerarse de cambios de aquellos equipos de climatización instalados actualmente a equipos más eficientes, también realizar cálculos precisos para la capacidad de los equipos, aquí va implicar que se utilicen normas sobre la climatización de áreas. La instalación de un control más eficiente que cense personal en el área mejoraría las condiciones de consumo.
- Utilización de tecnología de aislamiento térmico. Aparte de los cambios que se hagan en la fachada del edificio, no está de sobra de la utilización de tecnologías de aislamiento térmico en la envolvente. Algunas tecnologías de ejemplo pueden ser: aislamiento exterior de las paredes, ventana de doble vidrio hermético, etc.
- Crear un sistema de iluminación eficiente. Al incorporar reestructuración en la envolvente del edificio, que tenga como objetivo bloquear un porcentaje de la luz natural, se debe realizar un sistema de iluminación considerando la cantidad de luz natural que entra al área. También debe de instalarse un control de encendido y apagado, utilizando por ejemplo sensores.
- Cambio en actitud de ahorro de energía. Esto se logra colocando viñetas en sitios visibles para recordarle al usuario sobre la importancia de un ahorro de energía.

Una vez elegidas la lista de acciones para el edificio en estudio, se insertan en el modelo y se realiza prácticas simuladas con software de análisis térmico y energético, luego se registran los datos para el análisis considerado en la siguiente etapa.

En esta etapa debe de utilizarse las correspondientes normas para aquellas medidas que tengan cambios físicos en el edificio. Por ejemplo, si se requiere volver hacer un cálculo de luminarias considerando la luz natural se debe de utilizar normas que implique diseño de iluminación, normas de consideraciones de utilización de luz natural, normas de construcción de edificio, etc.

Análisis y Evaluación de los modelos

De los datos registrados que se obtuvieron a partir de las simulaciones hechas a los dos modelos, se comparan para determinar si se ha cumplido con la finalidad del ahorro energía, si los datos no son satisfactorios debe de verificar las etapas que le anteceden a esta para realizar nuevamente los cambios necesarios de manera que obtengan los resultados. Para validar los resultados de las simulaciones, se buscó acercarse lo más posible a los datos reales obtenidos de las mediciones hechas en la etapa de -Inspección Visual|| para los parámetros eléctricos y físicos de interés.

Análisis Económico

Una vez observados los datos y cumplir la finalidad esperada, se realiza un análisis económico para establecer la viabilidad de la mejora en la eficiencia energética. Dentro de este análisis económico se debe de estudiar lo siguiente:

- Coste de inversión
- Coste de explotación
- Tiempo de amortización
- Impacto ambiental

Al final el técnico evaluador debe de confirmar con reportes al encargado del edificio, sobre los beneficios de la práctica de EE en sus instalaciones, queda a criterios de los encargados seguir las recomendaciones dados por el técnico evaluador.

Implementación y Seguimiento

Ahora se debe de imponer las medidas definida de ahorro energético al edificio, cuyo seguimiento es establecido por el técnico en estudio de EE, él evalúa los cumplimientos de las medidas propuestas y corrobora que los resultados reales se asemejan a los resultados del análisis previo, desarrollando reportes continuamente del comportamiento energético del edificio, sobre todo de aquellos indicadores que se eligieron para un cambio.

Descripción y uso de equipos y programas a utilizar en la auditoría eléctrica.

Para la crear la línea base y el modelo de bajo consumo del edificio de la Procuraduría General de La República(PGR) San Salvador para el estudio de eficiencia energética utilizaremos el modelo de antes mencionado, por lo que la línea base se centrara en las condiciones actuales en las que se encuentran las instalaciones, por lo que el uso de un analizador de red e instrumentos de medición serán importantes para la obtención de datos confiables a continuación mencionaremos algunos equipos con los cuales se tomaran medidas:

Medidor de energía y potencia portátil.

Para realizar las mediciones a los equipos como: impresoras, oasis, cafeteras, computadoras y otros se utilizará un medidor de energía portátil el cual nos ayudará a obtener una medición de cada equipo que consume energía así poder individualizar cada elemento del perfil de carga del edificio.



Figura 1.6 Medidor portátil de energía y potencia HER-432 con el cual se realizó las mediciones de potencia y energía que consume cada equipo electrónico en la Torre PGR San Salvador. Fuente Propia



Figura 1.7 Medición de Oasis Primer Nivel torreo PGR San Salvador con HER-432. Fuente Propia

Uso e Instalación de Analizador de red DRANETZ 4400



Figura 1.8 Imagen de equipo DRANETZ 440. Fuente dranetz.com

Equipo el cual nos ayudara a tomar los perfiles de carga de las instalaciones actuales y posterior utilizaremos el programa Dran-View para extraer los datos respectivamente y procesarlos continuación se muestra un ejemplo de utilización:

Se realiza una toma de medida del tablero general de emergencia de la torre PGR San Salvador, la conexión se realiza para una conexión trifásica estrella Voltaje de línea a línea 208V y Voltaje de línea a neutro 120V por lo cual se procede a conectar tanto las sondas que miden corriente y pinzas en dicho tablero:



Figura 1.9 Instalación completa de equipo Dranetz 4400

Luego se procede a la configuración del equipo donde configuraremos los siguientes parámetros:

- Nombre del archivo a guardar "Main principal TG emergencia".
- Se realiza la configuración de la hora y fecha.
- Configuración de Red (Trifásica Estrella 208V/120V)

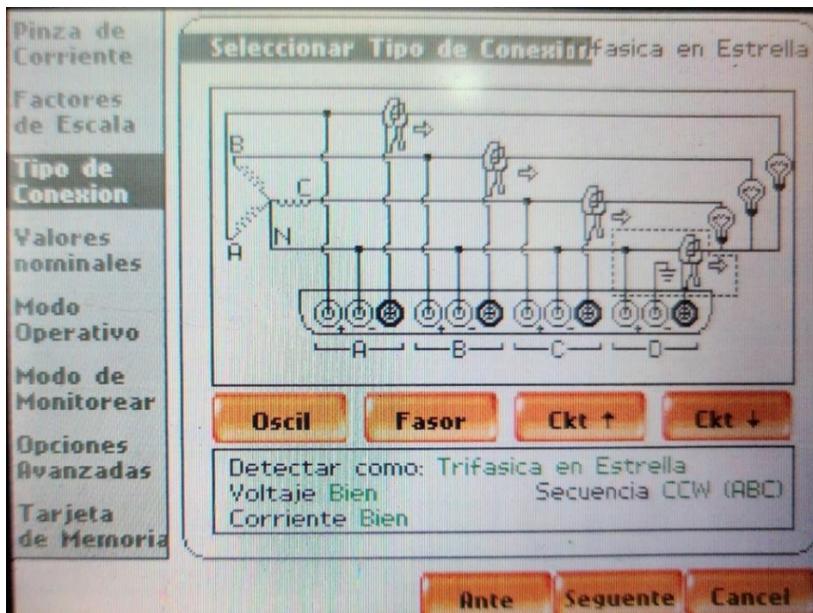


Figura 1.10 Configuración de Red realizada en el equipo Dranetz 4400. Fuente propia

- Comprobación de pinzas y sondas de voltaje y corriente en equipo.

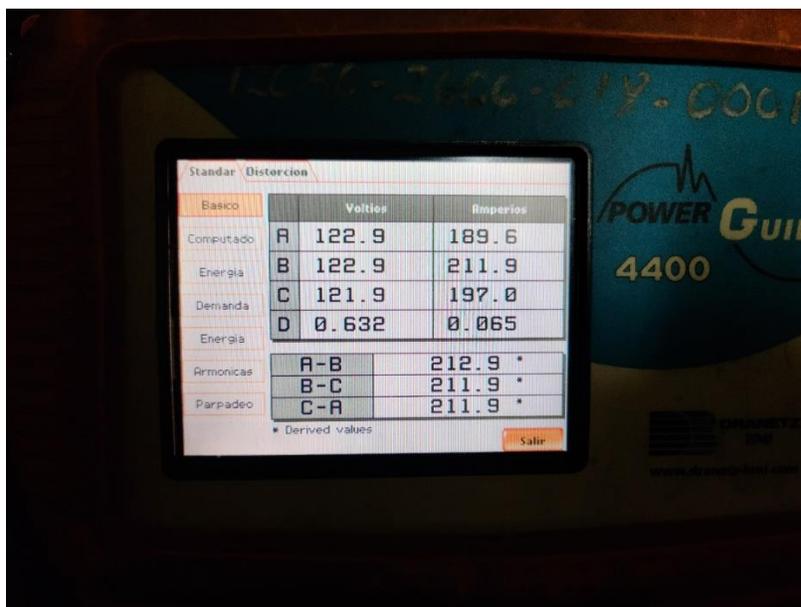


Figura 1.11 Comprobación de voltajes y corrientes en los terminales de las pinzas y sondas de Dranetz 4400. Fuente Propia

- Configuración de datos a obtener; en esta parte utilizaremos la forma de calidad de potencia, demanda y energía la cual nos proporciona los parámetros necesarios requeridos no obstante se puede configurar de forma de solo obtener parámetros en específico esto nos ayuda a ahorrar memoria ya que cada parámetro a obtener aumenta el tamaño del archivo. Parámetros a obtener Voltajes, Corrientes, Frecuencia, Armónicos, forma de onda, potencias hacia la carga y desde la carga, energía acumulada.

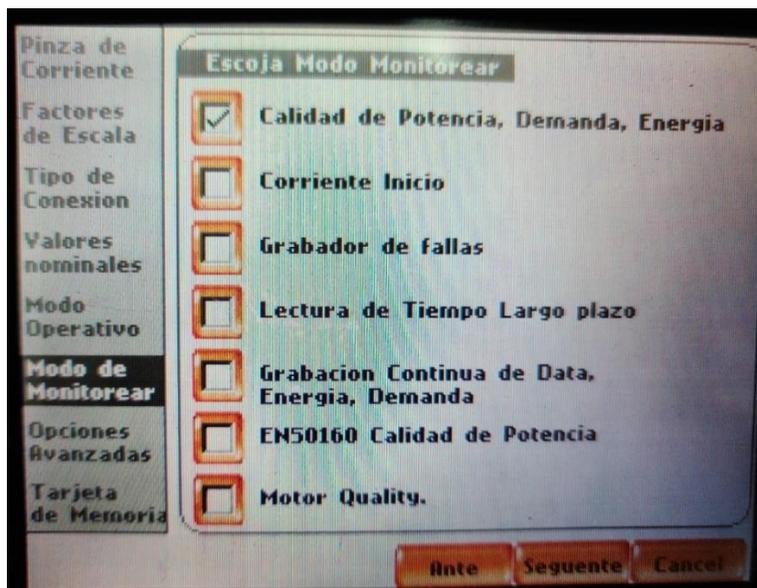


Figura 1.12 Configuración de Modo de monitoreo en dranetz 4400. Fuente propia

- Luego se dejará por 1 día para extraer la información y procesarla.

Obtención de datos de Analizador de red DRANETZ 4400

Luego de terminar el periodo de guardado de datos procederemos a extraer los datos de la tarjeta de memoria del equipo el cual tendremos que conectar al pc con el cable que posee el equipo. Una vez conectado al pc extraeremos los archivos con la extensión DV7 Datafile.

Este archivo es el contiene la información del periodo que se realizan las mediciones, luego se tendrá que descargar el programa Dran-View 7 el cual nos permitirá cambiar el archivo a formato DV7 Document, para ello abrimos el archivo fuente DV7 Datafile y guardamos el archivo y nos creará el archivo con extensión DV7 Document.

NOTA: Referirse al manual del usuario de Dranetz 4400 ampliación de procesos de extracción de archivos, gráficas y monitoreo de parámetros eléctricos específicos.

Programas de Simulación de modelos de energéticos en edificios.

Para realizar un modelo base de comportamiento de consumo energético posterior a una auditoría eléctrica para el estudio de eficiencia energética de un edificio, existen programas los cuales facilitan la obtención de resultados tanto actuales como proyecciones de los cuales mencionaremos los que utilizaremos para realizar el modelo base de bajo consumo de La Procuraría General de la Republica San Salvador (Torre PGR San Salvador).

SketchUp:

Programa que nos permite el modelado en 3D de los edificios en estudio, a partir de la auditoría del edificio obtendremos los parámetros necesarios para poder construir nuestro modelo el cual nos ayudara a la simulación tanto civil, térmica como eléctrica en OpenStudio ya que posee una extensión o plugin la cual ayuda a la fácil manipulación de los modelos en OpenStudio y su respectiva modificación, para nuestro caso utilizaremos sketchup 2019 y el plugin de OpenStudio.

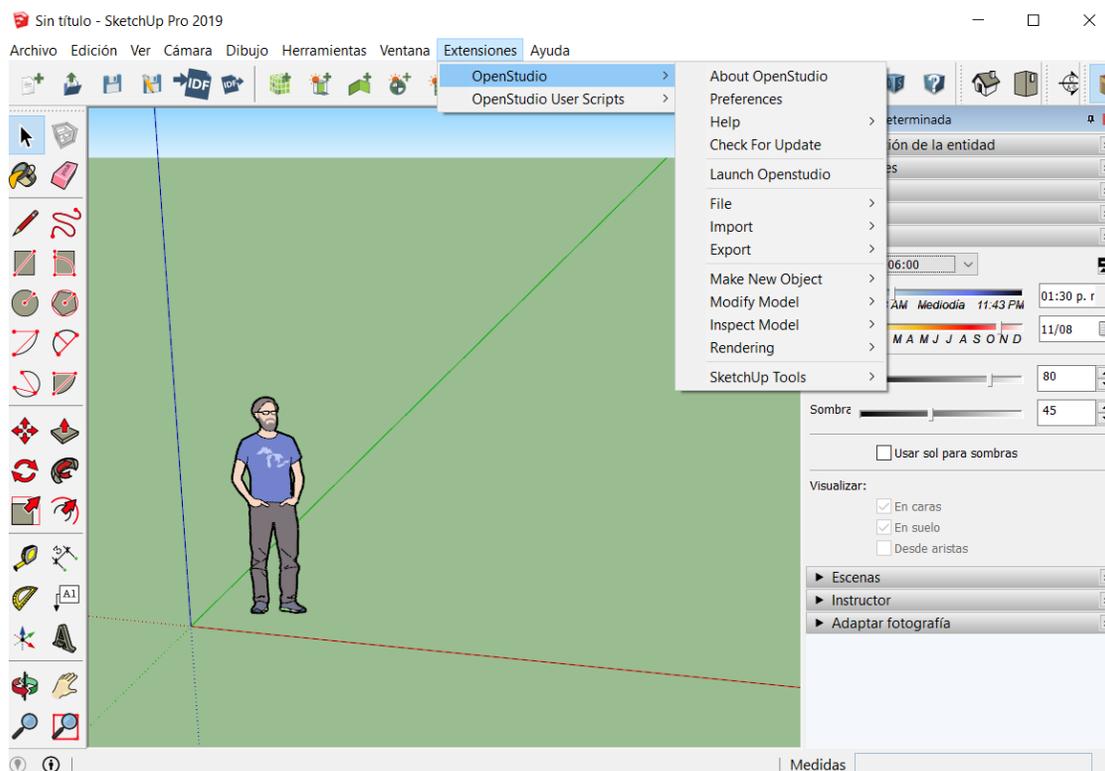


Figura 1.13 SketchUp con extensión OpenStudio. En esta imagen se observa la ventana de extensiones de OpenStudio en SketchUp. Fuente SketchUp 2019.

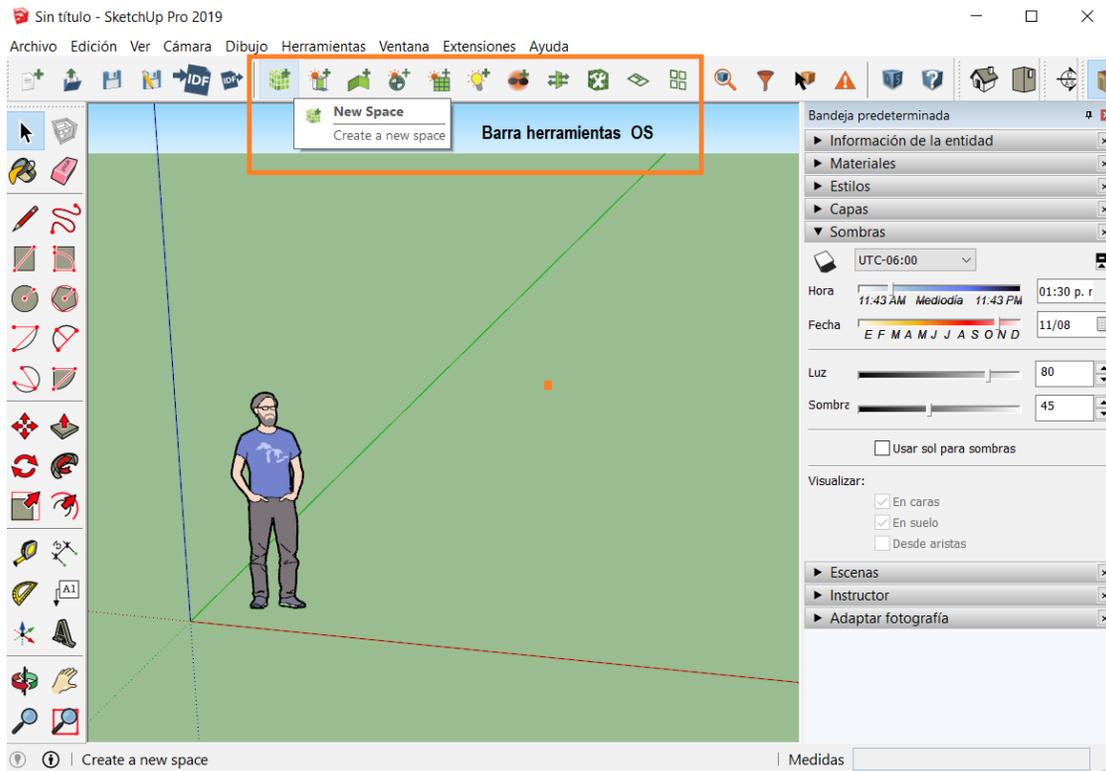


Figura 1.14 Con las herramientas de OpenStudio realizaremos el modelo el cual podremos utilizar las herramientas de edición básicas de sketchUp. Fuente SketchUp 2019.

Ejemplo Modelo Torre PGR San Salvador.

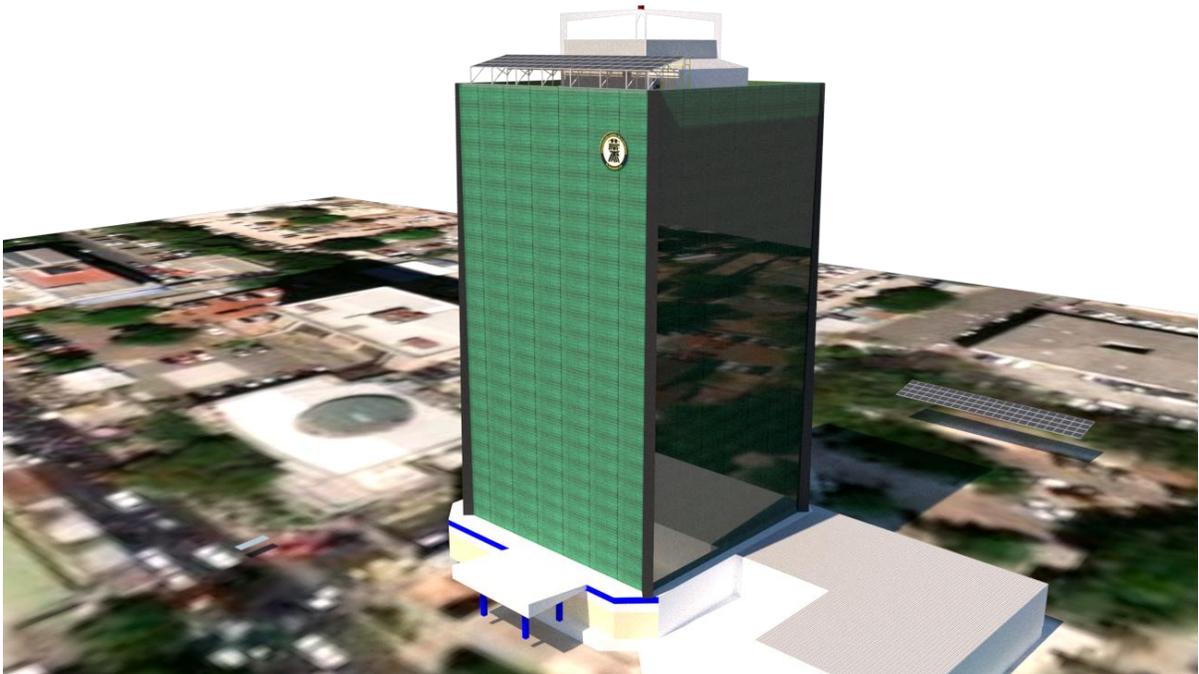


Figura 1.15 Modelo construido para Torre PGR San Salvador. Fuente propia

Al realizar el modelo se tiene que tener en cuenta que algunas opciones de SketchUp no estarán disponibles debido a que no todas las herramientas de sketchUp son compatibles, un cambio significativo se notará en el renderizado el cual no podrá hacerse ya que OpenStudio no le interesa crear imágenes de alta calidad si no tener un modelo 3D de una edificación para darle parámetros de construcción los cuales si tienen que estar bien definidos a continuación se muestra el modelo para OpenStudio de la Torre PGR San Salvador.

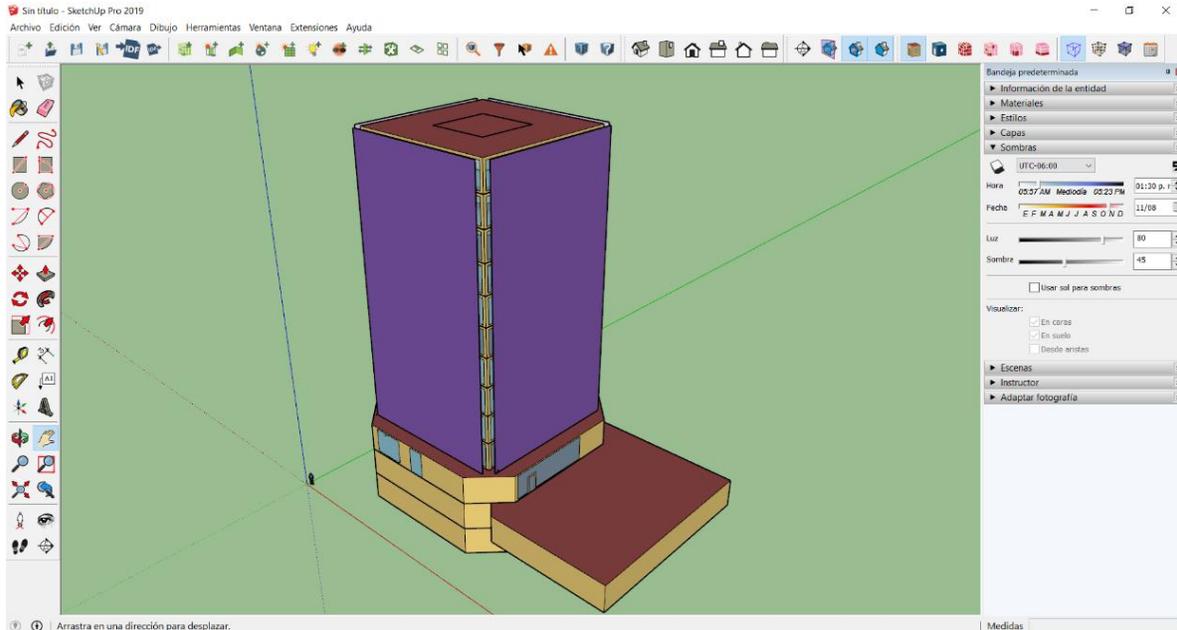


Figura 1.16 Modelo 3D Torre PGR San Salvador 13 niveles construido con herramientas de OpenStudio para el análisis de eficiencia energética. Fuente Propia

Observar que el difusor de iluminación y paso de viento está representado en la superficie color morado la cual en OpenStudio se les dará los parámetros reales que tendrá la superficie.

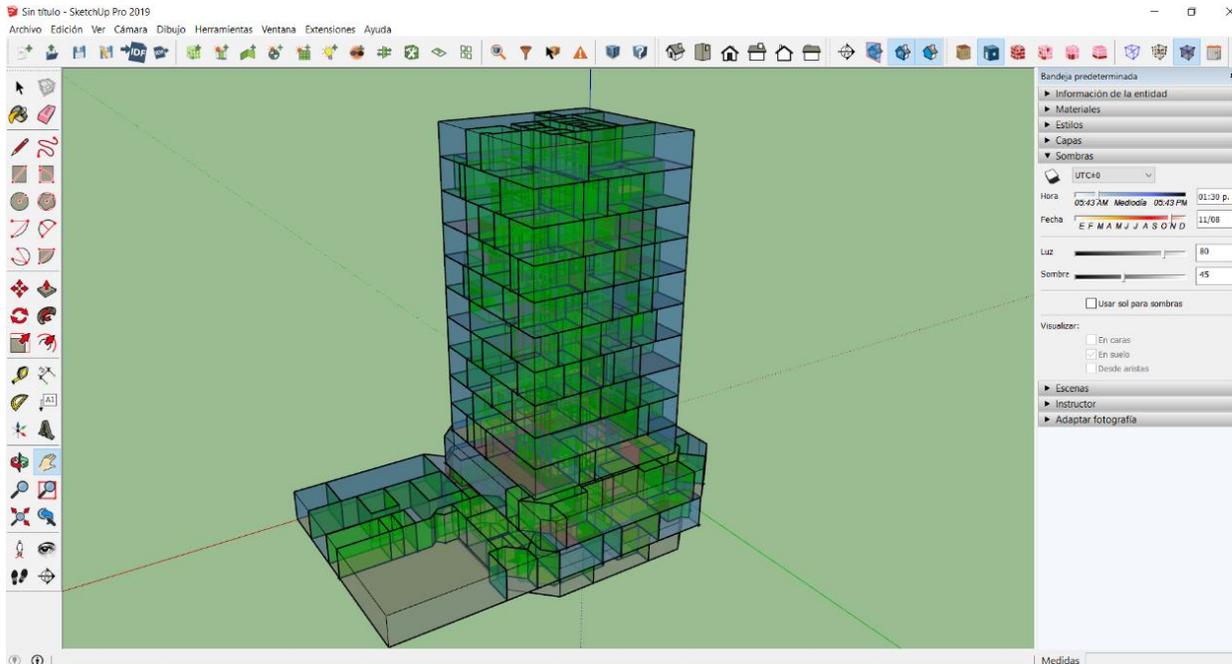


Figura 1.17 Modelo 3D Torre PGR San Salvador divisiones internas 13 niveles. Fuente Propia

Al Tener nuestro modelo en 3D pasaremos a la elaboración del año base en el cual utilizaremos los datos de la auditoria eléctrica (línea Base) y el modelo 3D para utilizar OpeStudio y realizar la simulación de año base y año de bajo consumo.

OpenStudio

Para realizar simulaciones del Modelo base de consumo de energía y Modelo de bajo consumo de energía utilizaremos el programa mencionado el cual no facilita la obtención de datos necesarios para el análisis de eficiencia energética, no obstante, es necesario tener la línea base (auditoria y modelo 3D) para poder parametrizar y realizar simulaciones basados en datos reales.

El procedimiento es sencillo y se sigue de manera sistemática, la interfaz del Open Studio se muestra en la siguiente manera en español luego se realizará paso a paso en idioma original:

a. Lugar

En esta pestaña se configura todo lo relacionado a lugar y zona de medición, para definir las condiciones de clima.

b. Horarios

Se refiere a la configuración de horarios de uso o de trabajo en el edificio y el periodo de simulación.

c. Construcciones

En esta pestaña se define las zonas del edificio en cuestión u oficinas, por zonas y tipos de materiales que la conforman.

d. Cargas

En esta pestaña se definen las cargas en las oficinas y zonas del edificio en cuestión.

e. Tipos de espacios

Aquí se definen cuantas cargas entre otras variables tienen los espacios definidos en edificios, con las cargas definidas en "cargas".

f. Geometría

En esta opción se visualiza el modelo 3D realizado y todos sus detalles

g. Catálogo de edificaciones

En esta sección es similar a la del literal "c" con diferencia que se definen las zonas que comprenderán los edificios.

h. Instalaciones

Similar a "c" y "f", aquí se observa si lo configurado anteriormente está correctamente asignado.

i. Zonas térmicas

Se definen las zonas determinadas por temperatura uniforme, y su número está determinado (como norma), igual a la cantidad de sistemas de enfriamiento o calefacción instalados.

j. Sistemas HVAC

Se refiere a la configuración de los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado existentes en el edificio o por zonas térmicas.

k. Variables de salida

En esta sección se determinan las variables de salida en la simulación.

l. Configuraciones de la simulación

Configuraciones generales de la simulación.

m. Mediciones

Se refiere a motor de mediciones a utilizar en la simulación, en este caso se utiliza "Energy Plus".

Los literales n y o están relacionadas con la ejecución y análisis de datos de la simulación.

EnergyPlus: Motor de cálculo en las solapas Estudio térmico y Climatización de CYPECAD MEP. EnergyPlus™ es un programa de simulación térmica y energética de edificios desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos) con el que se pueden hacer estudios de demanda y consumo energético.

Este motor nos ayudara a visualizar de manera más practica los resultados de las simulaciones.

A continuación, se muestra el menú de OpenStudio, cada uno de sus campos serán descritos para poder editar el modelo de Sketchup con el pluggin de OpenStudio.

Menú bar.

Esta es la barra de menú donde se podrá seleccionar archivo, preferencias, Online BCL y Ayuda.

Al seleccionar file se mostrará el menú de la imagen de al lado donde se podrá crear nuevo archivo, abrir archivo, cargar otras librerías, guardar, exportar el archivo. osm a IDF y viceversa.

Cuando se selecciona Preferences muestra un pequeño menú en el cual se podrá elegir el sistema de unidades como el sistema métrico y el sistema Ingles.

Site.

En esta pestaña se encuentran 4 opciones. Se describe la utilizada para la simulación de este estudio.

Weater File & Design Day

Al seleccionar esta pestaña se encontrarán los campos *Weater File*, *Design Day* y *Location*.

Weater File: este campo muestra el archivo meteorológico (.epw) seleccionado, se puede seleccionar otro archivo al dar *click* sobre el botón *Browse*, si no se cuenta con un archivo es posible descargar uno en el enlace que se encuentra con letras azules.

Design Day: este campo muestra el archivo de diseño de días (ddy) es archivo contiene los días festivos y asuetos, se puede seleccionar otro archivo al dar *click* sobre el botón *Browse*, si no se cuenta con un archivo es posible descargar uno en el enlace que se encuentra con letras azules.

Location: este campo se auto completa a la selección el archivo de clima (.ewp) contiene los datos de coordenadas de ubicación, elevación, zona horaria.

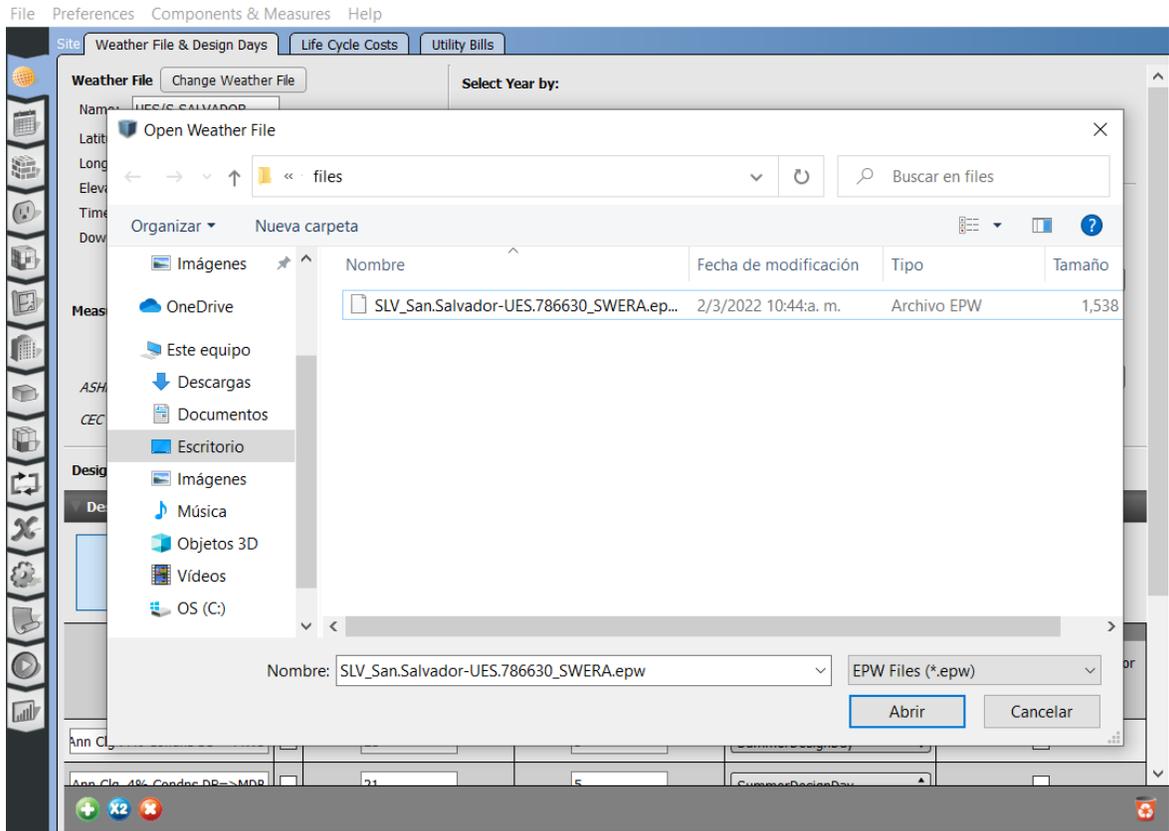


Figura 1.18. Selección del archivo del clima (.epw) en OpenStudio, archivo de clima creado por estudiantes de ingeniería basado en el archivo EPW de Ilopango, Este archivo contiene los datos del clima a lo largo de un periodo de tiempo el cual proporcionara los datos necesarios para simular el modelo en OpenStudio. Fuente UES

Scheludes.

Dentro de esta pestaña se encuentran otras 3 opciones: Year Settin, Schelude Sets y Scheludes.

Year Settin

Esta pestaña se puede seleccionar el año del calendario y se puede editar el periodo del horario del verano activando *daylight saving time*.

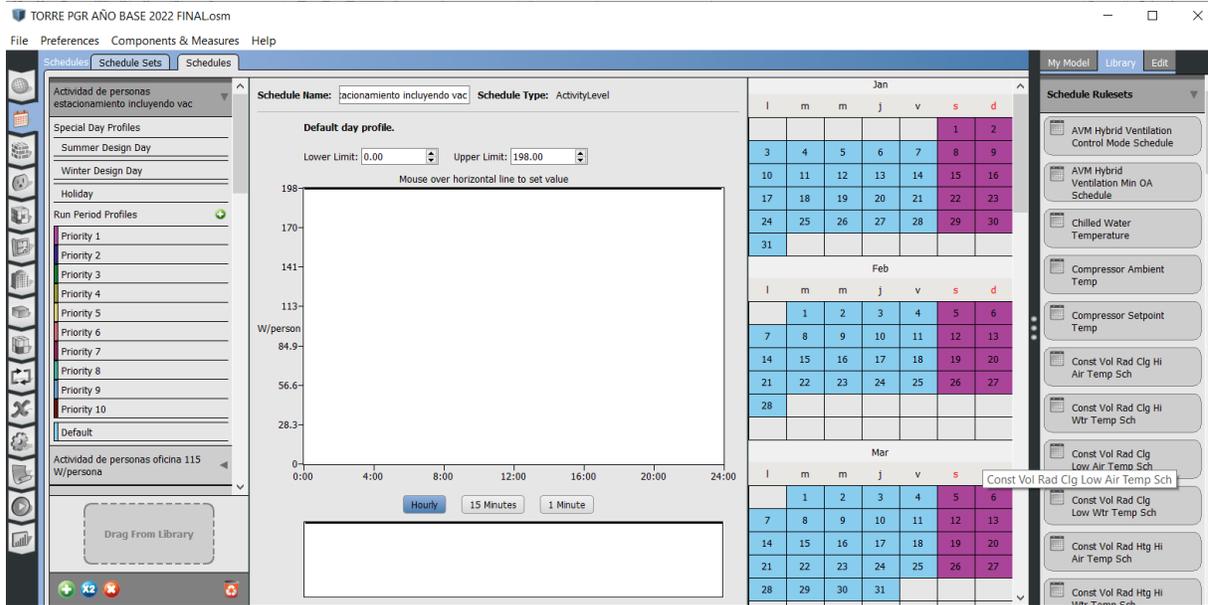


Figura 1.19 Opciones de Schedules, En la imagen se muestra la pantalla para crear horarios de trabajo tanto para personal como equipos eléctricos. Fuente OpenStudio

Schedule Sets.

En esta pestaña se pueden editar conjuntos de horarios y crearlos siempre y cuando el tipo de horario corresponda al mismo tipo de horario de destino (horario número de persona, luminarias, equipo eléctrico, termostato, etc.).

Construcción.

Esta opción contiene todo lo relacionado con los materiales de la construcción de cada una de las superficies creadas, si se escogió una plantilla del modelo estas serán seleccionadas por defecto y pueden ser editadas.

Construction set.

Esta opción muestra las construcciones seleccionadas para paredes, techos, puertas, ventanas, etc. Estas pueden ser modificadas seleccionando un tipo de construcción de *My Library* o *Library*.

Construction

Esta opción muestra los materiales de construcción seleccionados para una construcción específica, por ejemplo, la *construcción 000 Exterior Door*, está construida con dos materiales 000 F08 *Metal surface* y 000 I01 *25mm insulation*. Estos materiales pueden ser cambiados o agregar más.

Materials.

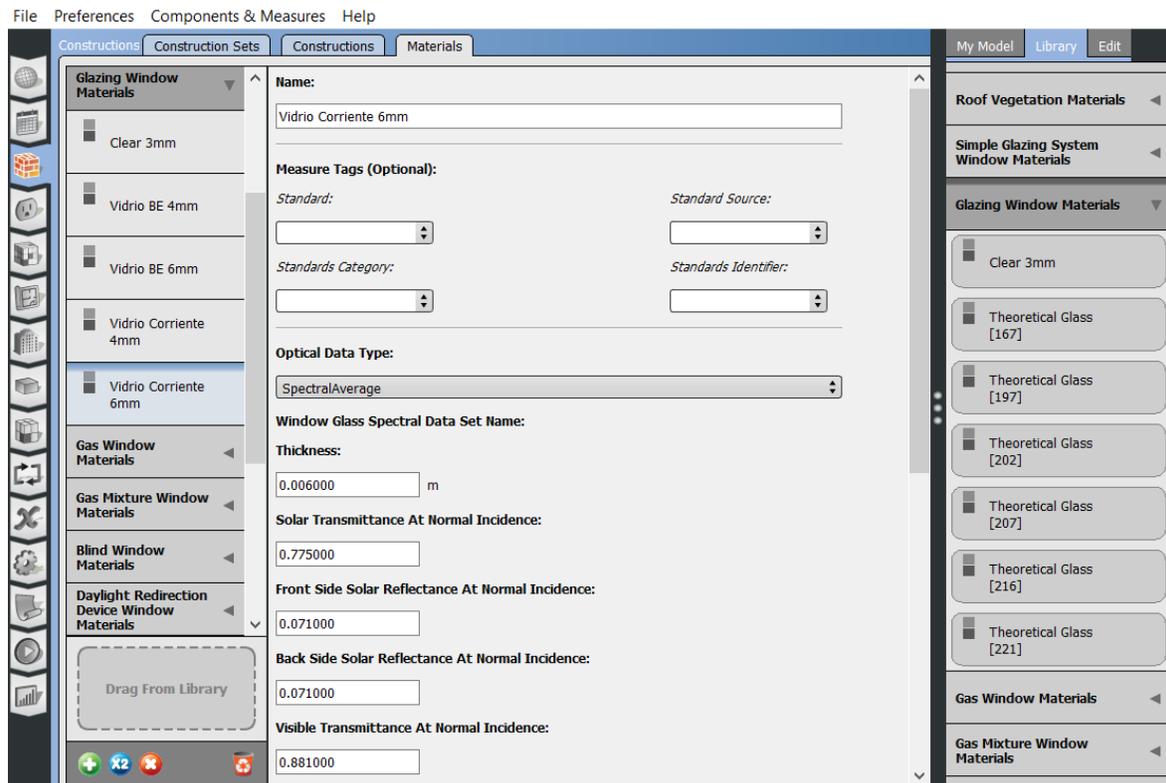


Figura1.20. Materiales En esta opción se pueden editar las propiedades físicas de un material seleccionado y crear uno nuevo si se tienen las propiedades físicas de cada material. Fuente OpenStudio

Loads.

En esta pestaña se pueden crear y editar cargas tanto eléctricas como cargas térmicas. Editando una carga existente o creando cargas nuevas ya sean por personas, equipos eléctricos, luminarias, etc. Esta parte depende de la auditoria y obtención de datos del edificio para poder colocar valores reales y así obtener una simulación con datos reales y confiables.

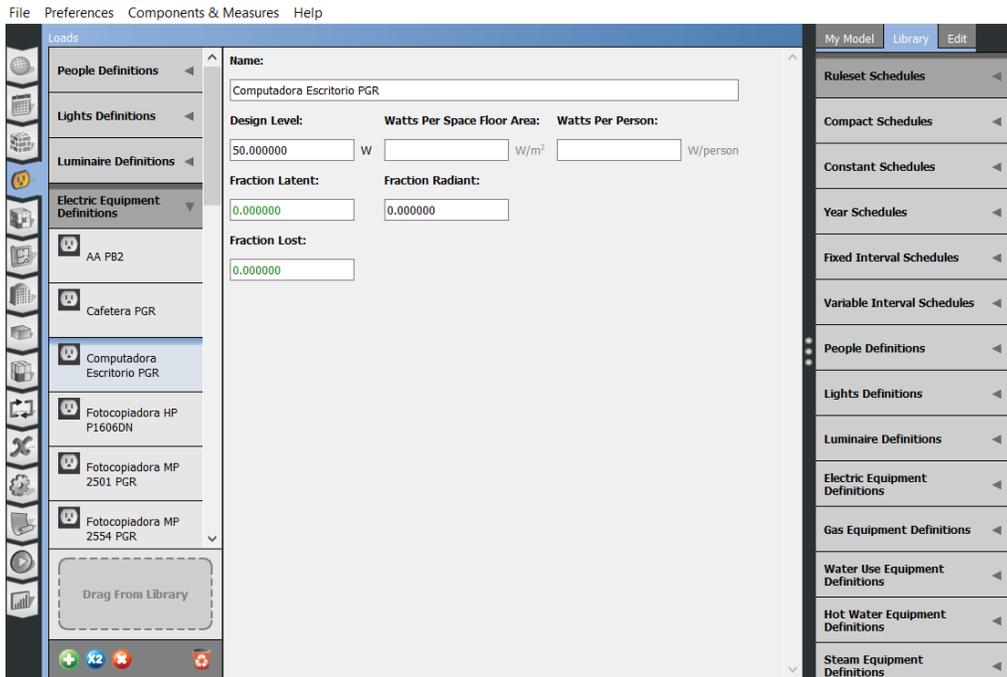


Figura1.21. Creación de cargas de personas, equipos y luminarias. Fuente OpenStudio

Space Types.

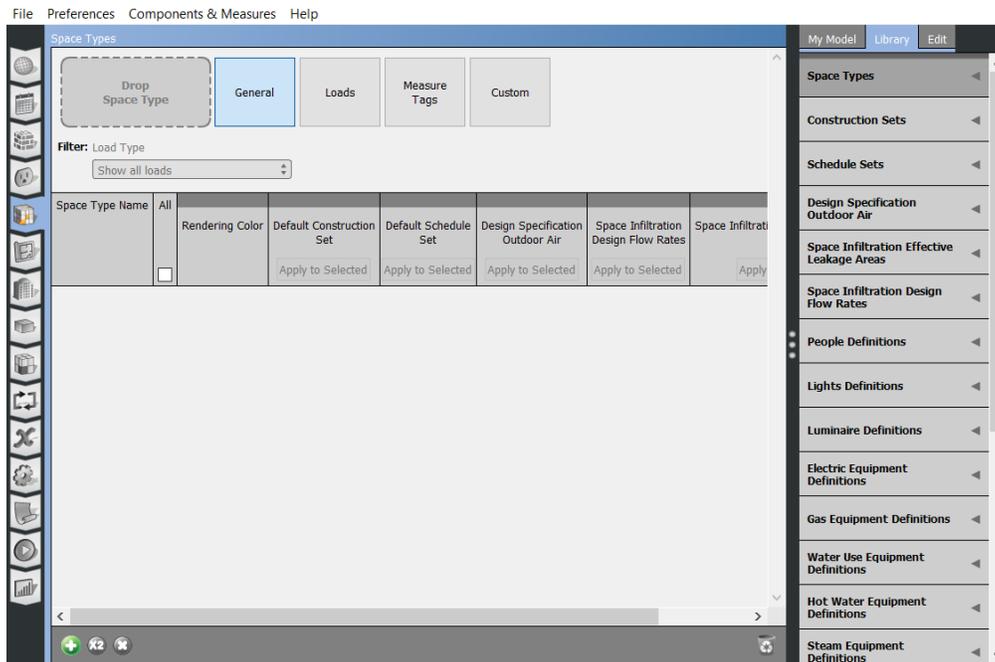


Figura1.22. Space Types, Esta opción muestra los diferentes tipos de espacios, las cargas que contiene y los horarios correspondientes a cada una de ellas. Por defecto solo existe un tipo de espacio si selecciono una plantilla o se puede crear un tipo de espacio si son varios niveles y tienes algunas similitudes el cual facilita el ingreso de parámetros a la hora de simular. Fuente OpenStudio

Geometry.

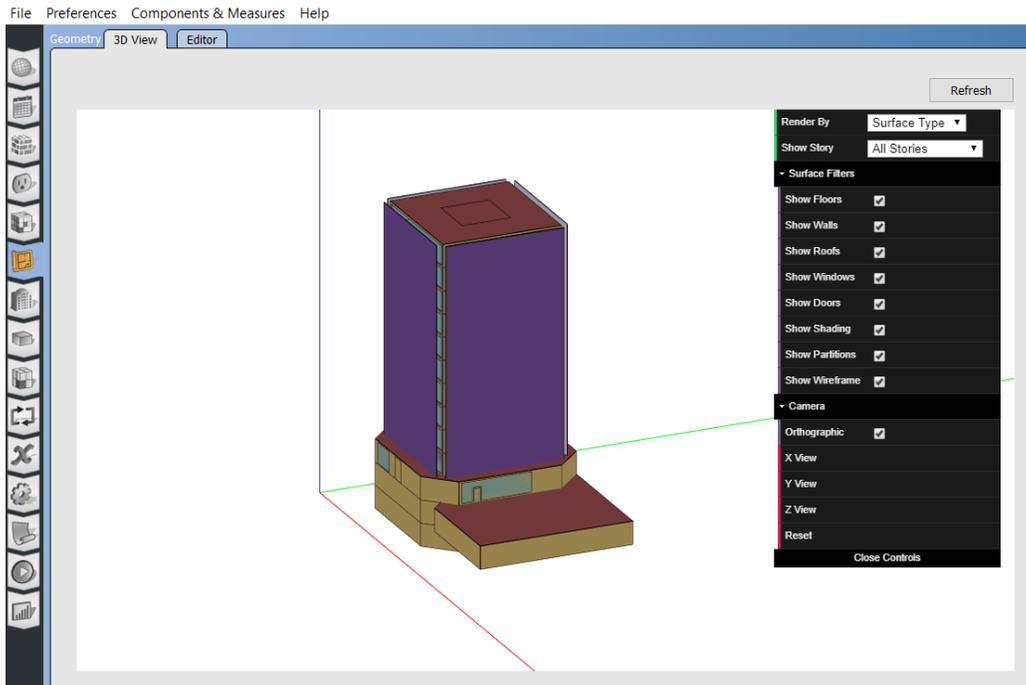


Figura 1.23. Permite visualizar y editar la geometría o modelo 3D proveniente de cualquier programa compatible con OpenStudio. Modelo Torre PGR San Salvador modelado en SketchUp. Fuente OpenStudio

Facility.

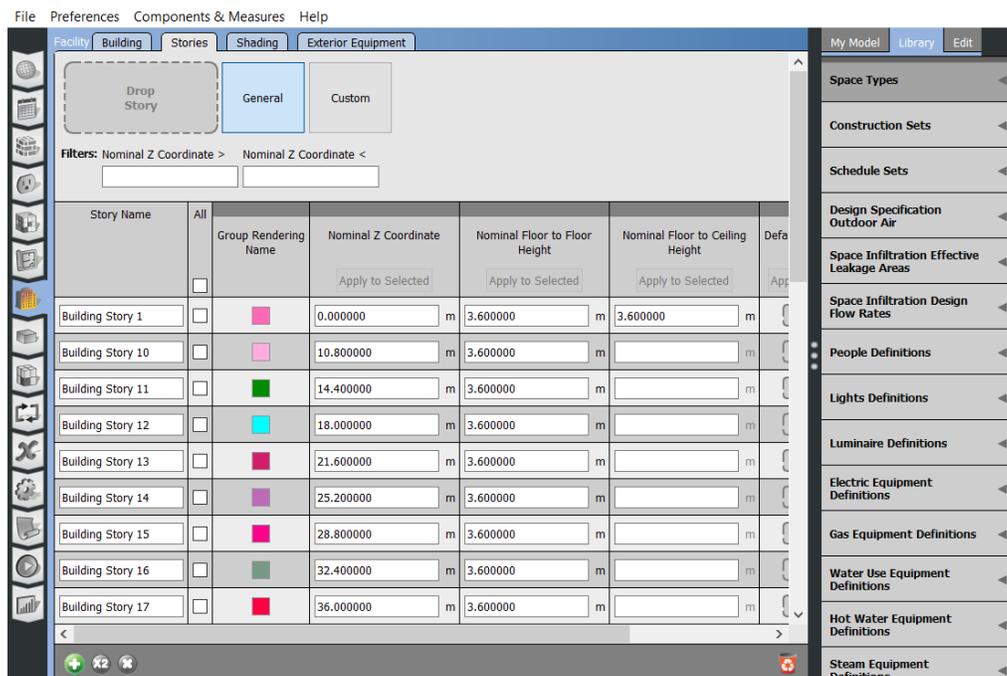


Figura 1.24. Pestaña Facility, Describe las edificaciones por niveles y parámetros de áreas. Fuente OpenStudio

Building Stories.

Esta opción muestra el número de niveles del edificio, cada vez que se agrega un nuevo nivel (piso) en el modelo 3D de *Sketchup* se crea un nuevo *Bulding Story*.

Se puede crear nuevos niveles, pero ya que se crean automáticamente solo se deberán editar el nombre si es deseado y llenar los campos de *Default Constructin Set* y *Default Schedule Set*, esto no es necesario esto se puede editar en la pestaña *Facility*.

Spaces.

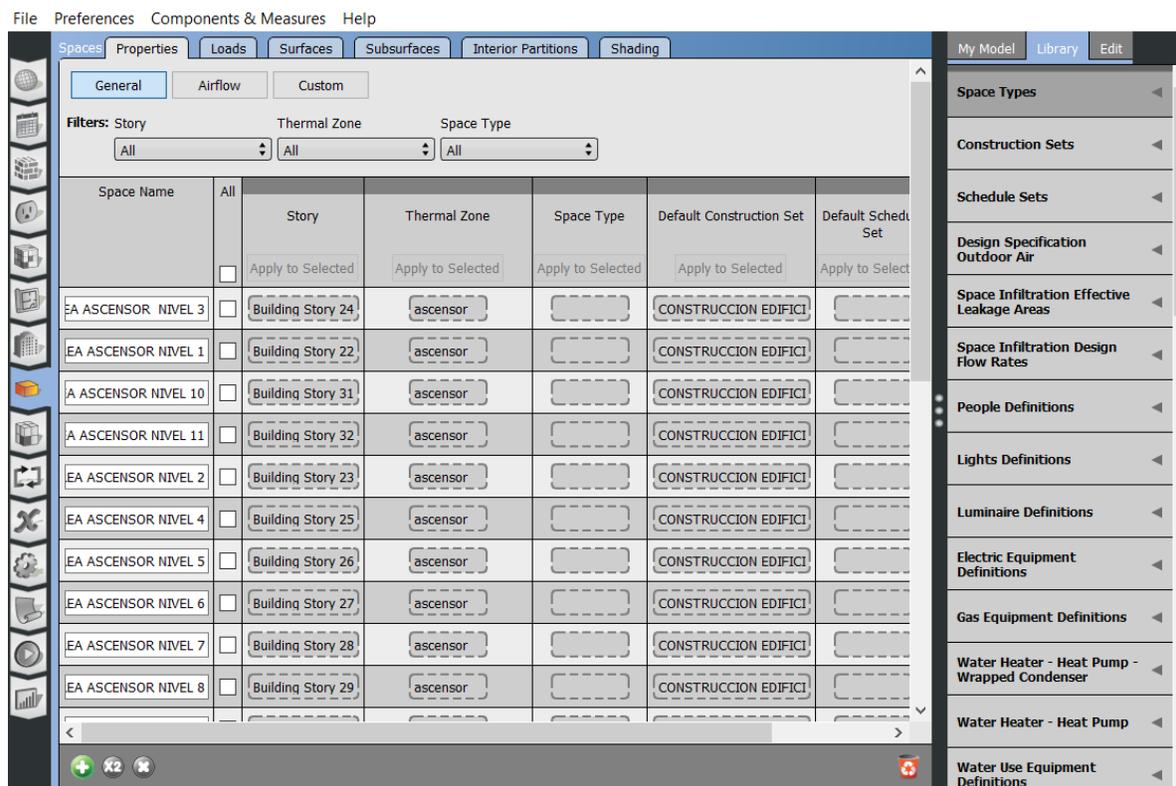


Figura 1.25 Spaces, En esta pestaña se definen todos los espacios o áreas definidas individualmente ya sean del mismo nivel u otro nivel, así mismos se pueden definir las cargas individualmente si no se ha construido un set en Space Type y un set de construcción en Constructions sets. Fuente OpenStudio

Thermal Zone.

Esta pestaña por defecto se encuentra vacía debido a que *OpenStudio* no sabe cuántos HVAC existen o cuántos flujos de aire natural hay. Por esa razón ya habiendo determinado cuántas Zonas Termales existen se deberán crear el número necesarias.

A continuación, se describen los campos que se encuentran en esta pestaña *HVAC System*. Este campo se auto complementa cuando se agrega un HVAC.

Thermostat.

En este campo se agregan los horarios con las temperaturas deseadas a determinada hora tanto como para enfriamiento como para calefacción.

Sizing Parameter.

Estos campos están llenos por defecto, pero se pueden editar, se recomienda solo cambiar las temperaturas de diseño como la temperatura del aire frío y la temperatura del aire caliente.

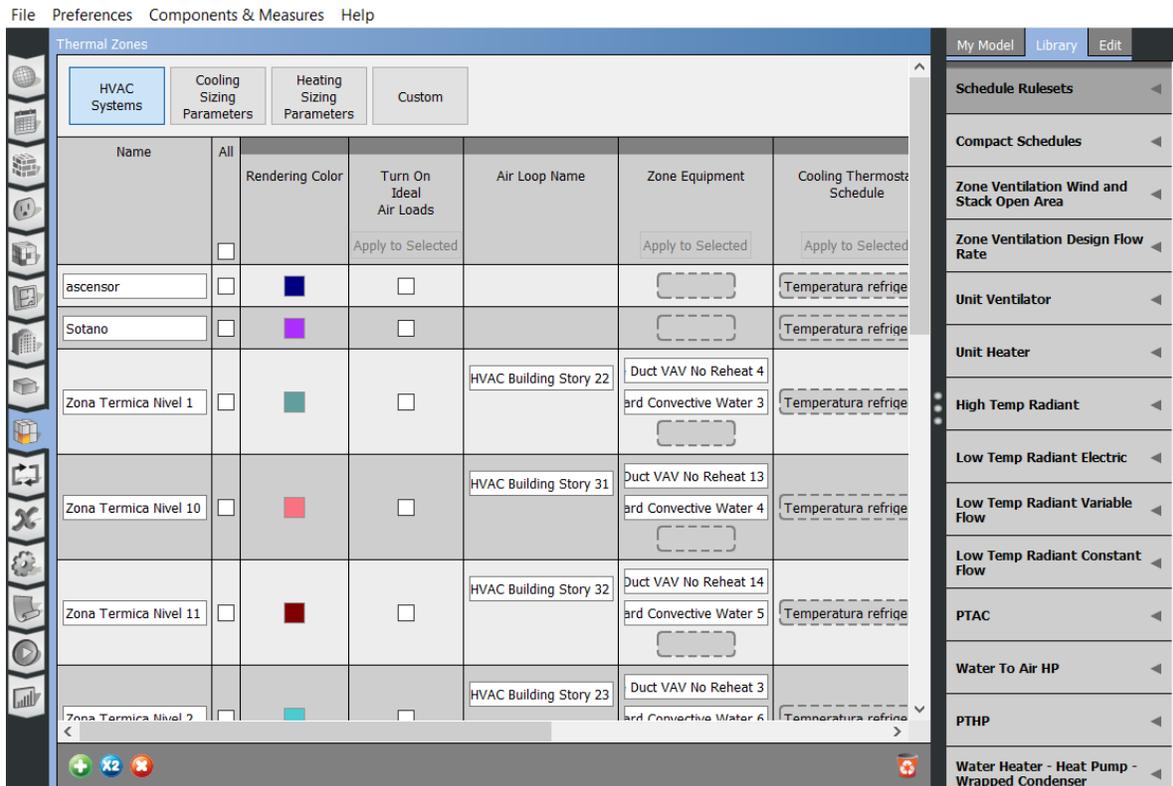


Figura 1.26. Imagen de referencia para la pestaña Thermal Zones. Fuente OpenStudio

HVAC Systems

Esta pestaña ayuda a crear editar sistemas HVAC de una manera gráfica y amigable. Como se mencionó que por defecto no existen zonas terminas al igual no existen HVAC por lo cual tendrán que ser creadas.

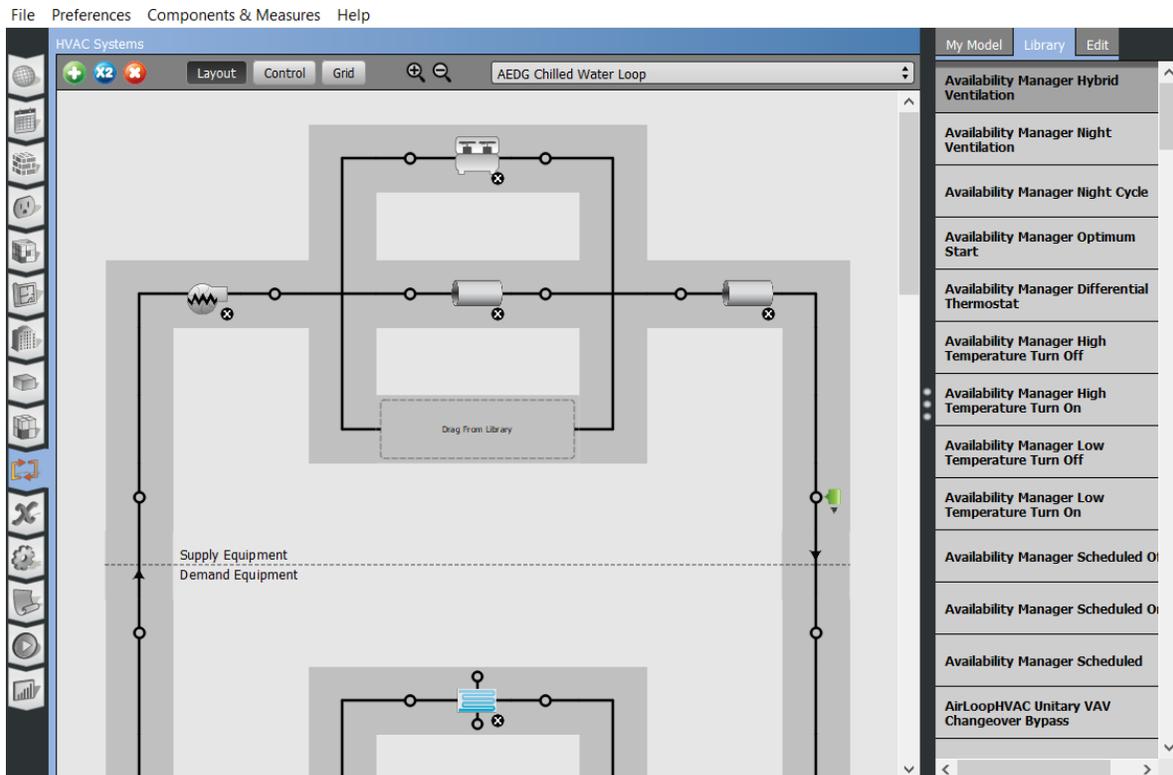


Figura 1.27. La opción HVAC Systems nos permite crear equipos de climatización como, por ejemplo: aires acondicionados, chiller y más. Fuente OpenStudio

Output Variables.

En esta pestaña se pueden elegir todas las posibles variables de salida para su respectivo análisis, como por ejemplo la energía calorífica irradiada por persona. Todas las variables de salida pueden ser activadas, pero esto aumentara el tiempo de simulación, es recomendable activar solo las variables de salida de interés.

Cada una de las variables puede ser analizada en periodos de hora, semana, mes, espacios de tiempo, periodo de simulación y un periodo más detallado.

Simulation Setting.

En esta opción se puede modificar el periodo de simulación, cálculos que debe efectuar durante la simulación y los parámetros que controlan los algoritmos de cálculo que efectúa el motor de cálculo de *EnergyPlus*.

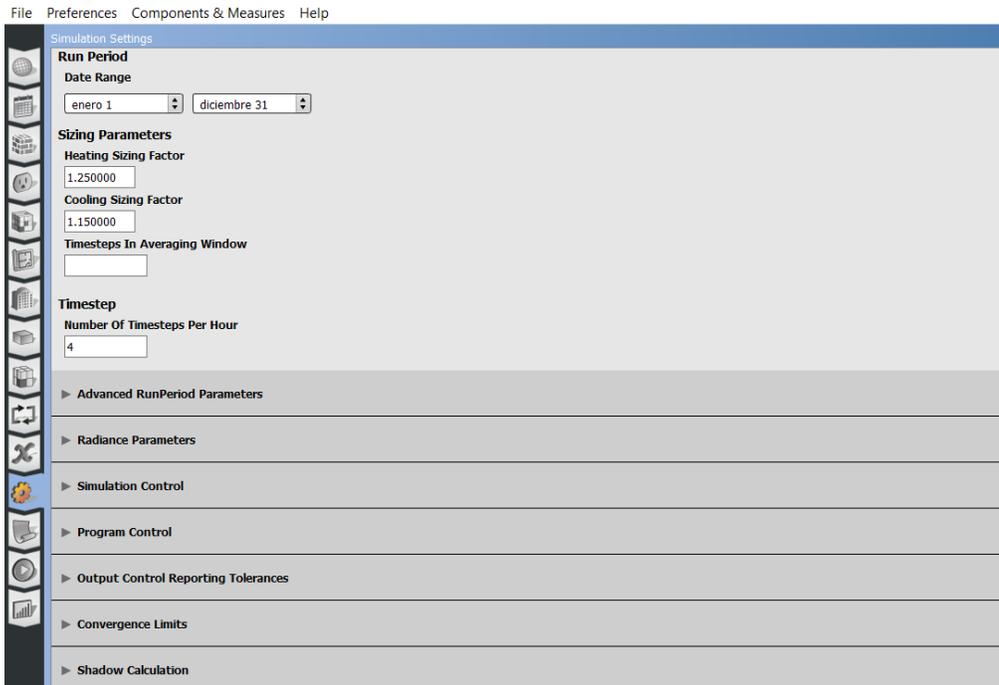


Figura 1.28. Pestaña Simulation Setting, esta nos permitirá seleccionar los parámetros que deseamos obtener en la simulación. Fuente OpenStudio

Measures.

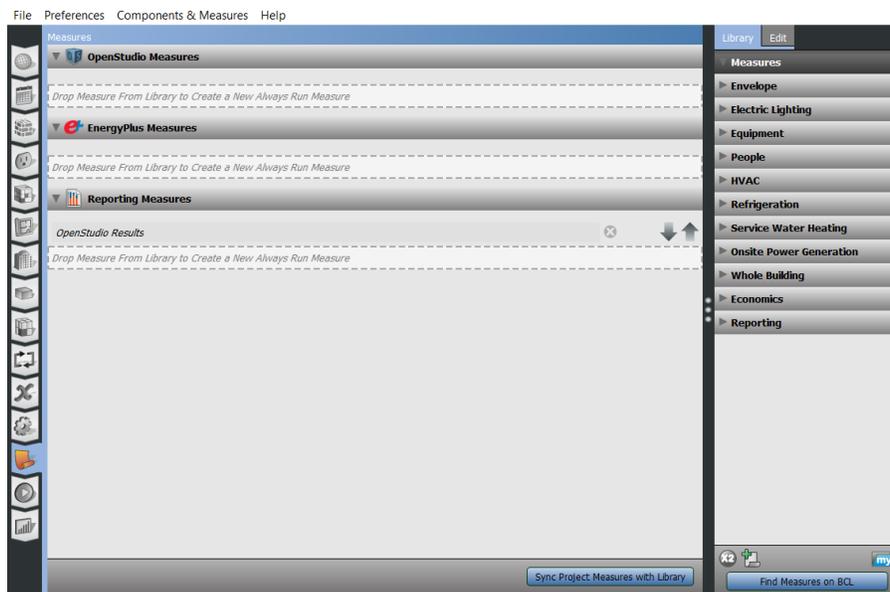


Figura 1.29. Measures, Nos permite seleccionar un motor de generación de reporte de las mediciones resultante en para poder mostrarla de formas diferentes dependiendo del motor de generación de medidas para nuestro cas usaremos EnergyPlus. Fuente OpenStudio

Run Simulation.

En esta pestaña es para ejecutar la simulación y visualizar el árbol de variables de archivos de salida de *Energyplus*.

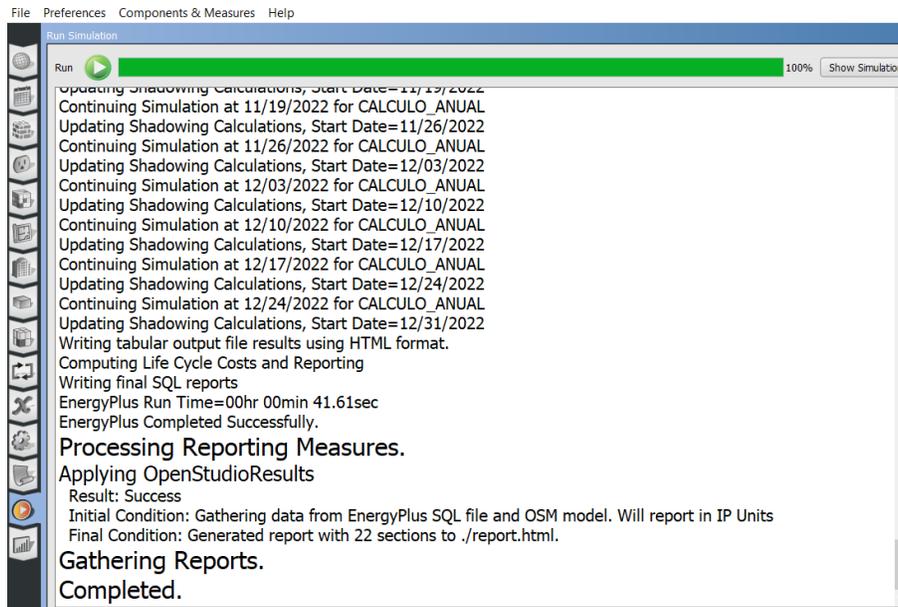


Figura 1.41. Simulación de Edificio Torre PGR San Salvador en proceso. Fuente OpenStudio

Resultados de simulación.

Utilizando el motor EnergyPlus, con las variables configuradas correctamente se ejecuta la simulación, a continuación, se muestran los resultados de la simulación en la interfaz de *Openstudio*.

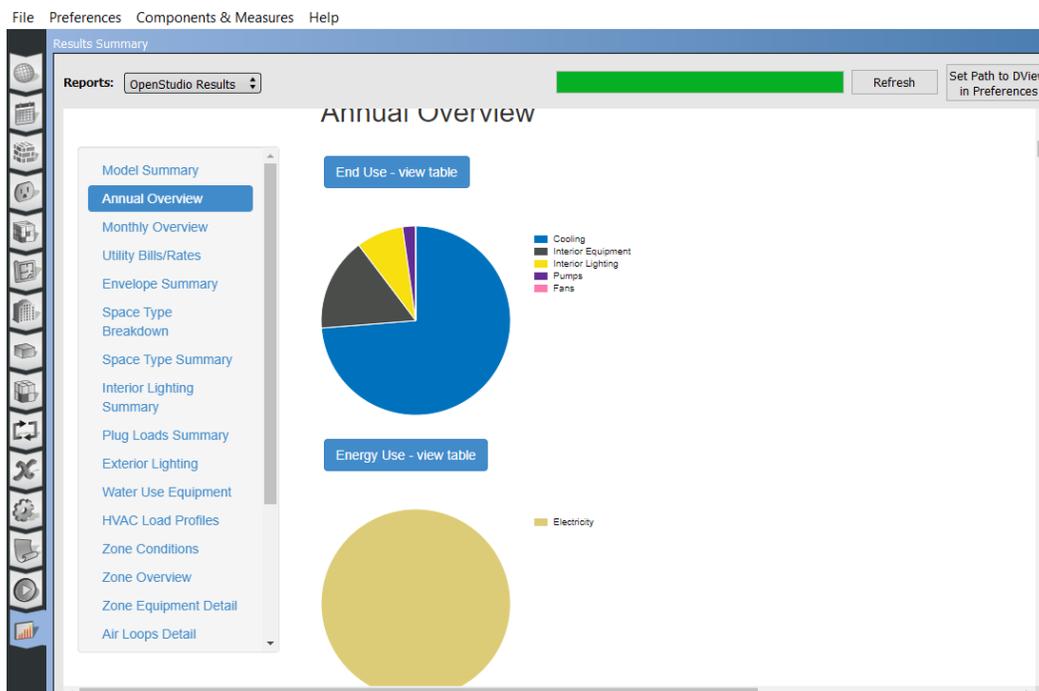


Figura 1.42. Resultados de Simulación Anual openstudio

Eficiencia en luminarias

Principios Básicos de Iluminación

Luz: energía radiante percibida visualmente, dicho de forma simple; la luz visible es solo una porción del espectro electromagnético, ésta da energía a nuestro sistema visual. La luz reflejada por los objetos a los ojos nos permite ver.

Métrica

Lumen: es la unidad de medida que describe la cantidad de luz emitida por una fuente de luz.

Vatio: Una unidad de potencia que indica la tasa a la cual se utiliza la electricidad.

Lúmenes por Vatio: También llamada "eficacia" (a menudo erróneamente denominado eficiencia). es una medida de la eficacia en que la fuente de luz está transformando los vatios consumidos en la salida lumínica.

Salida Lumínica (Lúmenes): Mide la cantidad de luz emitida por una luminaria. Incluye luz que es emitida en direcciones no útiles.

Luz Entregada (Lux): Mide la cantidad de luz que una luminaria entrega sobre una superficie.

Depreciación Lumínica: Toda lámpara emite menos luz al pasar el tiempo. La depreciación lumínica da una gráfica de como baja la emisión de luz a partir de 100%.

Eficacia: Capacidad de convertir la electricidad consumida en luz (Lumen/watt).

Eficiencia: La relación entre los lúmenes saliendo de la lámpara y los lúmenes producidos por la luminaria. Se refiere a los lúmenes entregados por la luminaria.

Índice de Rendimiento de Color (IRC): Es la capacidad de una fuente de luz artificial en reproducir los colores, siendo la referencia la luz del sol. Un IRC de 80 o más indica que la fuente de luz tiene buenas características de color.

Muchos son los factores que hay que tener en cuenta al momento de elegir el tipo de luminarias para diferentes aplicaciones, como por ejemplo el índice de rendimiento de color (IRC), depreciación lumínica, eficacia, valor monetario de la luminaria. La elección al final está sujeta a una evaluación costo beneficio, en nuestro caso para efectos de eficiencia prestaremos atención a la eficacia de las luminarias ya que tratamos de generar un ahorro no obstante tampoco se dejará de lado los demás parámetros. A continuación, se muestra una tabla de desempeño típico de diferentes tecnologías en iluminación:

Característica	Valor típico en una lámpara incandescente	Valor típico en una lámpara halógena
Rango de eficacia luminosa	8-17 lm/W	11-21 lm/W
Vida útil de la lámpara	1000-1500 horas	2000-3000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	100	100
Temperatura de color correlacionada	2600-2800 K	2800-3200 K
¿Regulación de la intensidad de luz? (Atenuable)	Sí	Sí



Tabla 1.1 Especificaciones de desempeño típicas de la iluminación incandescente y halógena (fuente PNUMA)

Característica	Valor típico en una CFL*	Valor típico en una LFL**
Rango de eficacia lumínica	50-70 lm/W	80-110 lm/W
Vida útil de la lámpara	6000-15 000 horas	15 000-30 000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	70-85	60-95
Temperatura de color correlacionada	2500-6500 K	2700-6500 K
¿Regulación de la intensidad de luz? (Atenuable)	Si el balasto es regulable	Si el balasto es regulable



Tabla 1.2 Especificaciones de desempeño típicas de la iluminación fluorescente (fuente PNUMA)

*CFL: lámparas fluorescentes compactas

** LFL: lámparas o tubos fluorescentes lineales

Característica	Valor típico en una lámpara de vapor de mercurio	Valor típico en una lámpara de vapor sodio de alta presión	Valor típico en una lámpara de haluro/aditivos metálicos
Rango de eficacia luminosa (inicial)	45-55 lm/W	105-125 lm/W	80-100 lm/W
Vida útil de la lámpara	20 000 horas	20 000-24 000 horas	10 000-20 000 horas
Índice de reproducción cromática (IRC)	15-50	25	65-85
Temperatura de color correlacionada	3900-5700 K	2000-2100 K	4000-5000 K
¿Regulación de la intensidad de luz? (Atenuable)	Si el balasto es regulable	Si el balasto es regulable	Si el balasto es regulable



Tabla 1.3 Especificaciones de desempeño típicas de la iluminación de descarga de alta intensidad (fuente PNUMA)

Característica	Valor típico de una lámpara LED	Valor típico de una luminaria LED
Rango de eficacia luminosa	60-130 lm/W	80-150 lm/W
Vida útil de la lámpara	15 000-30 000 horas	20 000-60 000 horas
Índice de reproducción cromática (Ra)	70-95	80-95
Temperatura de color correlacionada	2700-6500 K	2700-6500 K
¿Regulación de la intensidad de luz? (Atenuable)	Con controlador regulable	Con controlador regulable



Tabla 1.4. Especificaciones de desempeño típicas de la iluminación de diodos emisores de luz (LED) fuente PNUMA

Característica	Incandescente y alógeno	fluorescente	De descarga de alta densidad	LED
Rango de eficacia luminosa	8-21 lm/W	50-110 lm/W	45-125 lm/W	60-150 lm/W
Vida útil de la lámpara	1000-3 000 horas	6000-30 000 horas	20 000-24000 horas	15 000-60 000 horas
Índice de reproducción cromática (IRC)	100	70-95	15-85	70-95
Temperatura de color correlacionada	2600-3600 K	2500-6500 K	3900-5700 K	2700-6500 K

Tabla 1.5 Cuadro comparativo entre las diferentes tecnologías de iluminación

CAPITULO 2

Auditoria

En este capítulo se describe la metodología utilizada para obtener datos necesarios para la elaboración del estudio de eficiencia y ahorro de energía en edificio de Procuraduría General de la República. Con estos datos se construirá posteriormente el modelo de año base para su posterior análisis.

Metodología para la obtención de datos

- Como primer paso se solicitó la siguiente información para su posterior análisis:
 - ✓ Historial de consumo eléctrico a través de facturación.
 - ✓ Planos de distribución de luminarias y tomas de los diferentes niveles del edificio.
 - ✓ Planos de distribución del aire acondicionado

Facturación

Para este análisis se describe la facturación en sus diferentes rubros:

Tipo de cliente: Gran demanda

Tipo de medición: Media tensión con medición horaria.

Energía punta: es la energía que se consume de las 18:00 a 22:59

Energía valle: es la energía que se consume de las 23:00 a 04:59

Energía resto: es la energía que se consume de las 05:00 a 17:59

Potencia: es la máxima demanda instantánea registrada en el mes.

Las tarifas a la fecha actual se muestran en la siguiente tabla (fuente SIGET)

MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.167846	0.166908	0.175655	0.168721	0.174697	0.166794	0.167549	0.143774
Energía en Resto	US\$/kWh	0.139371	0.139308	0.137129	0.138914	0.134329	0.133406	0.137217	0.142078
Energía en Valle	US\$/kWh	0.165925	0.166196	0.173486	0.167608	0.174090	0.161871	0.167280	0.138994
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	7.089464	7.008348	13.097554	17.848802	19.101749	9.695440	10.688800	5.251206

Figura 2.1 pliego tarifario SIGET primer y segundo trimestre del año 2022

En la tabla anterior destaca el precio de la energía punta que es la consumida de las 6:00 pm a las 10:59 pm. y la potencia máxima demandada en el mes que tienen los precios más altos.

El periodo de análisis de factura comprende de enero del 2019 a septiembre de 2021 los resultados muestra un comportamiento atípico de consumo en los años 2020 y 2021 mostrando una disminución en el consumo principalmente en la energía resto y en la potencia como se muestra en las siguientes graficas:



Figura 2.2 grafica de energía punta registrada en facturación periodo enero 2019 a septiembre 2021



Figura 2.3 Grafica de energía resto registrada en facturación periodo enero 2019 a septiembre 2021

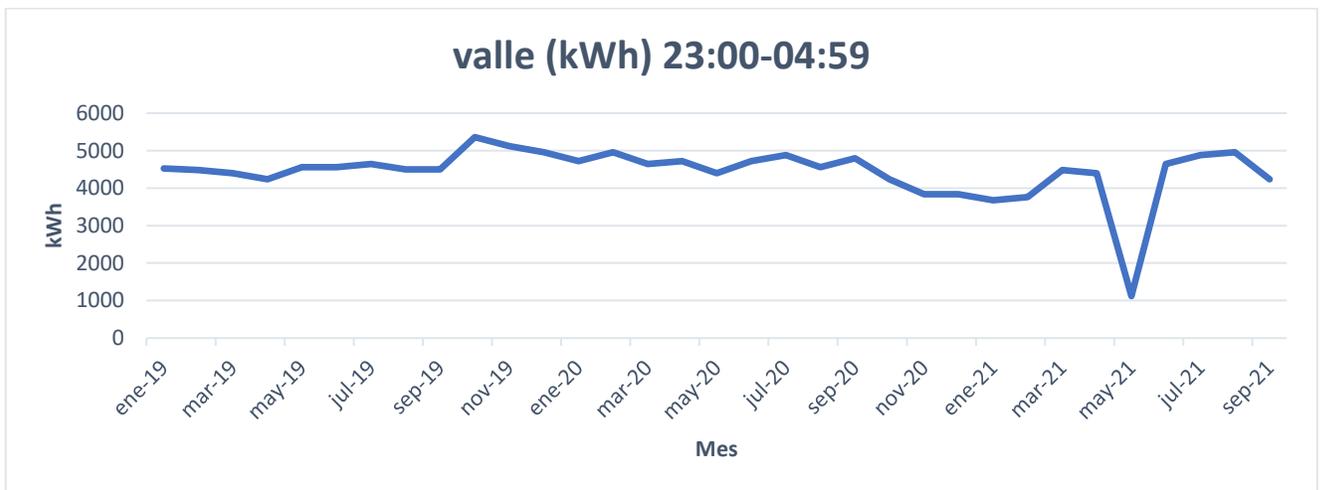


Figura 2.4 Grafica de energía valle registrada en facturación periodo enero 2019 a septiembre 2021



Figura 2.5 Grafica de potencia registrada en facturación periodo enero 2019 a septiembre 2021

Para tener una idea del consumo de energía se tomó como muestra el consumo del año 2019 el cual se tomó como un año normal obteniendo a precio actual los siguientes resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Facturación 2019	Consumo de Anergía mensual Punta kWh	Consumo de energía mensual Valle kWh	Consumo de energía mensual Resto kwh	Consumo de potencia mensual	Total \$ mensual por kW	Total \$Punta+\$Valle +\$Resto	Total \$kWh + \$kW
ene-19	3,952.00	4,528.00	65,640.00	440.00	3,119.36	10,562.95	13,682.31
feb-19	4,000.00	4,480.00	65,600.00	440.00	3,119.36	10,557.47	13,676.83
mar-19	4,000.00	4,400.00	71,440.00	448.00	3,176.08	11,358.12	14,534.20
abr-19	3,760.00	4,240.00	54,800.00	472.00	3,346.23	8,972.15	12,318.38
may-19	4,080.00	4,560.00	69,440.00	488.00	3,459.66	11,119.35	14,579.01
jun-19	4,320.00	4,560.00	55,360.00	448.00	3,176.08	9,197.29	12,373.37
jul-19	4,400.00	4,640.00	55,840.00	464.00	3,289.51	9,290.89	12,580.40
ago-19	3,952.00	4,496.00	58,200.00	520.00	3,686.52	9,520.72	13,207.24
sep-19	4,720.00	5,360.00	57,680.00	560.00	3,970.10	9,720.51	13,690.61
oct-19	4,720.00	5,360.00	57,680.00	560.00	3,970.10	9,720.51	13,690.61
nov-19	4,800.00	5,120.00	71,440.00	496.00	3,516.37	11,611.86	15,128.24
dic-19	4,480.00	4,960.00	49,920.00	536.00	3,799.95	8,532.34	12,332.29
				Total	\$ 41,629.33	\$120,164.16	\$ 161,793.49

Tabla 2.0 consumo de energía reflejada en facturación de enero 2019 a diciembre 2019

Planos de distribución de luminarias y toma corrientes del edificio

Esta información nos proporciona la distribución de las luminarias y toma corrientes que se encuentran dentro del edificio además nos proporciona los diferentes niveles que se compone y divisiones de oficinas caracterizando el edificio en 11 niveles, planta baja y sótano.

Obtención de medidas de oficinas, equipos eléctricos, tipo de construcción y horarios

- El segundo paso fue la obtención de medidas de las oficinas, tipo de construcción y equipos eléctricos conectados a la red horarios y personas que permanecen en el edificio para ello se realizó visitas programadas y mediante inspección visual se realizó un listado de equipo y luminarias por nivel dando los siguientes resultados:

- EQUIPOS ELECTRICOS

Tabla 2.1 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en sótano.

Sótano			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	3	50.00	8.00	0.00	1.20	25.20
Ups	3	10.00	0.00	16.00	0.48	10.08
Lámparas	8	56.00	8.00		3.58	75.26
Lámparas led	5	36.00	8.00		1.44	30.24

Lámparas noche	0	0.00	0.00		0.00	0.00
Led noche	15	6.00		4.00	0.36	7.56
Lámparas cubo	15	6.00	8.00		0.72	15.12
Oasis	2	560.00	4.00		4.48	94.08
Ventiladores	2	130.00	1.00		0.26	5.46
Purificador de aire	3	185.00	8.00		4.44	93.24
Impresora	2	32.00	3.00		0.19	4.03
			total		17.16	360.28

Tabla 2.2 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Planta baja 1.

Planta Baja 1			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	54	50.00	8.00		21.60	453.60
Ups	54	10.00	0.00	16.00	8.64	181.44
Lámparas	21	56.00	8.00		9.41	197.57
Led	54	36.00	8.00		15.55	326.59
Led noche	14	36.00	0.00	16.00	8.06	169.34
Lámparas cubo	15	6.00	8.00		0.72	15.12
Oasis	5	560.00	4.00		11.20	235.20
Fotocopiadora mp 2555	1	618.00	0.11		0.07	1.44
Fotocopiadora mp 501	2	740.00	0.14		0.21	4.32
Fotocopiadora MP 2501	1	618.00	0.14		0.09	1.80
Fotocopiadora 3655i	1	525.00	0.07		0.04	0.77
Micro hondas	3	1200.00	0.50		1.80	37.80
Tostador	2	800.00	0.50		0.80	16.80
Cafetera	1	1200.00	2.00		2.40	50.40
Servidor	1	4801.00	24.00		115.22	3456.72
			total		195.80	5148.91

Tabla 2.3 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en planta baja 2.

Planta Baja2			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	20	50.00	8.00		8.00	168.00
Ups	31	10.00	0.00	16.00	4.96	104.16
Lámparas	0	56.00	8.00		0.00	0.00
Led	73	36.00	8.00		21.02	441.50
Led noche	22	36.00		16.00	12.67	266.11
Ojo de buey	8	6.00	8.00		0.38	8.06
Oasis	4	560.00	4.00		8.96	188.16
Fotocopiadora MP 2554	1	618.00	0.07		0.04	0.90
Microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Cafetera	1	1200.00	2.00		2.40	50.40
Refrigerador mini bar	3	154.00	4.00		1.85	38.81

AA 12 Kbtu	3	1300.00	8.00		31.20	655.20
AA 18kbtu SEER20W/W5272.2	2	263.61	8.00		4.22	88.57
AA 48Kbtu SEER10Btu/W	1	4800.00	8.00		38.40	806.40
			total		134.71	2828.88

Tabla 2.4 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Primer Nivel.

Primer Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	34	50.00	8.00		13.60	285.60
Ups	34	10.00	0.00	16.00	5.44	114.24
Pc portátil	10	35.00	8.00		2.80	58.80
Lámparas día	2	56.00	8.00		0.90	18.82
Led día	62	36.00	8.00		17.86	374.98
Ojo de buey	11	6.00	8.00		0.53	11.09
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	6	560.00	4.00		13.44	282.24
Fotocopiadora MP 2501	1	618.00	0.14		0.09	1.80
Fotocopiadora MP 301spf	1	618.00	0.08		0.05	1.08
Fotocopiadora MP 5001	1	618.00	0.05		0.03	0.63
Fotocopiadora MP 5055	1	618.00	0.11		0.07	1.48
Fotocopiadora MX 722	1	890.00	0.06		0.05	1.04
Microondas	5	1200.00	0.50		3.00	63.00
Tostador	3	800.00	0.50		1.20	25.20
Cafetera	4	900.00	3.00		10.80	226.80
			total		71.29	1497.03

Tabla 2.5 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Segundo Nivel.

Segundo Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	31	50.00	8.00		12.40	260.40
Ups	31	10.00	0.00	16.00	4.96	104.16
Led día	58	36.00	8.00		16.70	350.78
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	2	560.00	4.00		4.48	94.08

Fotocopiadora MP 2554	1	618.00	0.07		0.04	0.90
Fotocopiadora MP 5055	1	618.00	0.11		0.07	1.48
Fotocopiadora 3655i	2	525.00	0.07		0.07	1.53
microondas	4	1200.00	0.50		2.40	50.40
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		45.67	959.07

Tabla 2.6 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Tercer Nivel.

Tercer Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	16	50.00	8.00		6.40	134.40
Ups	16	10.00	0.00	16.00	2.56	53.76
Lámparas día	42	56.00	10.00		23.52	493.92
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
			total		37.16	780.36

Tabla 2.7 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Cuarto Nivel.

Cuarto Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	19	50.00	8.00		7.60	159.60
Ups	19	10.00	0.00	16.00	3.04	63.84
Lámparas día	15	56.00	10.00		8.40	176.40
Led día	30	36.00	8.00		8.64	181.44
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora MP 5055	2	618.00	0.11		0.14	2.96

microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		35.20	739.22

Tabla 2.8 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Quinto Nivel.

Quinto Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	39	50.00	8.00		15.60	327.60
ups	39	10.00	0.00	16.00	6.24	131.04
Led día	46	36.00	10.00		16.56	347.76
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora MP 2501	2	618.00	0.14		0.17	3.61
Fotocopiadora MP 301spf	1	618.00	0.08		0.05	1.08
Fotocopiadora MX 722	1	890.00	0.06		0.05	1.04
microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		45.65	958.70

Tabla 2.9 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Sexto Nivel.

Sexto Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	38	50.00	8.00		15.20	319.20
Ups	38	10.00	0.00	16.00	6.08	182.40
Pc portátil	1	35.00	8.00		0.28	5.88
Lámparas día	9	56.00	10.00		5.04	105.84
Led día	40	36.00	10.00		14.40	302.40
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora mp 2555	1	618.00	0.11		0.07	1.44
Fotocopiadora MP 5055	1	618.00	0.11		0.07	1.48

Fotocopiadora 3655i	2	525.00	0.07		0.07	1.53
Fotocopiadora Hp P1606dn	1	440.00	0.10		0.04	0.90
microondas	2	1200.00	0.50		1.20	25.20
Tostador	2	800.00	0.50		0.80	16.80
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		49.63	1097.05

Tabla 2.10 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones Séptimo Nivel.

Séptimo Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	32	50.00	8.00		12.80	268.80
Ups	32	10.00	0.00	16.00	5.12	153.60
Led día	32	36.00	10.00		11.52	241.92
Ojo de buey	2	6.00	8.00		0.10	2.02
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora MP 5055	1	618.00	0.11		0.07	1.48
Fotocopiadora MX 722	1	890.00	0.06		0.05	1.04
Microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		37.0358278	823.83

Tabla 2.11 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Octavo Nivel.

Octavo Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	39	50.00	8.00		15.60	327.60
Ups	39	10.00	0.00	16.00	6.24	187.20
Pc portátil	1	35.00	8.00		0.28	5.88
Led día	28	36.00	10.00		10.08	211.68
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	3	560.00	4.00		6.72	141.12
Fotocopiadora mp 2555	1	618.00	0.11		0.07	1.44
Fotocopiadora mp 501	1	740.00	0.14		0.10	2.16
Fotocopiadora MP 5001	1	618.00	0.05		0.03	0.63

Fotocopiadora MP 5055	1	618.00	0.11		0.07	1.48
microondas	2	1200.00	0.50		1.20	25.20
Tostador	2	800.00	0.50		0.80	16.80
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
			total		45.33	1008.13

Tabla 2.12 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Noveno Nivel.

Noveno Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	42	50.00	8.00		16.80	352.80
Ups	42	10.00	0.00	16.00	6.72	201.60
Pc portátil	4	35.00	8.00		1.12	23.52
Lámparas día	13	56.00	10.00		7.28	152.88
Led día	29	36.00	10.00		10.44	219.24
Ojo de buey	3	6.00	8.00		0.14	3.02
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora mp 2555	1	618.00	0.11		0.07	1.44
Fotocopiadora MP 2501	1	618.00	0.14		0.09	1.80
Fotocopiadora MX 511de	1	600.00	0.09		0.05	1.14
Fotocopiadora Hp P1606dn	1	440.00	0.10		0.04	0.90
microondas	2	1200.00	0.50		1.20	25.20
Tostador	2	800.00	0.50		0.80	16.80
			total		48.44	1077.62

Tabla 2.13 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Decimo Nivel.

Decimo Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	24	50.00	8.00		9.60	201.60
Ups	24	10.00	0.00	16.00	3.84	115.20
Pc portátil	1	35.00	8.00		0.28	5.88
Lámparas día	8	56.00	10.00		4.48	94.08
Led día	27	36.00	10.00		9.72	204.12
Ojo de buey	1	6.00	8.00		0.05	1.01
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24

Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora MP 2501	2	618.00	0.14		0.17	3.61
Fotocopiadora Hp P1606dn	2	440.00	0.10		0.09	1.80
microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
Refrigerador	1	384.00	4.00		1.54	46.08
Refrigerador pequeño	1	72.00	4.00		0.29	8.64
			total		37.43	836.99

Tabla 2.14 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Onceavo Nivel.

Onceavo Nivel			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Computadoras	5	50.00	8.00		2.00	42.00
Ups	5	10.00	0.00	16.00	0.80	24.00
Lámparas día	40	56.00	10.00		22.40	470.40
Led día	24	36.00	10.00		8.64	181.44
Lámparas cubo	15	12.00	8.00		1.44	30.24
Oasis	1	560.00	4.00		2.24	47.04
Fotocopiadora MP 2554	1	618.00	0.07		0.04	0.90
Fotocopiadora Hp P1606dn	2	440.00	0.10		0.09	1.80
microondas	1	1200.00	0.50		0.60	12.60
Tostador	1	800.00	0.50		0.40	8.40
Cafetera	1	900.00	3.00		2.70	56.70
Refrigerador	1	384.00	4.00		1.54	46.08
Refrigerador mediano	1	154.00	4.00		0.62	18.48
			total		43.50	940.08

Tabla 2.15 cantidad de energéticos conectados a la red con horas de uso resultado de auditoría y mediciones en Tablero General no conectado a planta de emergencia.

Tablero principal normal			Horas uso		Consumo de Energía	
Equipo	Cantidad	Potencia(W)	Hora Día	Hora Noche	kWh (24h)	kWh mes
Manejadoras de aire	28	1671.00	8.00		374.30	7860.38
AA ventana 12KBtu	0	1300.00	8.00		0.00	0.00
AA 18kBtu SEER20W/W5272.2	6	263.61	4.00		6.33	132.86
AA 24kBtu SEER19W/W7029.6	4	369.98	4.00		5.92	124.31
AA 36KBtu SEER10Btu/W	5	3600.00	4.00		72.00	1512.00

AA 48kBtu SEER10Btu/W	0	4800.00	8.00		0.00	0.00
AA 60kBtu SEER10Btu/W	7	6000.00	3.00		126.00	2646.00
AA dedicado servidores	1	1331.00	24.00		31.94	670.82
			total		616.49	12946.38

MEDIDAS, MATERIALES Y HORARIOS DE LAS OFICINAS

Para obtener las medidas de las oficinas se tomó una medida de pared o de puerta en los diferentes niveles y con esta se escaló el plano en sketchup para su utilización. La fachada del edificio laterales y parte posterior está construida en un 90% de vidrio y a partir del nivel 2 hasta el nivel 11 tiene corta sol metálico separado aproximadamente un metro con orificios que permiten cierta visibilidad a través de este, sótano y planta baja no están expuestas al sol ya que estas están por debajo del nivel de la calle principal, la planta baja en su parte posterior colinda con parqueo que está abierto al ambiente.

La estructura base del edificio está construida de losas de concreto columnas de concreto, baños, cuarto eléctrico, cubos de ascensores están contruidos con ladrillo perforado conocido coloquialmente como saltex y las divisiones de las oficinas están contruidas de tabla roca en los diferentes niveles.

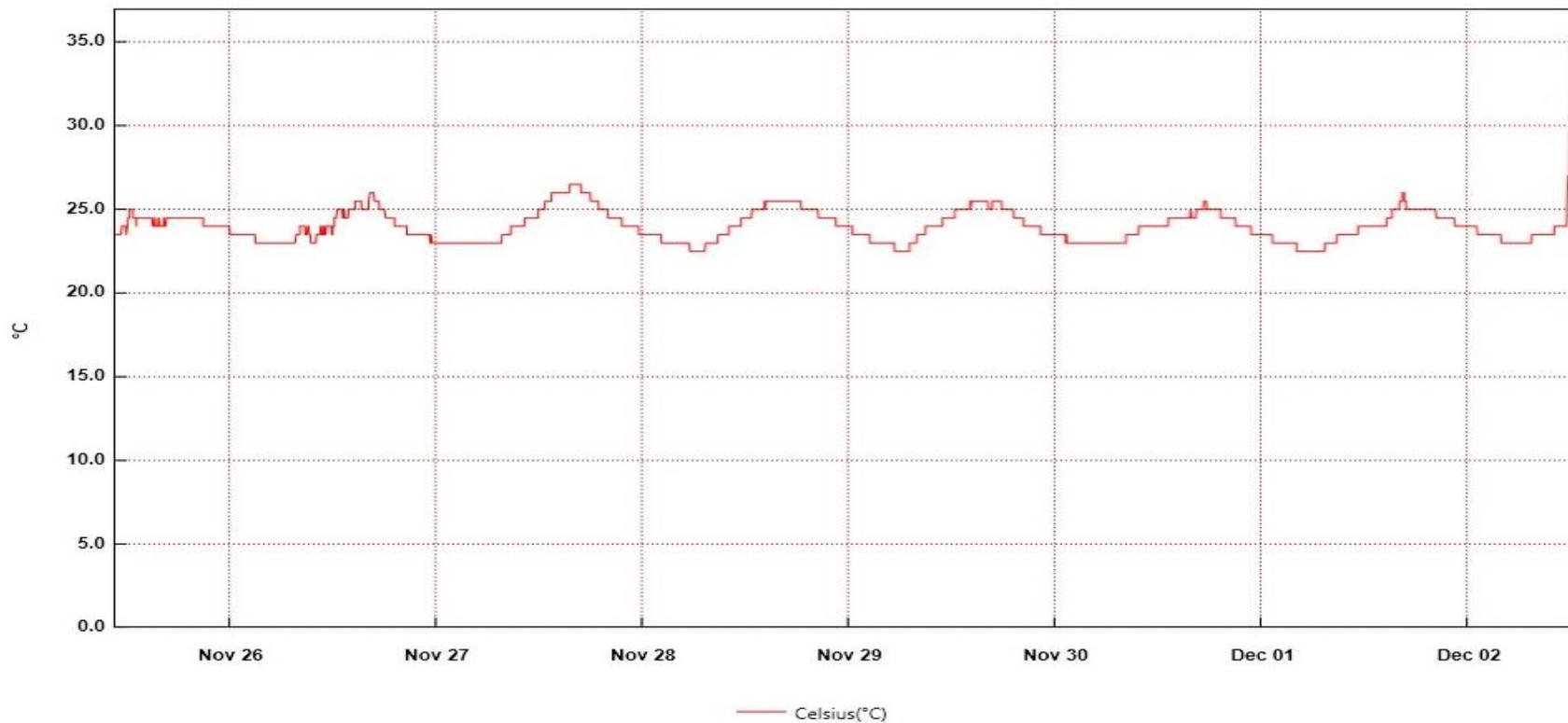
Los horarios se obtuvieron a través de consultas que se realizaron al personal que labora en el edificio y que luego se reforzo con el perfil de carga de las mediciones que se tomaron posteriormente.

Mediciones

- El tercer paso fue la toma de mediciones eléctricas, para la toma de datos se utilizó el analizador de redes eléctricas DRANETZ 440 el cual se instaló en tablero general de emergencia tomando una muestra de consumo por 24 horas para cada nivel, tablero general, unidades centrales de aire acondicionado (chiller1, chiller2).

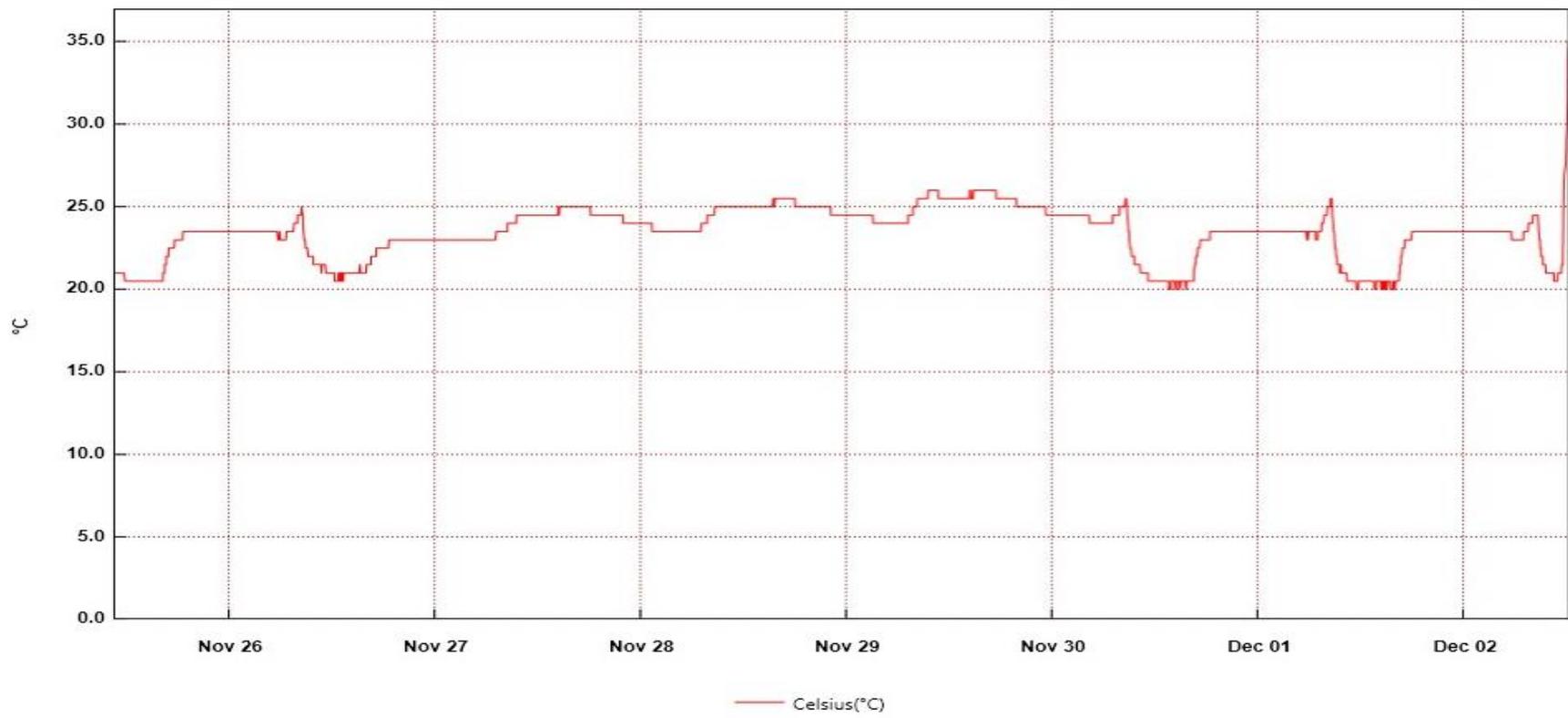
Medición de temperatura con data logger

Esta medición fue tomada en el periodo de una semana en tres diferentes niveles y los resultados obtenidos se muestran a continuación en la siguientes graficas:

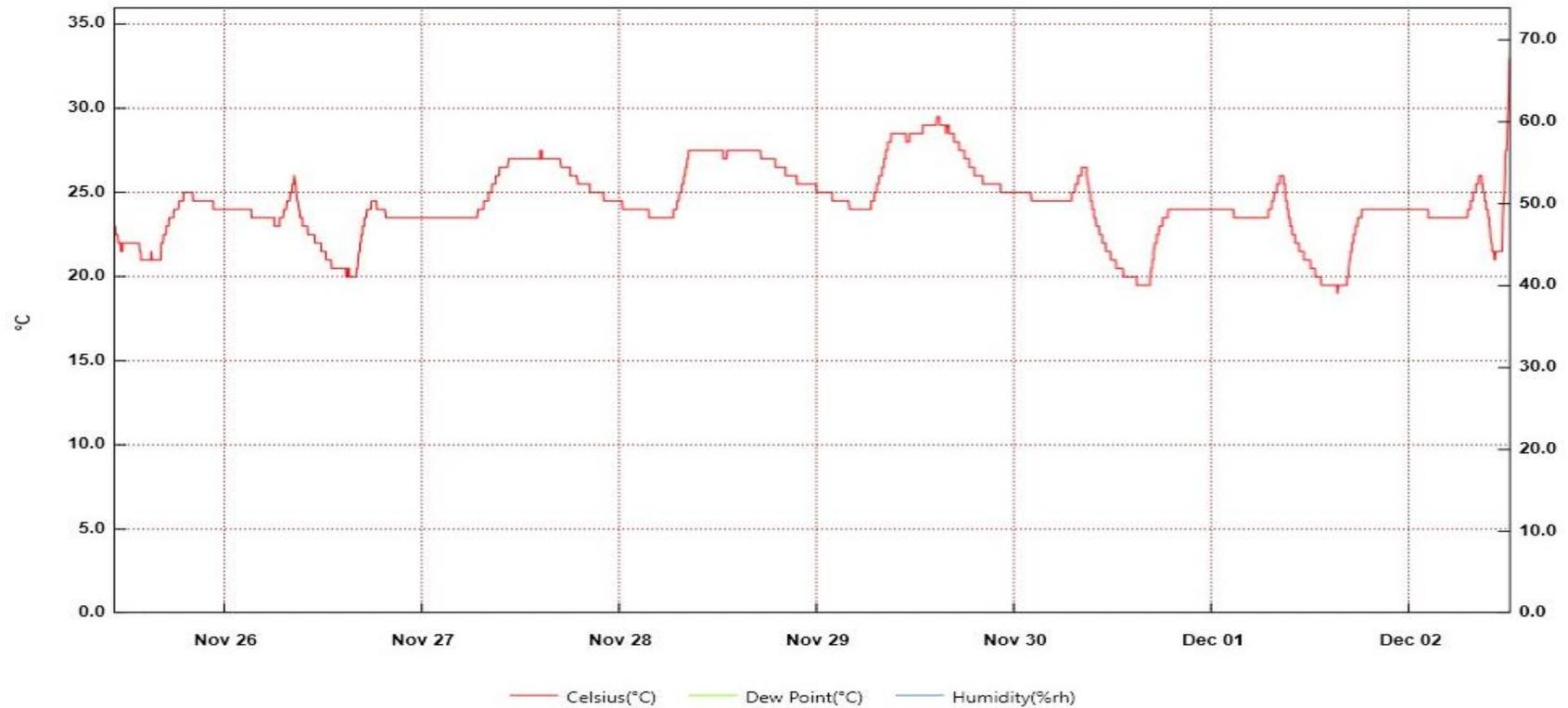


From: jueves, 25 de noviembre de 2021 10:30:00 - To: jueves, 2 de diciembre de 2021 12:23:00

Figura 2.42 grafica de variación de temperatura tomada con data logger en nivel 2 en un periodo de siete días.



From: jueves, 25 de noviembre de 2021 10:30:00 - To: jueves, 2 de diciembre de 2021 12:25:00
Figura 2.43 grafica de variación de temperatura tomada con data logger en nivel 5 en un periodo de siete días.



From: jueves, 25 de noviembre de 2021 10:30:00 - To: jueves, 2 de diciembre de 2021 12:26:00
Figura 2.44 grafica de variación de temperatura tomada con data logger en nivel 6 en un periodo de siete días.

En las gráficas anteriores podemos observar que los niveles se encuentran en temperaturas entre 20 y 29 grados, siendo 20°C la temperatura más baja en el día indicando el funcionamiento de los chillers. Las figuras 2.43 y 2.44 muestran un comportamiento atípico en la temperatura esto fue a causa del mal funcionamiento de uno de los chillers que posteriormente fue corregido.

Resumen

- De la facturación podemos obtener el tipo de cobro la tendencia de consumo de los últimos tres años siendo estos los siguientes: Cliente gran demanda con facturación a media tensión con medición horaria las gráficas de consumo muestra una disminución entre los años 2020 y 2021 que concuerda con las medidas tomadas por el gobierno a causa de la pandemia, el año 2019 muestra un consumo constante que en promedio refleja 4,201.33kWh de energía punta, 4,653.33kWh de energía valle, 61,130.00 kWh de energía resto haciendo un total de 69,984.66kWh al mes y 486.00kW de potencia siendo esto equivalente en dólares de 13,442.51 USD.
- El edificio está conformado por 11 niveles, planta baja y sótano las puertas de acceso al lado norte y sur de cada nivel son puertas de vidrio de dos alas, la fachada a partir del nivel 1 es de vidrio con corta sol desde el nivel 2 hasta el nivel 11 en sus cuatro lados. El sistema de climatización es controlado por dos chiller de 225 toneladas cada uno haciendo un total de 450 toneladas para todo el edificio el diseño utilizado es para oficinas abiertas esto se repite para cada nivel.
- **Resultados de las mediciones eléctricas**

La siguiente tabla muestra de una forma resumida el consumo por nivel que se obtuvieron de las mediciones con el analizador de redes, esta medición es el consumo total en 24 horas y no está separado por los diferentes rubros que presenta la factura tampoco se muestra la potencia que tiene un valor significativo en la factura debido a que esta se obtiene con una medición total del edificio en la acometida o deduciendo del perfil de potencia de cada medición tomada esto se ara posteriormente.

Tabla 16 resultado de las mediciones para cada nivel del edificio en 24 horas

Nivel de edificio	Energía consumida (kWh)
Sótano	17.41
Planta baja 1	192.46
Planta baja 2	127.03
Nivel 1	47.61
Nivel 2	46.9
Nivel 3	35.89
Nivel 4	30.59
Nivel 5	47.94
Nivel 6	32.25
Nivel 7	36.36
Nivel 8	45.35
Nivel 9	58.00
Nivel 10	38.22
Nivel 11	37.67
Chiller 1	1094.85
Chiller 2	839.1
Tablero general	577.91

De la tabla anterior se observa que los mayores consumidores de energía son chiller1, chiller2 seguido del tablero general donde se encuentran las manejadoras bombas de agua ascensor2 y aires acondicionados luego le sigue planta baja 1 y planta baja 2 del tablero de emergencia.

Las gráficas del perfil de potencia también nos muestran las horas en que el edificio comienza a entrar en actividad teniendo un cambio de potencia al alza a las 6:00 am y otro a las 16:30 y 19:30 a la baja en algunos niveles, esto nos ayudara al momento de realizar la simulación.

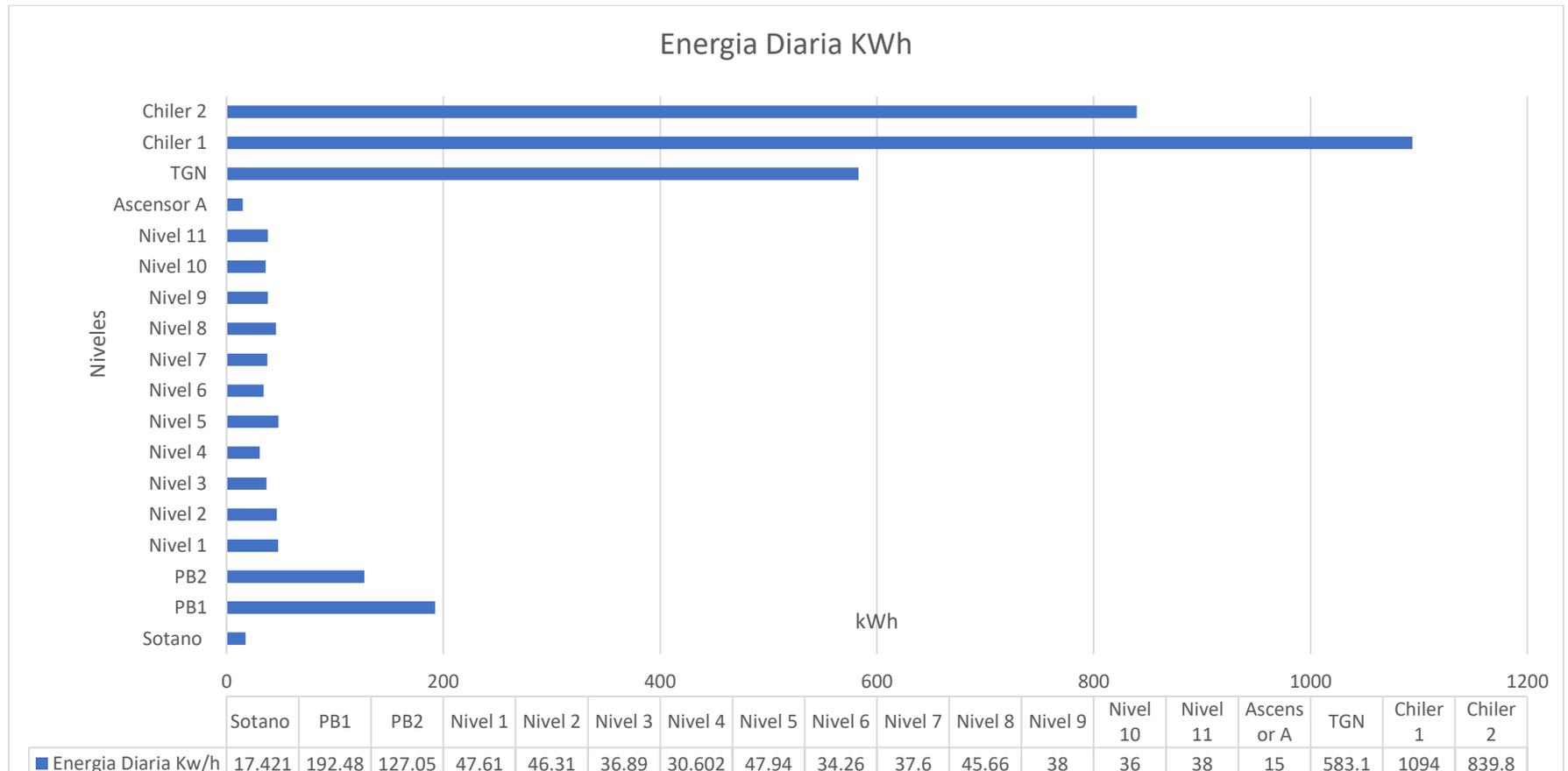


Figura 2.45 Representación gráfica de las mediciones (Perfil de carga de Torre PGR San Salvador) Fuente Dranetz 4400.

- Con la ayuda de las mediciones y la auditoria de equipos se modelaron horarios para equipos y un consumo estimado logrando asignar un porcentaje de consumo por equipos como se muestra en la siguiente tabla para un periodo de un mes.

Tabla 18. consumo de energía por energético según mediciones extrapolado a un mes.

Resumen de consumo kWh al mes		porcentaje
Computadoras	5053.08	7.06%
Iluminación	6030.36	8.43%
Oasis	1411.2	1.97%
Impresores	58.837975	0.08%
Microondas	315	0.44%
Tostador	142.8	0.20%
Cafetera	781.2	1.09%
Refrigeradores	119.28	0.17%
Ascensores	630.000	0.88%
Chiller	40614	56.76%
Servidor	3456.72	4.83%
Manejadoras y split	12946.38072	18.09%
Total	71558.859	100%

Consumo de equipos (kWh) en un mes

La siguiente grafica muestra de forma más clara los resultados de la tabla anterior

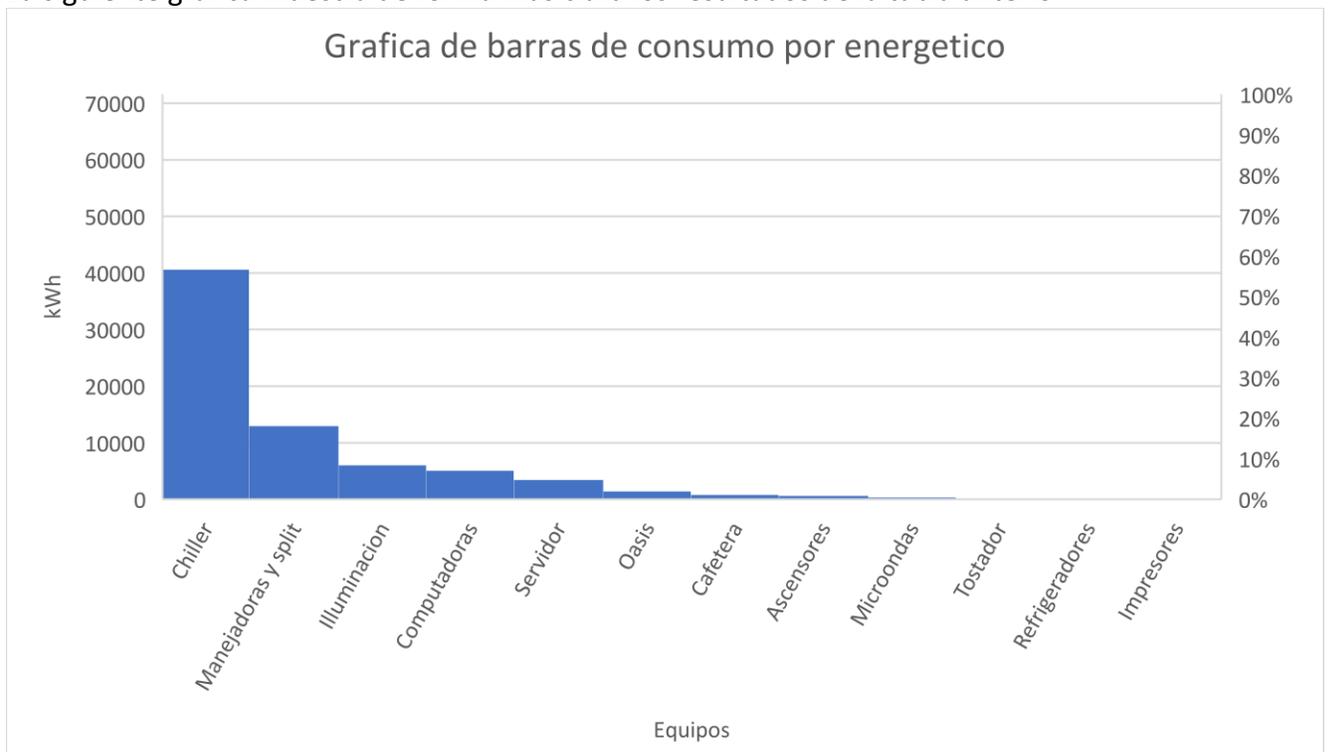


Figura 2.46 grafica de barras del consumo en kWh de los equipos en un periodo de un mes

La grafica anterior muestra que el mayor consumo está en los chiller y las manejadoras, la figura 2.47 es la representación gráfica de los datos que se muestran en la tabla 18. En la siguiente figura se muestra la potencia acumulada obtenida de las mediciones para todo el edificio en 24 horas

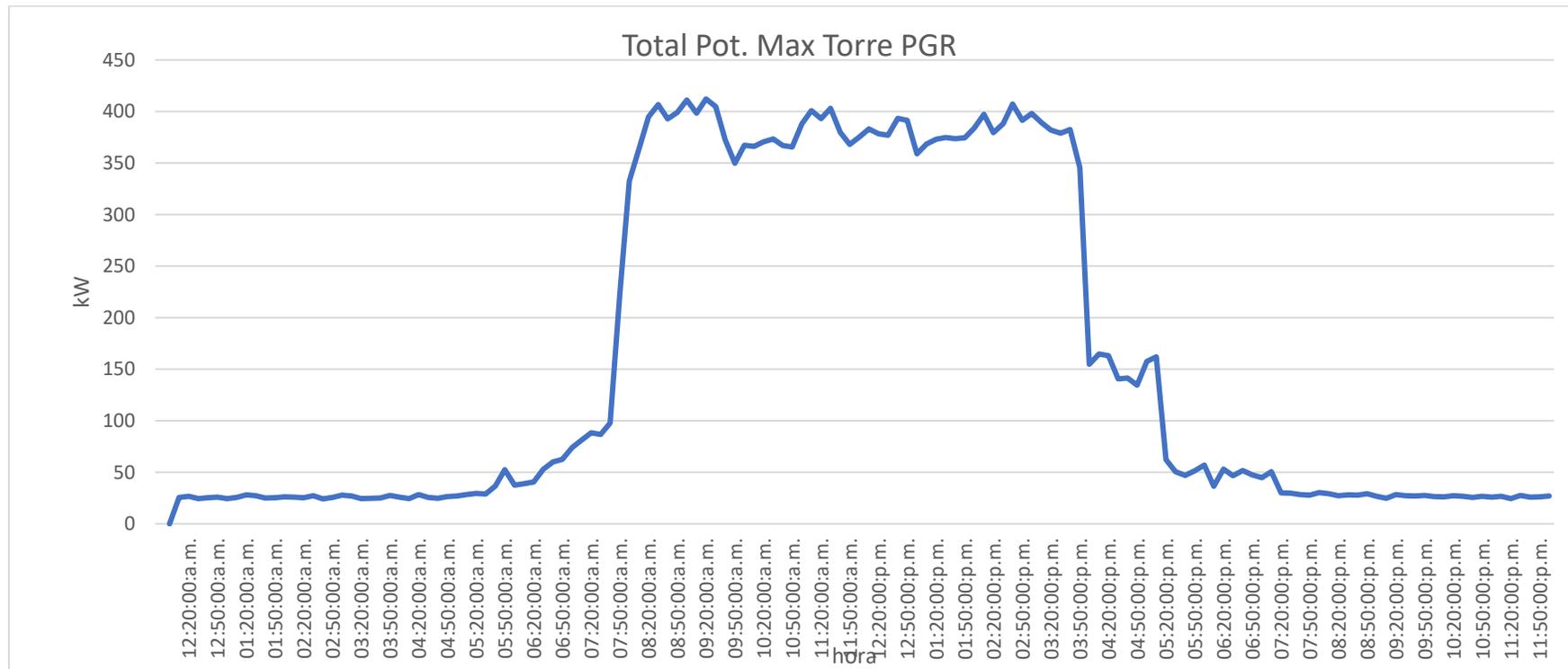


Figura 2.47 grafica de potencia de todo el edificio obtenida sumando las mediciones tomadas en 24 horas por nivel. Fuente Dranetz 4400.

La potencia máxima registrada fue de 412 kW.

- La temperatura mínima que se registró con los dataloger fue de 19 grados Celsius

La información anterior nos servirá para modelar el edificio en openstudio y que esta sea lo más cercana posible a la realidad y poder obtener con precisión resultados de cambios que pudiesen realizarse a futuro.

CAPÍTULO 3

Simulaciones

Al realizar las simulaciones se debe tomar en cuenta que se realizara una simulación de año base de consumo de energía posteriormente se realizaran otras simulaciones las cuales denominaremos simulaciones de bajo consumo de energía las cuales presentaran variaciones que se describirán en cada caso para luego obtener una simulación final con todas las variaciones posibles que permitan obtener un ahorro significativo.

Simulación Año Base de Consumo de Energía:

Con los datos obtenidos de la auditoria eléctrica y el modelo 3D comenzaremos a parametrizar OpenStudio el cual no proporcionara una simulación del año en base a los datos obtenidos de los pasos anteriores.

Site: utilizamos de referencia el archivo de clima de la Universidad de El Salvador ya que se encuentra prácticamente en la misma zona, el año base a evaluar sería el 2022.

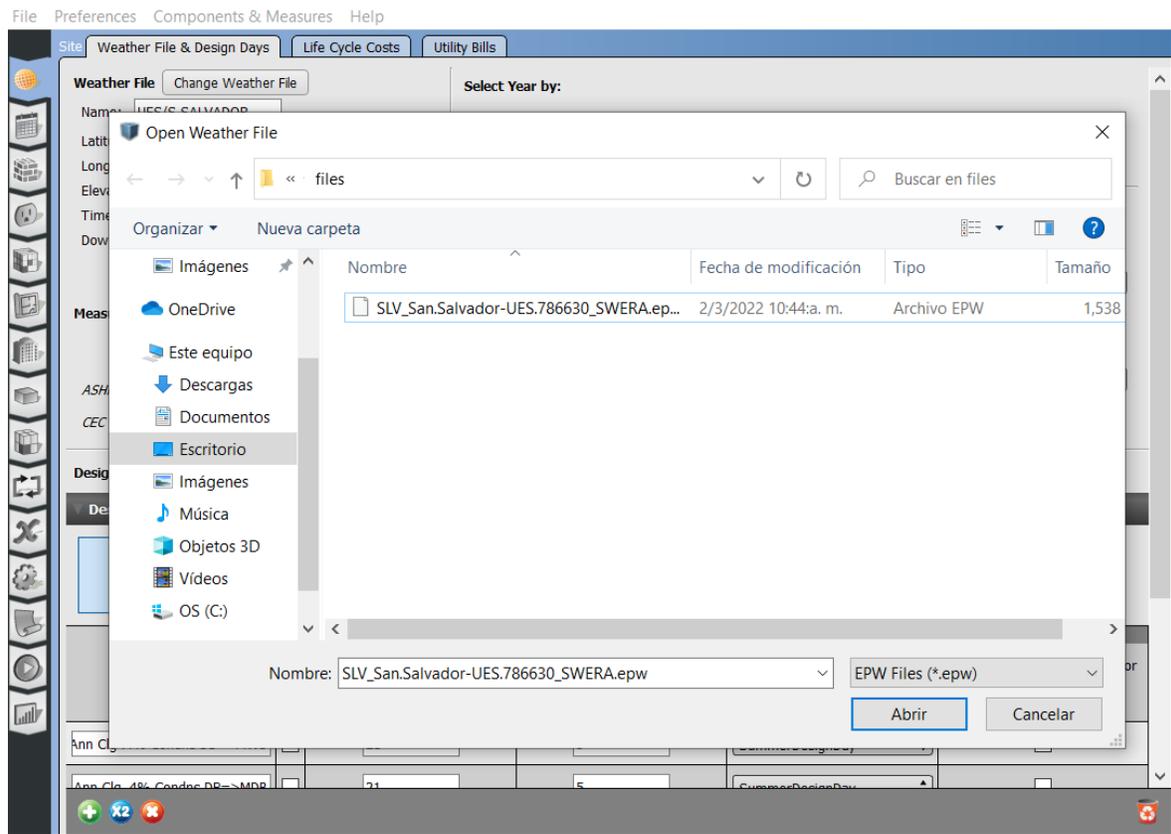


Figura 3.1 Parámetros clima y periodo en simulador openstudio. Fuente OpenStudio

Schedule.

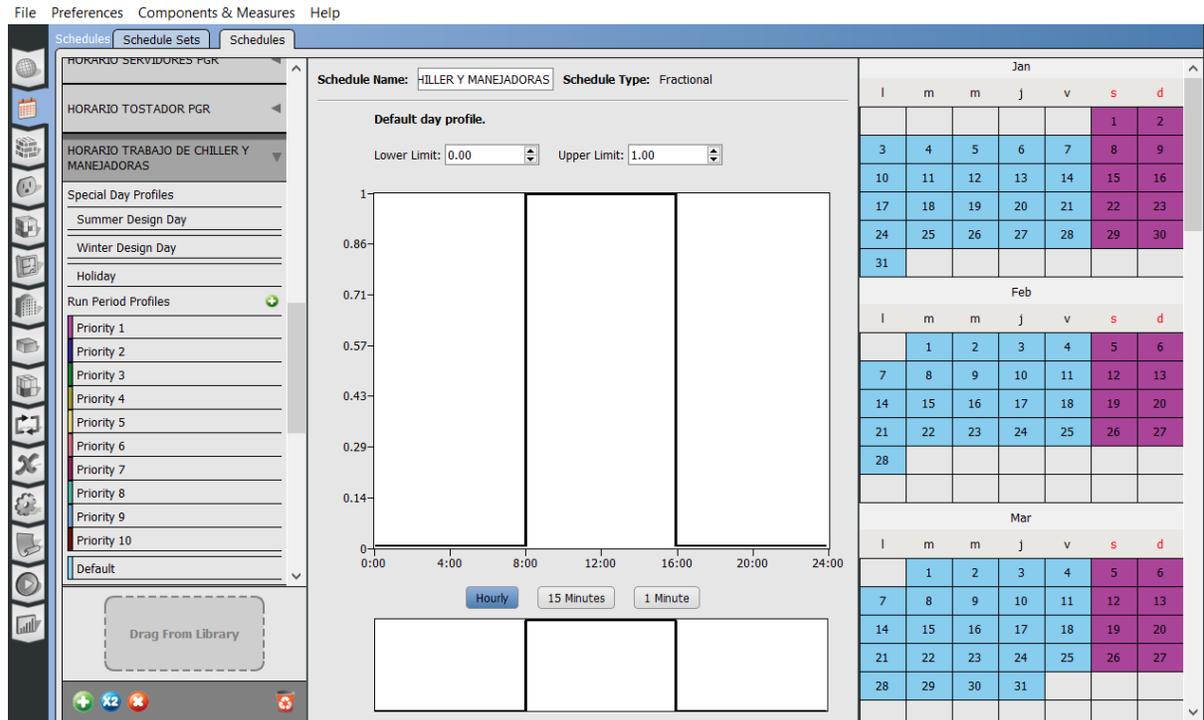


Figura 3.2 Creación de horarios en pestaña Schedule de Chiller y manejaadoras. Fuente Propia

Se crearon los diferentes horarios para cada equipo Eléctrico, Persona y Chiller, en los cuales cabe mencionar que se definieron las prioridades las cuales nos permiten suprimir los días que no se labora las prioridades utilizadas son las siguientes:

1. Sábados y Domingos.
2. 1 y 2 de enero.
3. Semana Santa 06-12/04
4. Primero de mayo.
5. 10 de mayo
6. 17 de junio
7. Vacaciones de agosto 01-07/08
8. 15 septiembre
9. 2 noviembre
10. 24-31/12

Construtions.

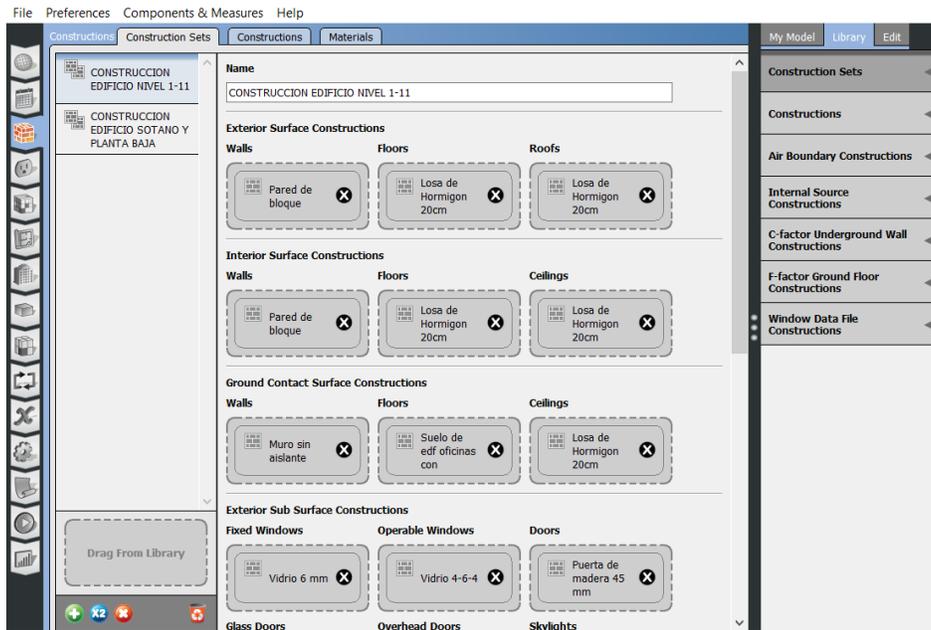


Figura 3.3 Materiales de construcción del edificio Torre PGR San Salvador. Se utilizaron los datos obtenidos de las visitas y revisión de materiales que constituían las paredes, pisos ventanas, etc.

Loads.

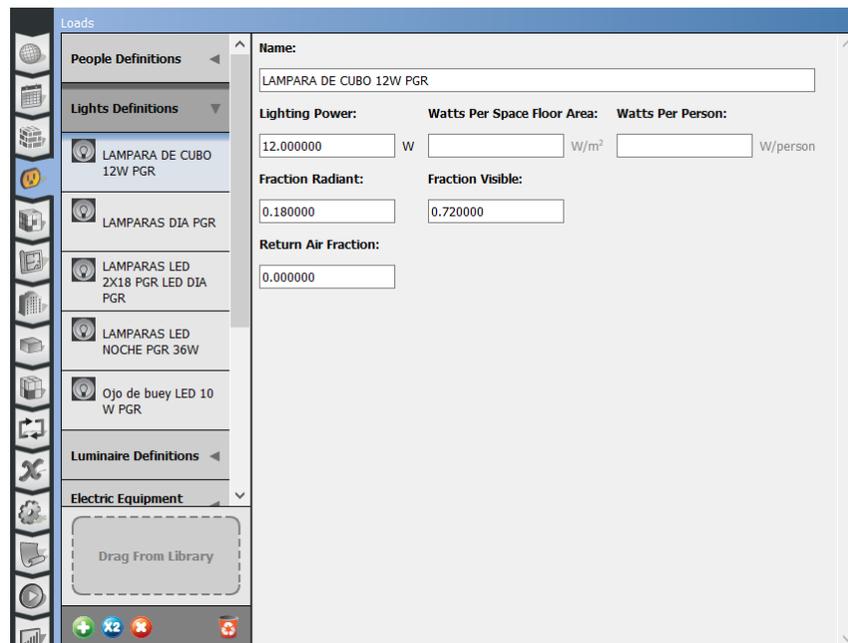


Figura 3.4 Materiales de construcción del edificio. En Loads utilizamos los datos de las placas y mediciones obtenidas para crear las cargas como luminarias, computadoras, ventiladores, oasis, etc. Así mismo en schedules se crearon un horario de uso para cada carga creada

Geometry.

Se utilizo el modelo realizado en sketchup con el plugin de OpenStudio realizado con las mediciones obtenidas del edificio.

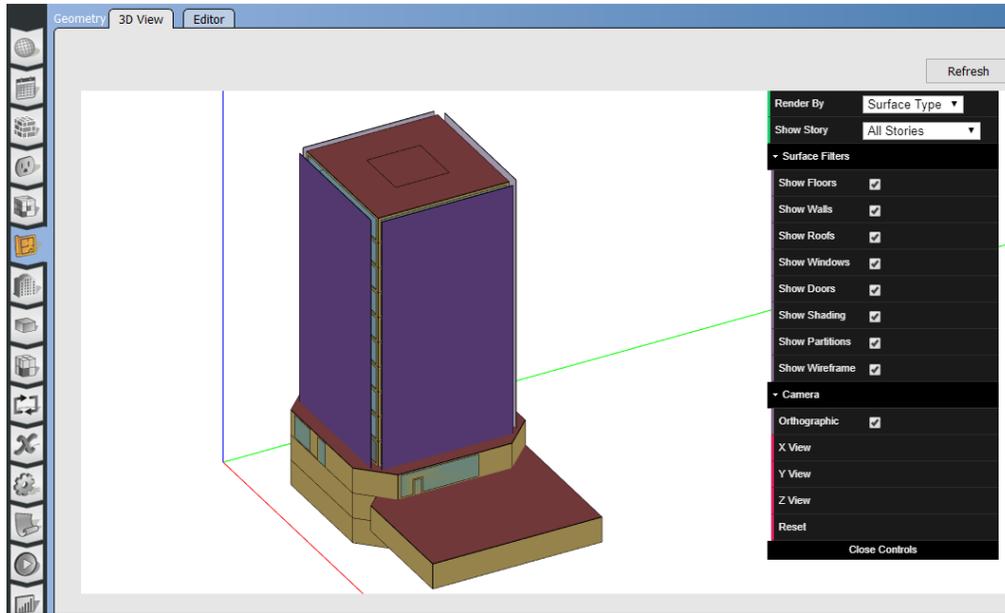


Figura 3.5 Modelo 3D del edificio Torre PGR San Salvador.

Thermal Zones.

Thermal Zones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
ascensor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Temperatura re
Sotano	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Temperatura re
Zona Termica Nivel 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HVAC Building Story 22 Duct VAV No Reheat 4 brd Convective Water 3	Temperatura re
Zona Termica Nivel 10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HVAC Building Story 31 Duct VAV No Reheat 13 brd Convective Water 4	Temperatura re
Zona Termica Nivel 11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HVAC Building Story 32 Duct VAV No Reheat 14 brd Convective Water 5	Temperatura re
Zona Termica Nivel 2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HVAC Building Story 23 Duct VAV No Reheat 3 brd Convective Water 6	Temperatura re
Zona Termica Nivel 3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HVAC Building Story 24 Duct VAV No Reheat 5 brd Convective Water 7	Temperatura re

Figura 3.6 Zonas térmicas Torre PGR San Salvador. A partir del modelo 3D se crearon una zona térmica para cada área que son: Nivel 1-Nivel 11, Zona de ascensor, Zona de planta baja y Sótano.

HVAC Systems.

El sistema de AA instalado en El edificio consta de 2 chillers de 225Toneladas cada uno, para nuestro diseño utilizamos los parámetros obtenidos en las visitas para crear un equipo que cumplan con las características antes descritas.

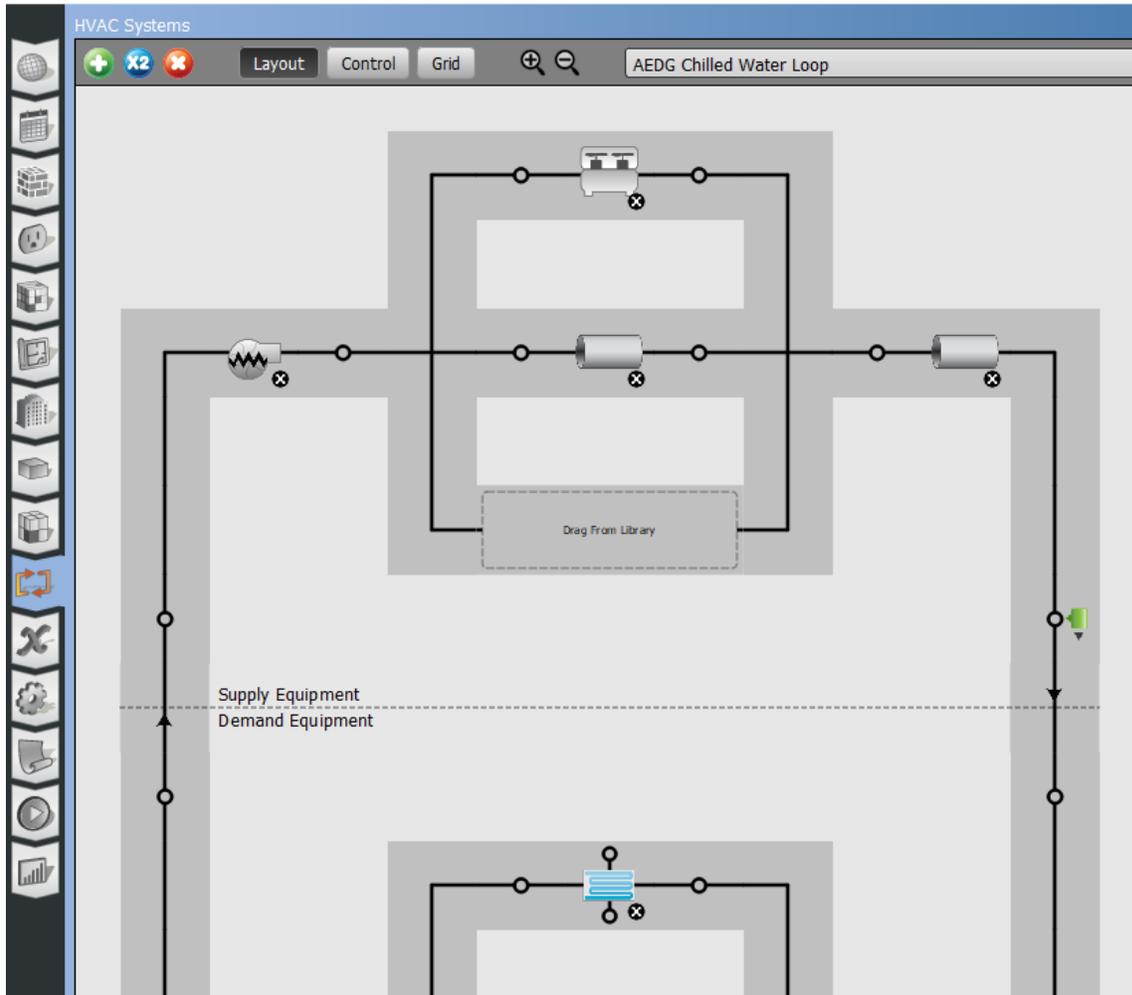


Figura 3.7 Creación de chiller de 450 Toneladas de capacidad.

Al haber realizado una medición de temperaturas de nivel obtuvimos la temperatura setup del chiller las temperaturas de diseño son las siguientes:

Temperatura Exterior minima: 15 °C

Temperatura Exterior Maxima: 30 °C

Temperatura Termostato Interior : 16 °C

Capacidad en Toneladas: 450 toneladas.

Equipo no Inverter.

Horario de uso automatizado 8:00am hasta 4:00pm (Comprobado con mediciones).

Bombas utilizadas 4 de flujo no variable.

Output Variables.

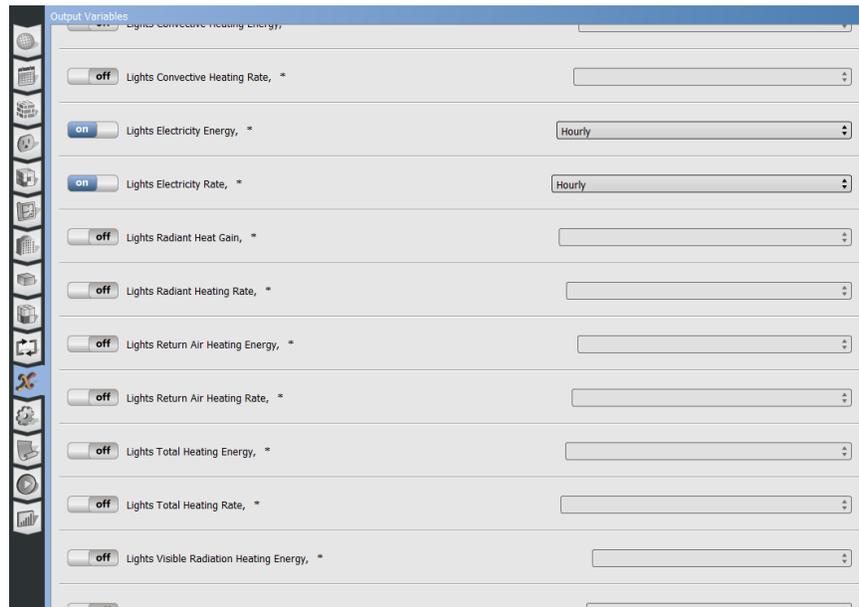


Figura 3.8 Variables de salida, Las variables que utilizaremos serán: Energía mes y año, potencia mensual, Energía de cada dispositivo creado.

Resultados de simulación Año Base de Consumo de Energía.

Al Realizar la simulación Obtenemos los siguientes resultados:

Energía Mensual

Electricity Consumption (kWh) - view table

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating													
Cooling	17804.06	17582.86	22556.75	16234.17	20219.31	17737.75	18649.53	15057.11	17195.17	17975.25	17351.44	13243.86	211607.25
Interior Lighting	6559.61	6244.86	7179.72	5007.72	6559.61	6558.06	6559.61	5319.33	6558.06	6559.61	6558.06	5319.33	74983.58
Exterior Lighting													
Interior Equipment	14746.86	13619.64	15327.92	13015.36	14746.86	14467.97	14746.86	13584.78	14467.97	14746.86	14467.97	13584.78	171523.83
Exterior Equipment													
Fans	10545.67	10043.5	11550.03	8034.81	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	120521.94
Pumps	22629.53	21551.94	24784.72	17241.56	22629.53	22629.53	22629.53	18319.14	22629.53	22629.53	22629.53	18289.22	258593.28
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	72285.72	69042.81	81399.14	59533.61	74700.97	71938.97	73131.19	60817.33	71396.39	72456.92	71552.67	58974.17	837229.89

Figura 3.9 Tabla resultados Consumo de Energía Año Base, Simulado en OpenStudio ; la tabla nos muestra el consumo de energía kWh por mes y sus contribuciones específicas como equipo de climatización, Luces interiores y equipos eléctricos, Donde cabe resaltar que el valor obtenido total anual es de 837,229.89kWh este dato nos servirá para posteriormente realizar comparaciones con los modelos de bajo consumo e indicadores de eficiencia energética.

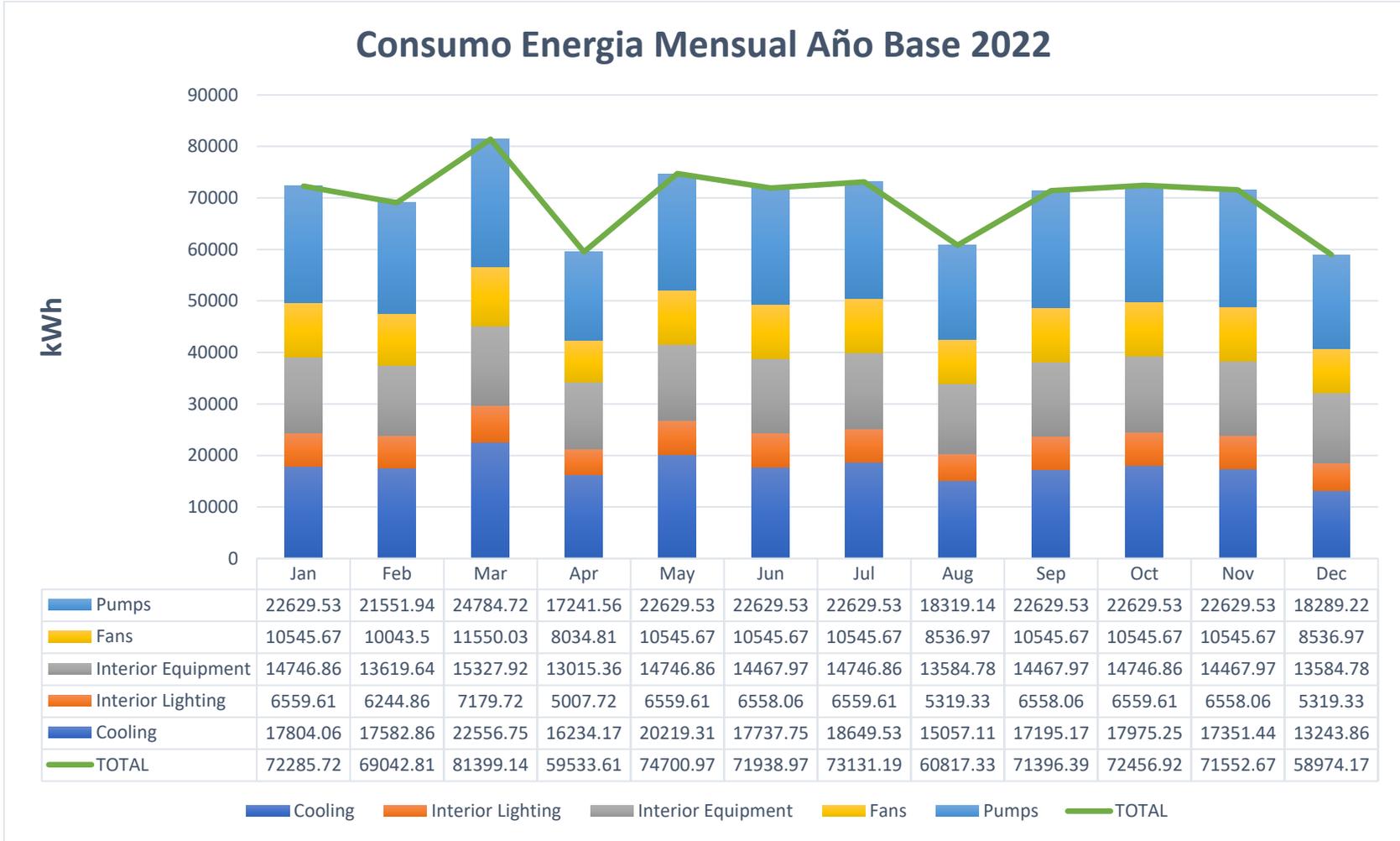


Figura 3.10 Grafico Consumo de Energía Mensual Año Base 2022, nos muestra los datos obtenidos de la simulación en OpenStudio los cuales se muestran el consumo mensual y la contribución tanto de equipo de climatización, luminaria y equipo eléctrico, la línea sobre la gráfica muestra el acumulado total de las contribuciones de cada carga en estudio.

Consumo Energía Mensual Año Base 2022

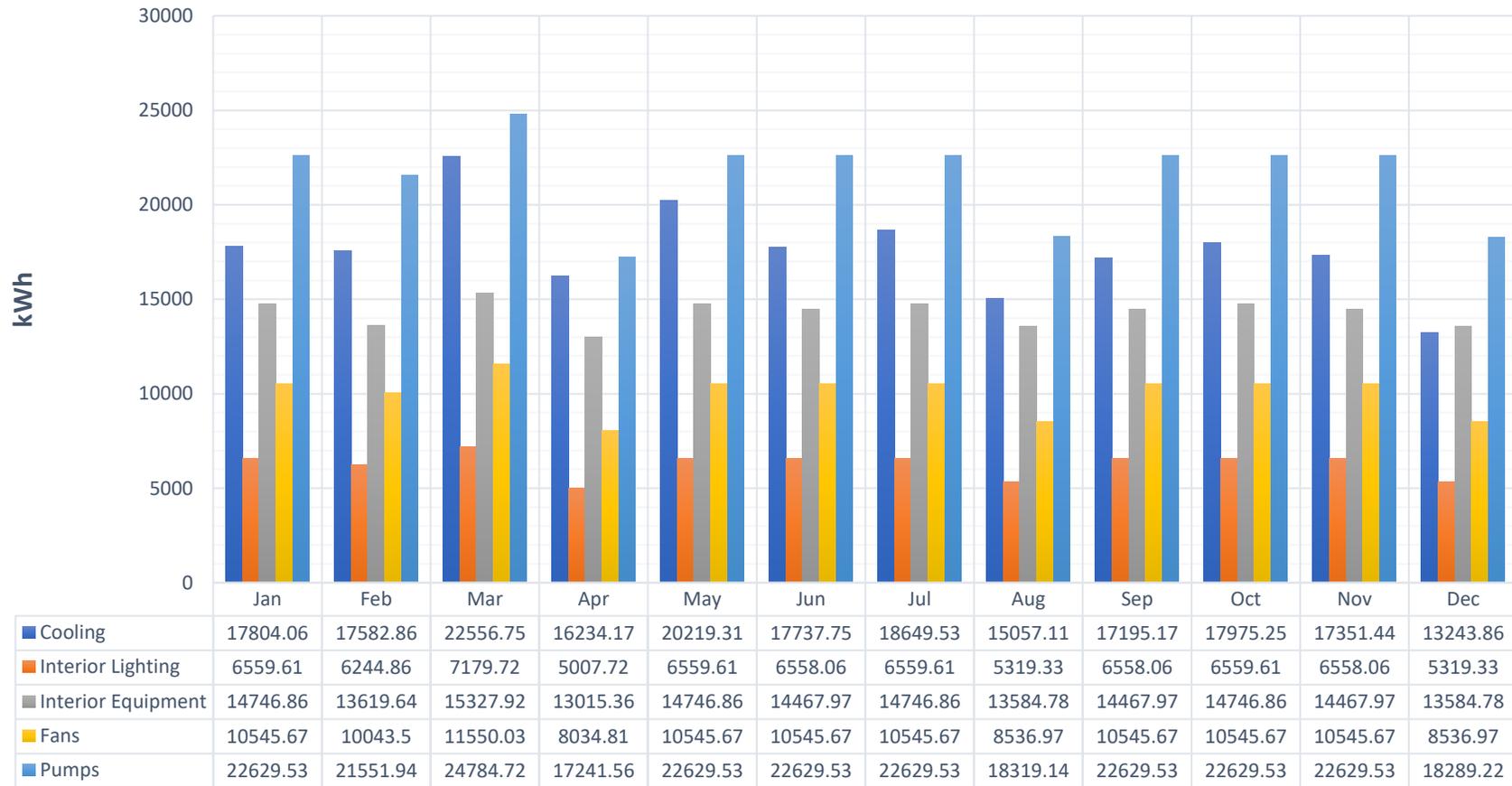


Figura 3.11. Consumo desglosado de energía año base 2022, en esta grafica se muestra una comparativa mensual de cada contribución de las cargas consideradas como el equipo de climatización (Cooling + Fans+ Pumps), luminarias y equipo eléctrico, en la cual se observa las variaciones mensuales de cada contribución de las cargas esto debido al horario de trabajo y clima de la zona.

Potencia año Base.

Electricity Peak Demand (kW) - view table

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Heating												
Cooling	121.299	139.0683	166.9949	161.5587	147.1984	124.5439	141.5816	124.4864	117.561	121.0162	116.9643	113.6561
Interior Lighting	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906	29.906
Exterior Lighting												
Interior Equipment	73.4138	73.4138	63.3998	73.4138	73.4138	73.4138	64.0401	73.4138	73.4138	73.4138	73.4138	73.4138
Exterior Equipment												
Fans	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719	62.7719
Pumps	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996	134.6996
Heat Rejection												
Humidification												
Heat Recovery												
Water Systems												
Refrigeration												
Generators												
Total	422.09	439.86	457.77	462.35	447.99	425.34	433.0	425.28	418.35	421.81	417.76	414.45

Figura 3.12 Tabla resultados Potencia Año Base 2022, en esta tabla podemos observar la demanda de potencia kW por mes y desglosada en cada contribución que representa el sistema de climatización (Cooling + Fans+ Pumps), luminaria y equipo eléctrico.

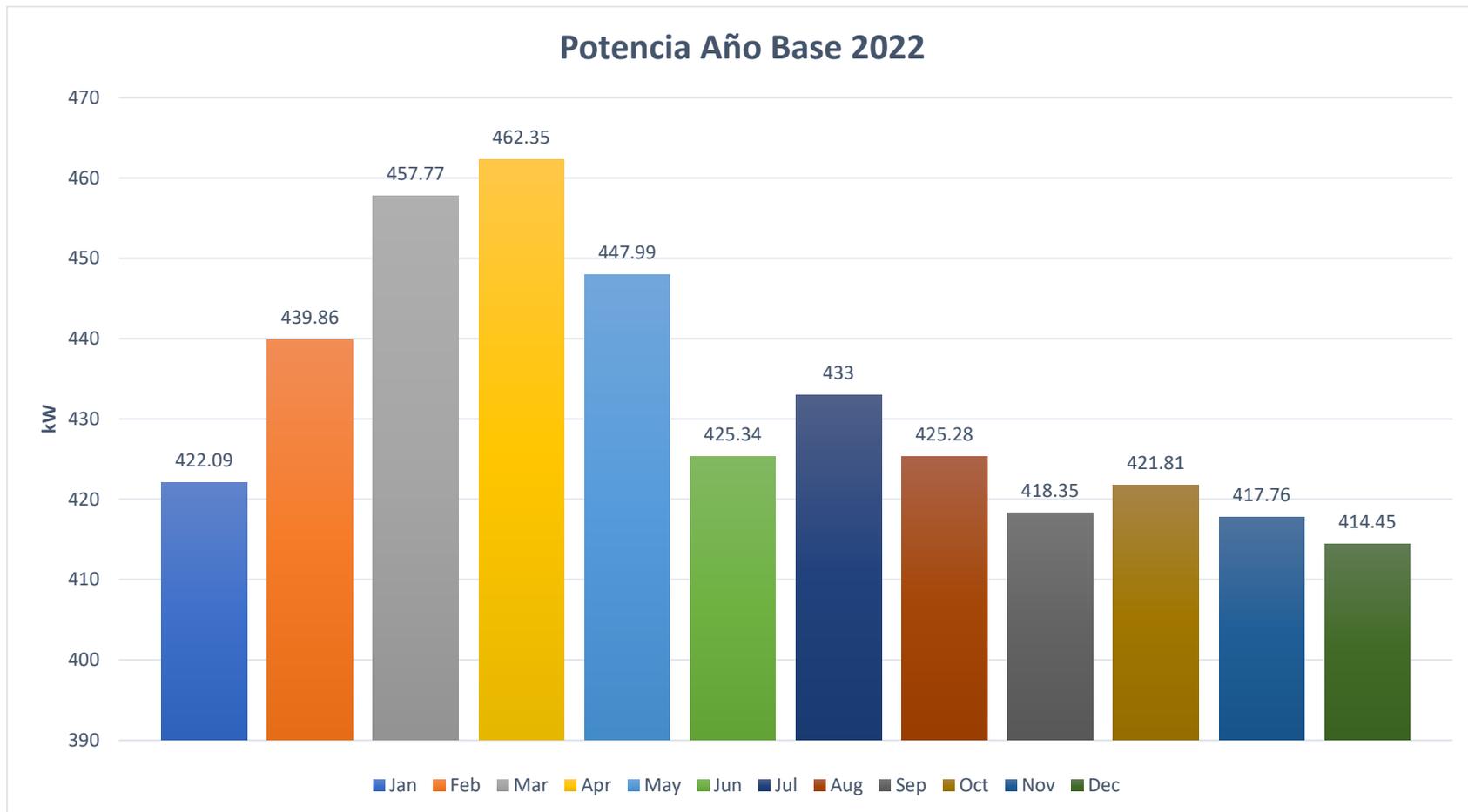


Figura 3.13 Grafico Consumo Potencia kW Año Base 2022, En el grafico se puede observar la tendencia de demanda de potencia en kW por mes, la cual nos muestra un valor máximo registrado de 462.35kW.

Validación de resultados

Para la simulación de año base se creó la simulación con los datos actuales reales obtenidos de las mediciones que se realizaron al edificio Torre PGR San Salvador en el año 2022, se mostraran el historial que se tiene facturación hasta la fecha para mostrar los criterios tomados para realizar y tomar el año base.

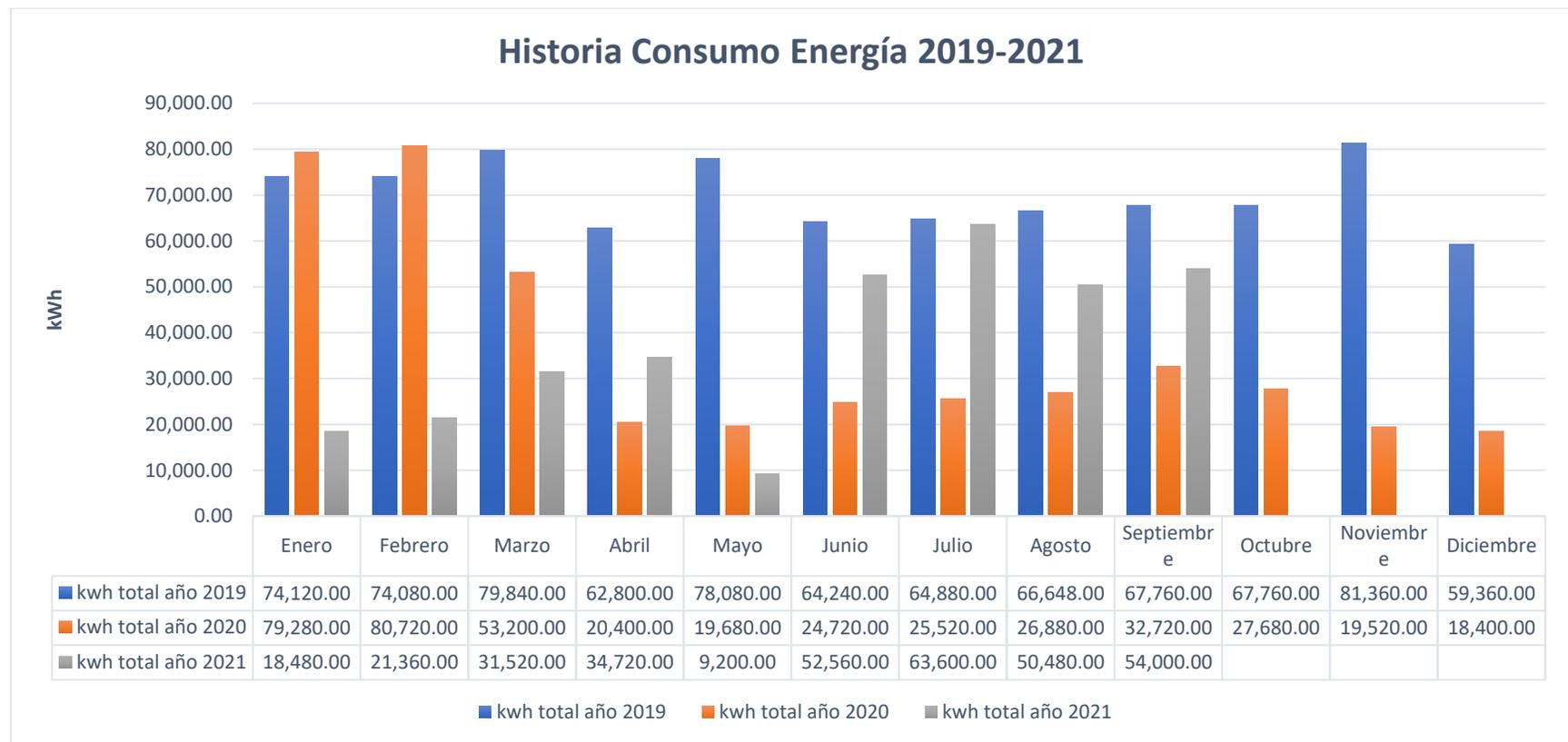


Figura 3.14 Grafico de barras el cual presenta el historial de consumo de energía facturado en el periodo del 2019 al 2021, donde las barras de azul representan el año 2019, Anaranjado año 2020 y Gris el año 2021. Fuente de datos proporcionados por Unidad de Medio Ambiente de PGR San Salvador.

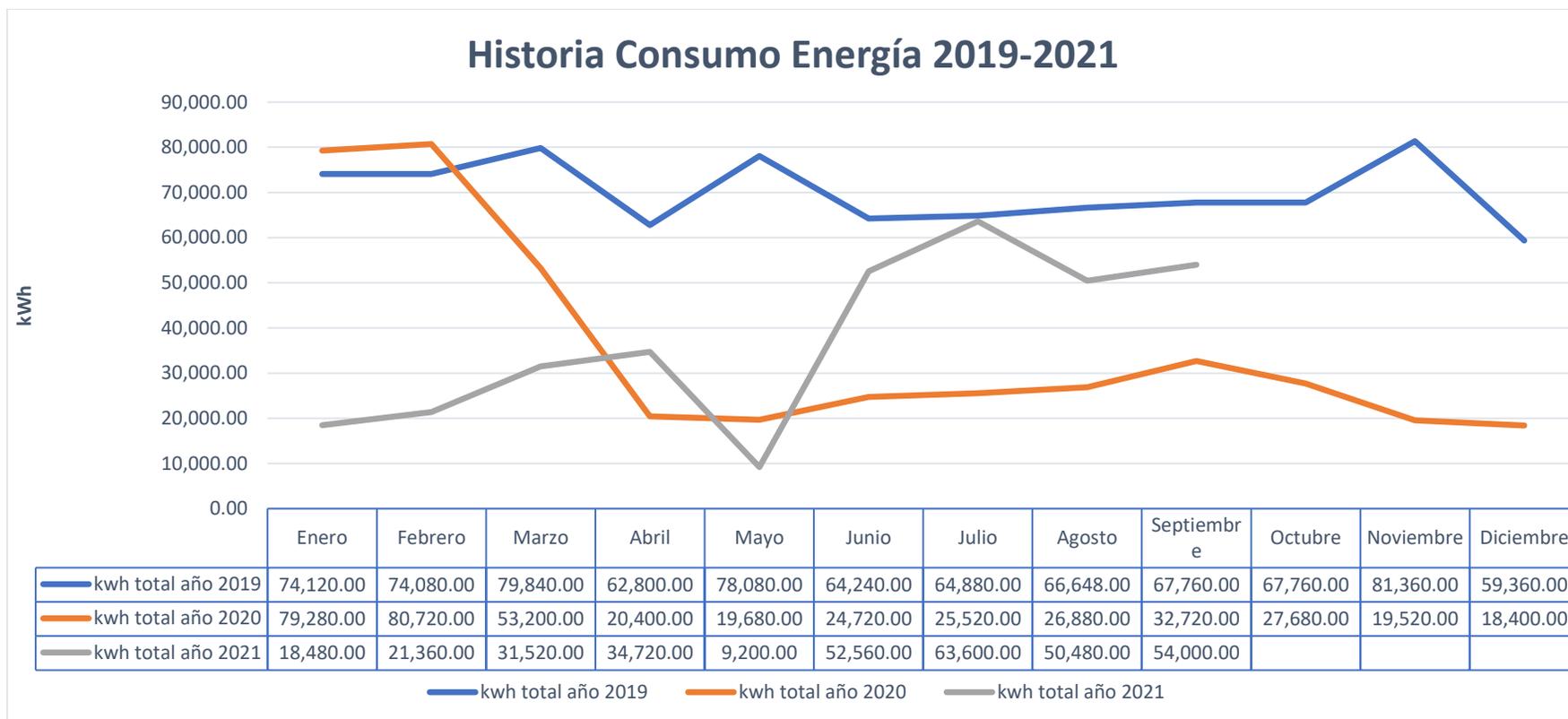


Figura 3.15 Grafico de líneas Consumo Energía 2019-2021, este grafico nos muestra la tendencia de consumo de energía del periodo 2019 al 2021 en el cual se observa la tendencia anormal en el año 2020 a partir del mes de marzo la cual fue debido a la crisis sanitaria que se presentó en el mundo por la pandemia.

Historial de consumo de Potencia 2019-2021

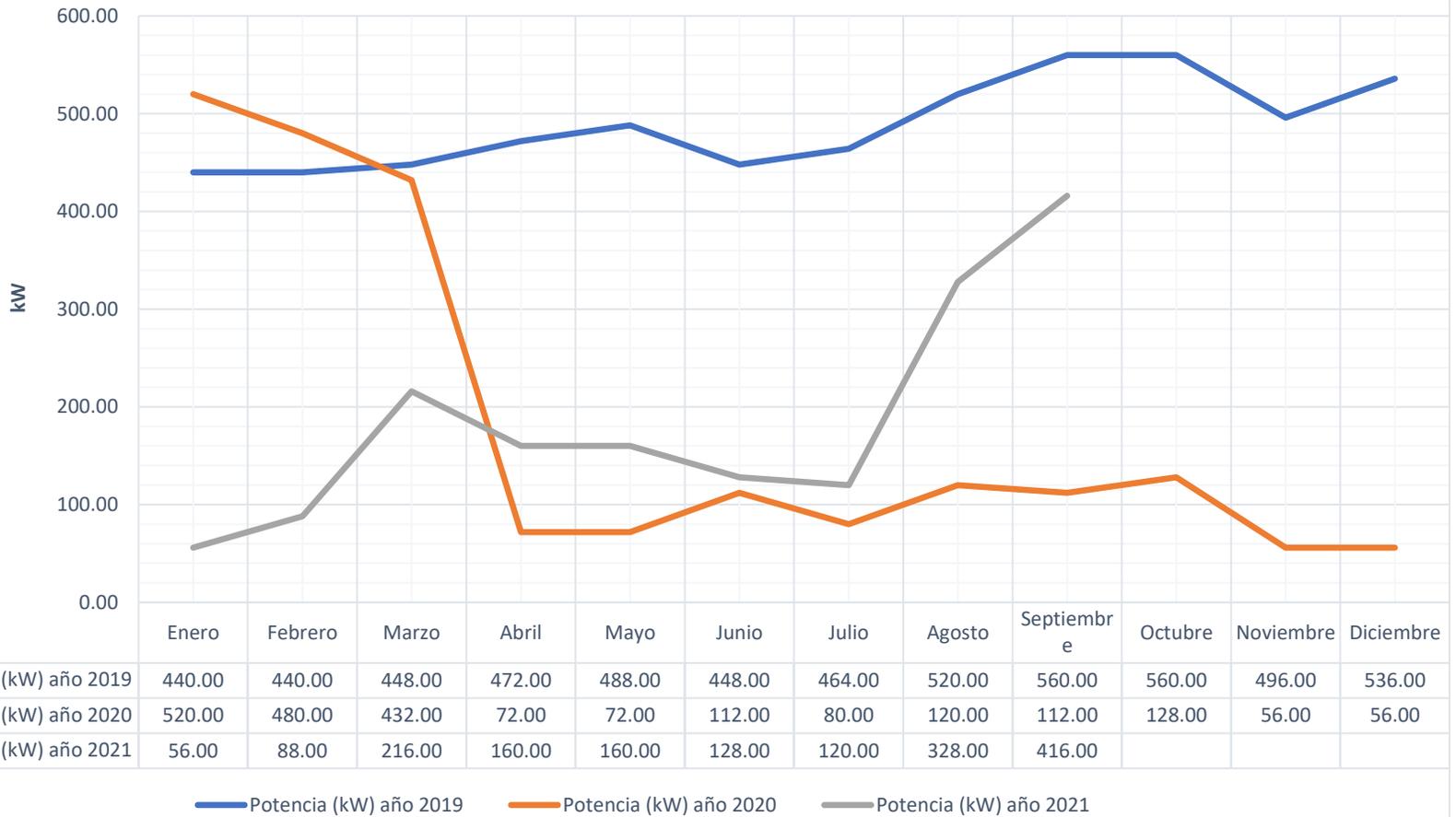


Figura 3.16 Grafico de líneas Consumo Potencia 2019-2022. Se observa variaciones considerables debido a la irregularidad de la forma de trabajo debido a la crisis sanitaria que existía por lo que tomaremos el año 2019 y compararemos el resultado con el 2022 con fines de validar los datos ya que no se poseen hasta la fecha facturación del 2022.

Verificación de tendencia de consumo de energía año base 2019 VS 2022													
Energía mensual	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
kWh total meses 2019	74,120.00	74,080.00	79,840.00	62,800.00	78,080.00	64,240.00	64,880.00	66,648.00	67,760.00	67,760.00	81,360.00	59,360.00	840,928.00
kWh total meses 2022	72,285.72	69,042.81	81,399.14	59,533.61	74,700.97	71,938.97	73,131.19	60,817.33	71,396.39	72,456.92	71,552.67	58,974.17	837,229.89

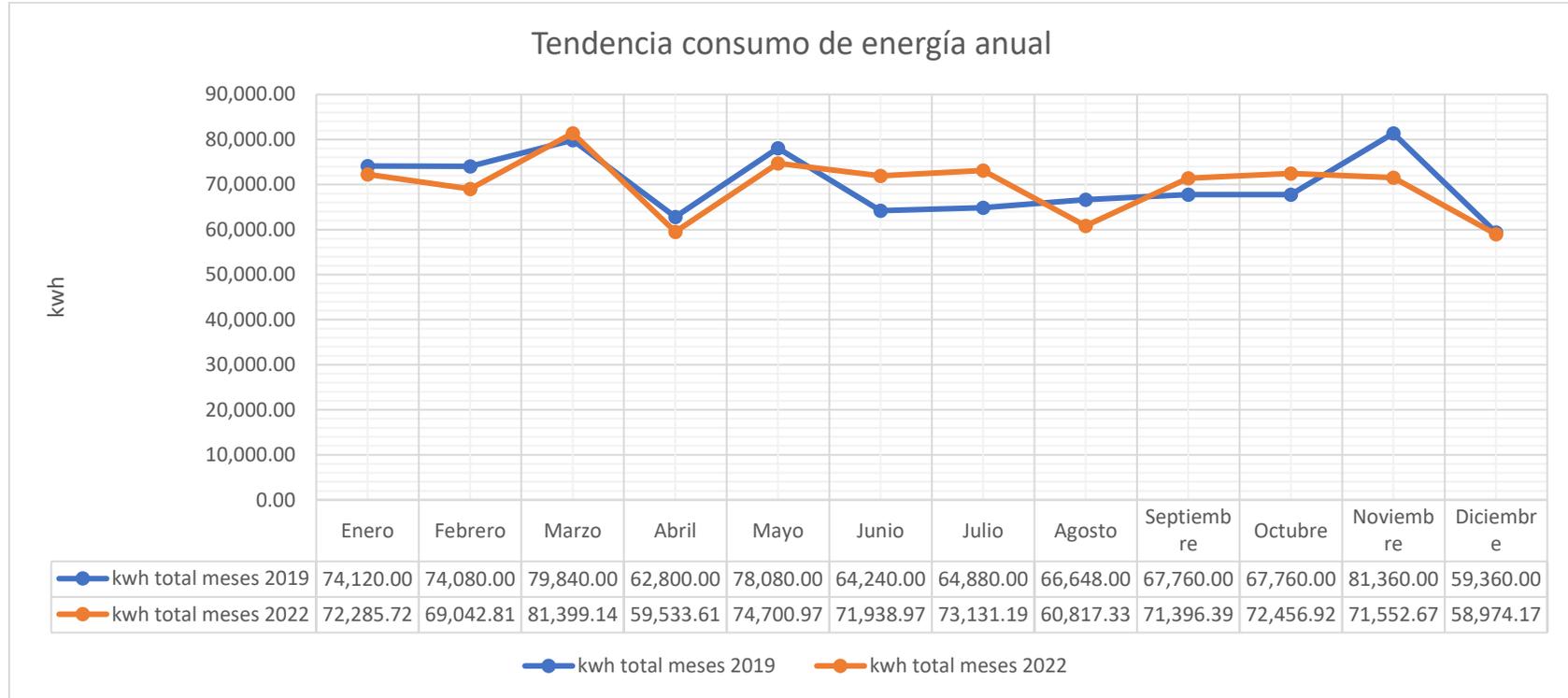


Figura 3.17 Grafico de líneas Consumo Energía 2019 VS 2022, en el presente grafico observamos la tendencia de consumo de energía eléctrica kWh del edificio Torre PGR San Salvador el cual la línea tendencia color azul representa el año 2019 y el color anaranjado el año 2019 el cual se observa que la tendencia es similar sin embargo hay variaciones esto debido a que en la simulación se coloca el año por lo que la proyección de clima y otros parámetros que se utilizan no son los mismo para el 2019.

Se puede observar que la tendencia es similar recordar que la simulación implica muchos factores los cuales son a veces de probabilidad y parámetros de tendencia medidos como el clima y otros, no obstante, se puede observar que el comportamiento de consumo es similar lo cual nos indica que tendremos resultados satisfactorios y veraces. Para validar el modelo simulado para posteriores usos de mejoras y modificaciones se compara el consumo anual obtenido del año 2019 con facturación y el modelo del 2022 realizado con mediciones reales y simulado con los parámetros antes descritos y creados en OpenStudio.

Para el cálculo de error tenemos:

Energía total demandada real año 2019: 840,928.00 kwh año

Energía total demandada simulado año 2022: 837,229.89 kwh año

$$Error\% = \frac{kwh\ Real - kwh\ de\ simulación}{kwh\ Real} * 100$$

$$Error\% = \frac{840,928.00\ kwh - 837,229.89\ kwh}{840,928.00\ kwh} * 100 = 0.44\%$$

Por el grado de error tan bajo de 0.44% podemos concluir que el modelo base de consumo de energía es válido para realizar futuras proyecciones.

Indicadores de desempeño energético.

Objetivo principal de este apartado es establecer indicadores de desempeño energético (IDE) actuales para la organización. Estos indicadores son medidas cuantificables que sirven para comparar y así poder establecer medidas para su mejoramiento.

A continuación, se describen los IDE más representativos para el edificio Torre PGR San Salvador.

- **Intensidad de uso de la energía del edificio (Torre PGR San Salvador).**
Ide El consumo de energía por área funcional y se define de la siguiente manera

$$IUEE = \frac{Uso\ de\ la\ energía\ del\ edificio}{Área\ funcional}$$

Sus unidades son kWh/m², el valor del uso de la energía es el consumo total, que se obtuvo de la simulación con EnergyPlus, por lo tanto:

$$IUEE = \frac{837,229.89kwh}{6,313.5048m^2} = 132.60 \frac{kwh}{m^2}$$

- **Intensidad de costo de la energía eléctrica (ICEE)**

Este IDE mide el costo de la energía por área funcional, sus unidades son \$/m² y se calcula de la siguiente forma:

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energía}}{\text{Área funcional}}$$

Para este indicador, tomaremos las cuotas vigentes de CAES del 22 de abril del 2022 publicadas en los pliegos tarifarios de la SIGET. Se toman las cuotas vigentes de este periodo.

III. GRANDES DEMANDAS (>50 kW)									
BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Atención al Cliente	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.181181	0.182333	0.192602	0.189213	0.197096	0.178507	0.176273	0.162682
Energía en Resto	US\$/kWh	0.150444	0.152183	0.150359	0.155786	0.151553	0.142774	0.144362	0.160763
Energía en Valle	US\$/kWh	0.179107	0.181556	0.190224	0.187965	0.196412	0.173238	0.175991	0.157273
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	14.519619	22.333594	23.119906	27.824279	29.336953	31.175292	17.458443	20.381221
MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.167846	0.166908	0.175655	0.168721	0.174697	0.166794	0.167549	0.143774
Energía en Resto	US\$/kWh	0.139371	0.139308	0.137129	0.138914	0.134329	0.133406	0.137217	0.142078
Energía en Valle	US\$/kWh	0.165925	0.166196	0.173486	0.167608	0.174090	0.161871	0.167280	0.138994
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	7.089464	7.008348	13.097554	17.848802	19.101749	9.695440	10.688800	5.251206

Figura 3.18 Pliego tarifario abril 2022.

De los datos simulados se obtiene la siguiente tabla para el año de referencia:

Costos de energía año base de consumo de energía 2022				
Energía mensual 2022	Punta \$	Valle \$	Resto \$	Total \$ mensual por kwh
ene-22	\$ 646.91	\$ 732.72	\$ 8,921.92	\$ 10,301.54
feb-22	\$ 625.73	\$ 692.80	\$ 8,521.06	\$ 9,839.59
mar-22	\$ 684.49	\$ 744.33	\$ 10,151.10	\$ 11,579.92
abr-22	\$ 598.28	\$ 666.93	\$ 7,240.28	\$ 8,505.49
may-22	\$ 655.18	\$ 723.87	\$ 9,259.10	\$ 10,638.15
jun-22	\$ 812.00	\$ 847.30	\$ 8,640.27	\$ 10,299.56
jul-22	\$ 832.44	\$ 867.80	\$ 8,772.22	\$ 10,472.47
ago-22	\$ 605.30	\$ 680.74	\$ 7,401.77	\$ 8,687.80
sep-22	\$ 834.75	\$ 937.09	\$ 8,470.33	\$ 10,242.17
oct-22	\$ 847.15	\$ 951.01	\$ 8,596.15	\$ 10,394.31
nov-22	\$ 708.54	\$ 747.13	\$ 8,756.46	\$ 10,212.14
dic-22	\$ 747.06	\$ 817.64	\$ 6,912.18	\$ 8,476.88
			Total, anual	\$ 119,650.02

Figura 3.19 Costos de energía año base 2022 Torre PGR San Salvador.

Costos de potencia año base de consumo de energía 2022			
Consumo de potencia mensual	Costo de Potencia \$/kW mes	Total \$ mensual por kW	Costo Total mensual por kwh + kw
422.09	7.09	\$ 2,992.391860	\$ 13,293.934200
439.86	7.09	\$ 3,118.371635	\$ 12,957.965203
457.77	7.09	\$ 3,245.343935	\$ 14,825.266991
462.35	7.09	\$ 3,277.813680	\$ 11,783.302579
447.99	7.09	\$ 3,176.008977	\$ 13,814.154139
425.34	7.09	\$ 3,015.432618	\$ 13,314.991483
433.00	7.09	\$ 3,069.737912	\$ 13,542.208903
425.28	7.09	\$ 3,015.007250	\$ 11,702.809919
418.35	7.09	\$ 2,965.877264	\$ 13,208.045970
421.81	7.09	\$ 2,990.406810	\$ 13,384.713841
417.76	7.09	\$ 2,961.694481	\$ 13,173.833874
414.45	7.09	\$ 2,938.228355	\$ 11,415.107993
		\$ 36,766.31	\$ 156,416.34

Figura 3.20 Costos de potencia año base 2022 + costos de energía año base 2022.

Para obtener el costo total de energía se tiene que sumar el cargo de potencia por lo que para nuestro caso el costo total anual es de: \$156,416.34 por lo que el ICEE sería:

$$ICEE = \frac{\$156,416.34 \text{ año}}{6,313.51 \text{ m}^2} = 24.78 \frac{\$ \text{ año}}{\text{m}^2}$$

- **Intensidad de la demanda eléctrica del edificio (IDEE)**

Este indicador muestra el valor de la demanda eléctrica del edificio (Watts) por unidad de área (m²), y se define de la siguiente manera:

$$IDEE = \frac{\text{Demanda electrica del edificio}}{\text{Área funcional}}$$

La densidad de potencia promedio es de 447.99 kw es dato es obtenido de las mediciones que se realizaron con el analizador de red de un total de 144 muestras de 1 día se obtuvo este valor.

$$IDEE = \frac{447,990 \text{ w}}{6,313.5048 \text{ m}^2} = 70.96 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

- **Consumo energético de acondicionamiento ambiental (CEAA)**

Relaciona el consumo de aire acondicionado con el área acondicionada y las condiciones exteriores de temperatura.

$$CEAA = \frac{\text{Consumo energético del aire acondicionado}}{\text{Área funcional} * \text{Temperatura promedio exterior}}$$

De los datos simulados se obtuvo el consumo energético del acondicionamiento ambiental de 590,722.47 kWh (sumando los datos de cooling + fans + pumps) ya que es un equipo chiller y la temperatura promedio exterior es de 28°C, por lo tanto:

$$CEAA = \frac{590,722.47 \text{ kwh}}{6,313.5048 \text{ m}^2 * 28^{\circ}\text{C}} = 3.342 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C año}}$$

- **Consumo energético específico ajustado por tasa de utilización (CEEAU).**

Consiste en dividir el consumo energético del edificio entre el área funcional, aplicando además un factor de utilización, U. el cual toma en consideración la utilización del edificio a comparación de la máxima utilización posible.

$$CEEAU = \frac{\text{Consumo energético}}{u * \text{Área funcional}}$$

Dónde “u”:

$$u = \frac{\text{Tiempo de uso}}{\text{Maximo tiempo de uso}}$$

$$u = \frac{8 \text{ h}}{24 \text{ h}} = 0.33$$

$$CEEAU = \frac{837,229.89 \text{ kwh}}{0.33 * 6,313.5048 \text{ m}^2} = 401.84 \frac{\text{kwh/año}}{\text{m}^2}$$

- **Intensidad energética de uso (IEU)**

Este indicador se define como el consumo energético por persona, y permite medir la eficiencia en el uso del espacio.

$$IEU = \frac{\text{Consumo Energético}}{\text{Personas año}}$$

Para el cálculo de este indicador se tomó consideración del resultado de la simulación y datos medidos en el lugar de 400 personas por hora.

$$IEU = \frac{837,229.89kwh}{400 \text{ personas año}} = 2,093.08 \frac{kwh}{\text{persona año}}$$

- **Intensidad de costo de la energía eléctrica por persona (ICEEP)**

$$ICEEP = \frac{\text{Costo Consumo Energético}}{\text{Personas año}}$$

$$ICEEP = \frac{\$156,416.34 \text{ año}}{400 \text{ personas}} = 391.04 \frac{\$ \text{ año}}{\text{persona año}}$$

Simulación modelo de bajo consumo de energía

Se plantean 2 opciones para el desarrollo de las simulaciones para realizar un ahorro y mejora de la eficiencia de consumo de energía del Edificio Torre PGR San Salvador:

- 1- Sin Gasto Económico: Realizar modificaciones en el uso de los equipos y acciones de cultura personal, esto conlleva a modificar el horario de uso de equipos sin necesitarlo como luminarias donde no se necesita iluminación, funciones de equipos que no se necesitan como el agua caliente de un oasis, desconectar UPS en jornada no laboral ya que estos consumen energía, aunque no tenga carga conectada o simplemente no este encendido, pero si conectado.
- 2- Con Gasto Económico: Cambiar equipos de mayor eficiencia ejemplo luminarias led en este caso no se considera el cabio de las luminarias led sea un ahorro significativo ya que el 90% de las luminarias son led, equipos como refrigeradoras, aires acondicionados, dotar de arrancadores suaves a equipos de bombeo y compresores. Mantenimiento y reparación de equipos los cuales estén defectuosos o funcionen bajo ciertas condiciones que generan consumos de energía innecesarios. Instalación de sistemas de generación eléctrica a partir de fuentes naturales.

Se realizarán 5 simulaciones de bajo consumo las cuales se detallan de la siguiente manera:

Sin Gasto Económico

- Simulación Modelo de Bajo Consumo de Energía A
- Simulación Modelo de Bajo Consumo de Energía B
- Simulación Modelo de Bajo Consumo de Energía C
- Simulación Modelo de Bajo Consumo de Energía D

Con Gasto Económico

- Sistema Fotovoltaico Modelo de bajo Consumo de Energía F

Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía A (Deshabilitando el agua caliente en oasis)

Para nuestra simulación de bajo consumo de energía A, modificaremos los parámetros del oasis ya que el equipo presenta valores de 560W de consumo al tener la opción de agua caliente y agua fría por lo que al realizar la inspección y consultar con las personas que frecuenta el uso de este equipo describimos que el uso de agua caliente no es común por lo que se está consumiendo energía que no necesitan ya que con las mediciones se verifico que al estar el equipo conectado a la red consume cada hora un total de 560w por 10 minutos para mantener el agua caliente y la parte agua fría al mismo tiempo, se comprobó que al deshabilitar el agua caliente en el ciclo de trabajo se redujo hasta los 120w por lo que obtuvimos los siguientes resultados:

Consumo de energía kWh Bajo Consumo A													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating													
Cooling	16011.39	15848.28	20477.08	14729.89	18363.78	16071.64	16904.33	13618.11	15549.69	16285.56	15670	11975.11	191504.9
Interior Lighting	6559.61	6244.86	7179.72	5007.72	6559.61	6558.06	6559.61	5319.33	6558.06	6559.61	6558.06	5319.33	74983.58
Exterior Lighting													
Interior Equipment	13110.06	12141.25	13691.11	11431.36	13110.06	12883.97	13110.06	11947.97	12883.97	13110.06	12883.97	11947.97	152251.8
Exterior Equipment													
Fans	10545.67	10043.5	11550.03	8034.81	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	120521.9
Pumps	22573.19	21407.42	24750.03	17217.42	22597.86	22597.86	22597.86	18293.5	22597.86	22597.86	22597.86	18081.64	257910.4
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	68799.92	65685.31	77647.97	56421.19	71176.97	68657.19	69717.53	57715.89	68135.25	69098.75	68255.56	55861.03	797172.6

Figura 3.21. Resultado de simulación Modelo Bajo Consumo de Energía A, la tabla muestra los datos obtenidos de la simulación de OpenStudio realizando la modificación antes descrita y se pueden observar las contribuciones de cada carga actual mensuales en kWh.

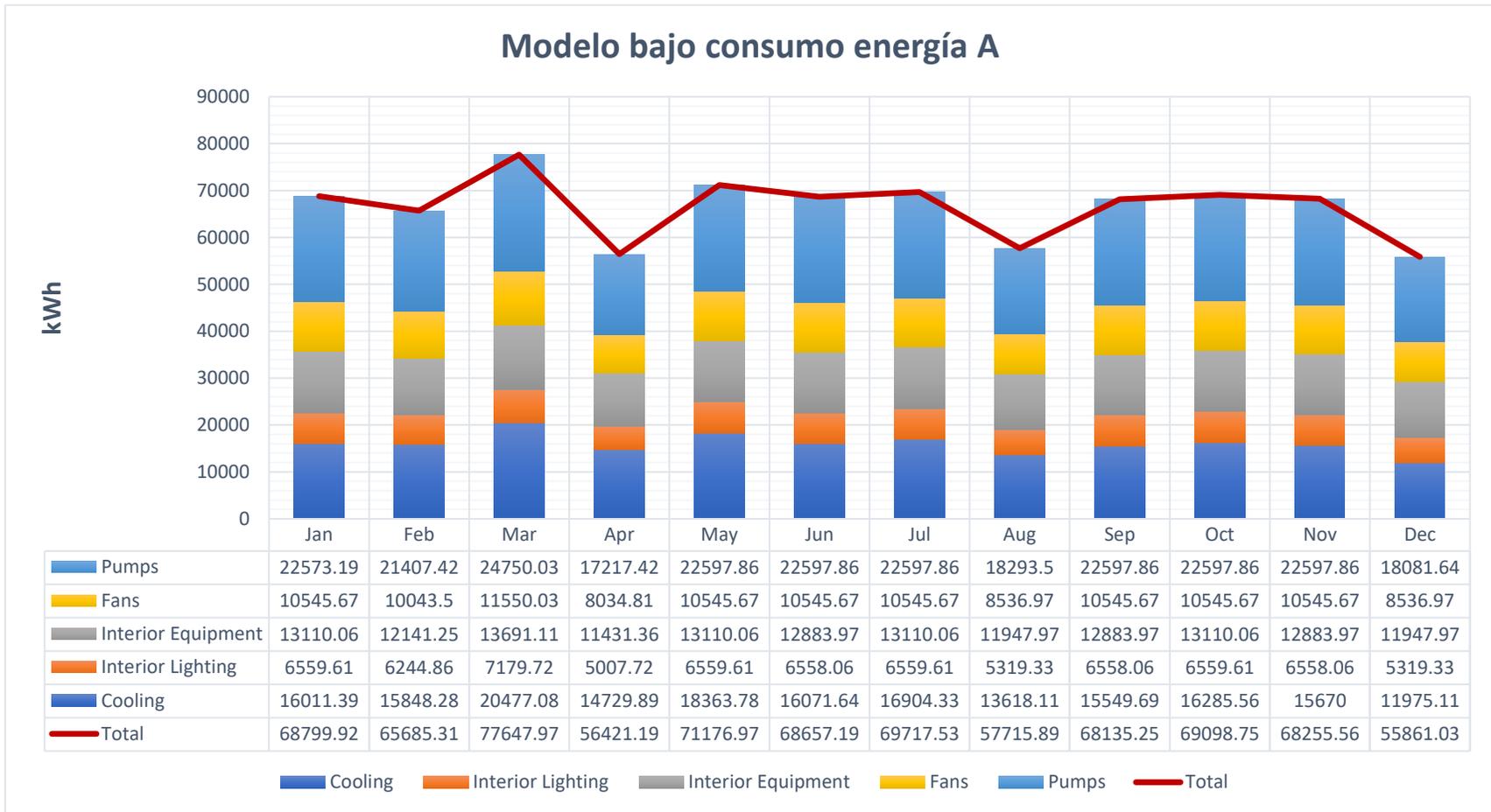
Modelo A						
Energía mensual 2022	kWh total mes	Punta kWh	Valle kWh	Resto kWh	Total \$ mensual por Punta+Valle+Resto	Total \$kWh + \$kW
ene-22	68,799.92	3,668.34	4,203.00	60,928.59	\$ 9,804.78	\$ 12,797.17
feb-22	65,685.31	3,546.72	3,972.33	58,166.26	\$ 9,361.10	\$ 12,479.47
mar-22	77,647.97	3,890.18	4,279.20	69,478.59	\$ 11,046.28	\$ 14,291.62
abr-22	56,421.19	3,378.08	3,809.33	49,233.78	\$ 8,060.82	\$ 11,338.64
may-22	71,176.97	3,719.29	4,156.85	63,300.83	\$ 10,136.29	\$ 13,312.30
jun-22	68,657.19	4,617.05	4,873.55	59,166.59	\$ 9,829.70	\$ 12,845.14
jul-22	69,717.53	4,728.07	4,985.96	60,003.50	\$ 9,983.63	\$ 13,053.37
ago-22	57,715.89	3,422.36	3,893.45	50,400.08	\$ 8,244.76	\$ 11,259.77
sep-22	68,135.25	4,746.14	5,389.68	57,999.43	\$ 9,774.34	\$ 12,740.22
oct-22	69,098.75	4,813.25	5,465.90	58,819.60	\$ 9,912.56	\$ 12,902.97
nov-22	68,255.56	4,026.88	4,295.34	59,933.35	\$ 9,741.57	\$ 12,703.26
dic-22	55,861.03	4,215.93	4,667.63	46,977.47	\$ 8,029.40	\$ 10,967.63
	797,172.56				\$ 113,925.24	\$ 150,691.55

Figura 3.22 Costos de potencia + costos de energía año bajo consumo modelo A 2022, en esta tabla podemos observar los montos mensuales tanto en consumo de energía como en costos

aplicando la tarifa actual, dándonos un consumo anual de 797,172.56 kWh lo que en dinero es \$150,691.55 con la tarifa actual abril 2022.

Simulación	Base (kWh)	A (kWh)	Reducción (kWh)	Reducción \$
Cooling	211,607.25	191,504.86	20,102.39	
Interior Lighting	74,983.58	74,983.58	0.00	
Interior Equipment	171,523.83	152,251.81	19,272.02	
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00	
Pumps	258,593.28	257,910.36	682.92	
Totales	837,229.88	797,172.55	40,057.33	\$ 5,724.78

Figura 3.23. Tabla de resultados de reducción de costos año bajo consumo modelo A, en esta tabla se muestran los resultados del año base VS el año de modelo de bajo consumo A el cual podemos observar que presenta una disminución de 40,057.33 kWh al año lo que en dinero equivale aplicando la tarifa de abril del 2022 de \$5,724.78



Grafica 3.24 Modelo Bajo Consumo de Energía A total en un periodo de un año, en esta grafica podemos observar el comportamiento de las cargas antes especificadas las cuales proporcionan la contribución de consumo de energía ya sea por equipo de climatización, Luminaria y equipo eléctrico, el grafico de línea rojo presenta el total y su tendencia de consumo mensual.

Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía B (Desconectando de la red los ups de cada computadora cuando termine la jornada laboral)

Para este diseño se realizaron unas mediciones a los ups tomando una muestra de 1 ups por nivel por un periodo de tiempo de 15 minutos dando como resultado lo siguiente:

- El consumo por estar apagada el pc y monitor, pero el up encendido es de 18w constantes.
- El consumo por estar apagado el up, pero conectado a la red es de 10w

Tomando en cuenta que en total se contabilizaron en todos los niveles un total de 407 UPS es considerable el consumo de todos por lo que se realizó una simulación asumiendo que estarán desconectados de 4:00pm a 8:00am, que es el horario sin uso del edificio.

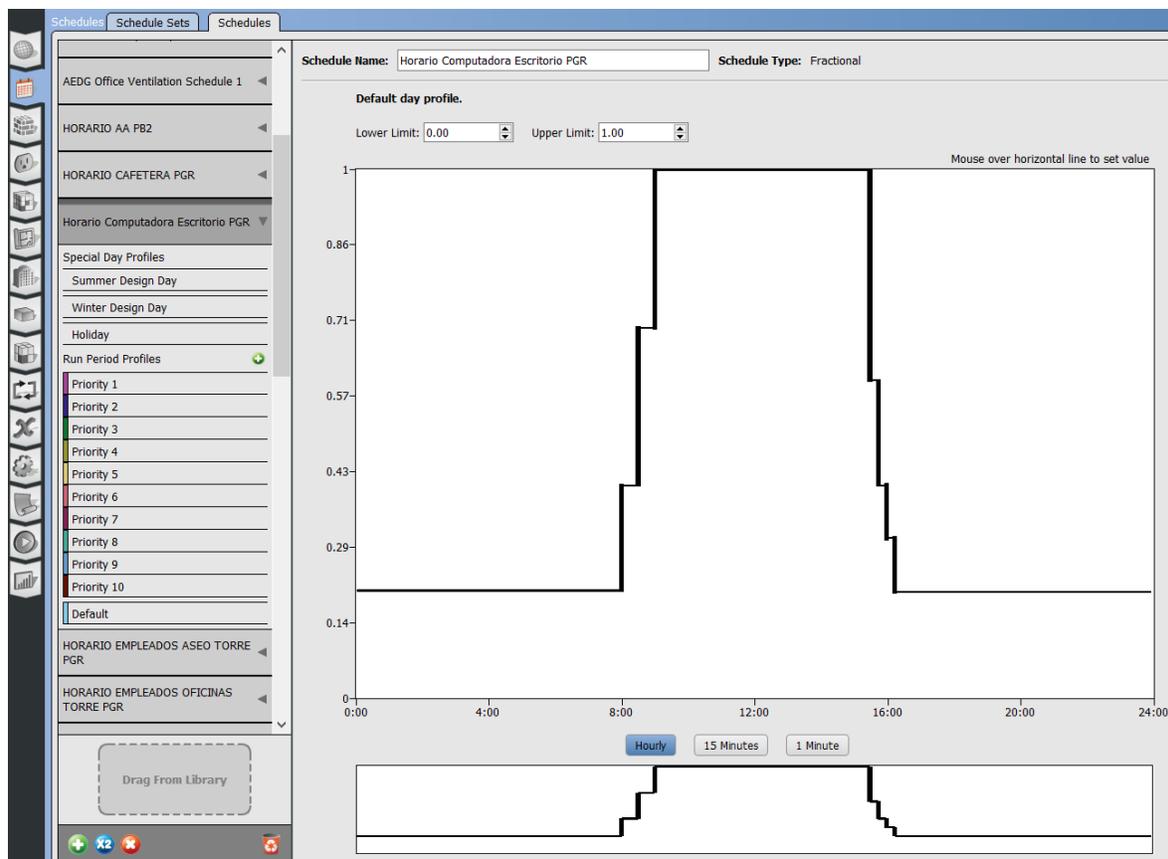


Figura 3.25 Horario y consumo normal de PC+UPS en Torre PGR San Salvador.

En la figura 3.25 podemos observar el horario creado actual que sería de 8:01am a 3:59pm el uso a la capacidad medida máxima y luego de 4:00pm a 8:00am se encuentran los 10w de consumo solo por estar conectados. En la siguiente figura se muestra el horario el cual esta modificado para que la simulación tome en cuenta el horario de 4:00pm a 8:00am como desconectados.

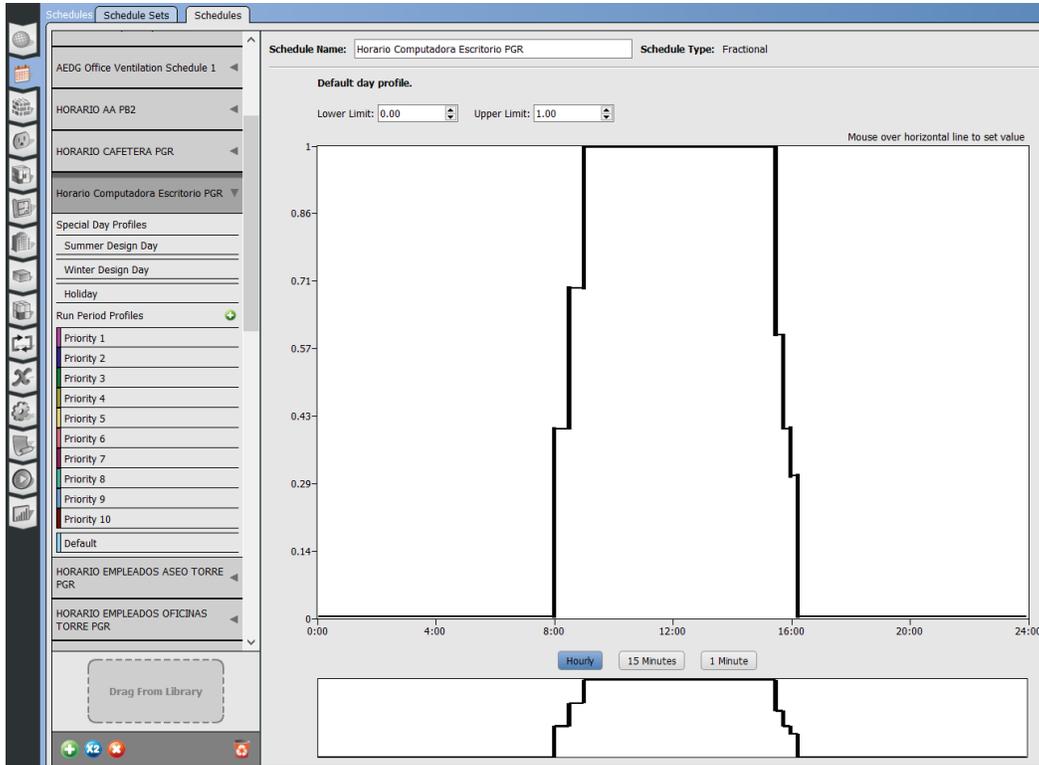


Figura 3.26 Horario y consumo de PC+UPS (4:00pm a 8:00am desconectados) en Torre PGR San Salvador.

Como podemos observar nuestra simulación estará modificada con el horario anterior por lo que el resultado es el siguiente.

	Consumo de Energía kWh												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Heating													
Cooling	17682	17465.03	22413.42	16123.94	20079.22	17613.81	18527.33	14951.89	17071.72	17847.08	17232.28	13156.56	210164.28
Interior Lighting	6559.61	6244.86	7179.72	5007.72	6559.61	6558.06	6559.61	5319.33	6558.06	6559.61	6558.06	5319.33	74983.58
Exterior Lighting													
Interior Equipment	12348.36	11489.17	12999	10543.81	12348.36	12170.42	12348.36	11047.08	12170.42	12348.36	12170.42	11047.08	143030.83
Exterior Equipment													
Fans	10545.67	10043.5	11550.03	8034.81	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	10545.67	10545.67	10545.67	8536.97	120521.94
Pumps	22597.86	21517.28	24750.03	17217.42	22597.86	22597.86	22597.86	18293.5	22597.86	22597.86	22597.86	18250.92	258214.17
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	69733.5	66759.83	78892.19	56927.69	72130.72	69485.81	70578.83	58148.78	68943.72	69898.58	69104.28	56310.86	806914.81

Figura 3.27 Resultados simulación Modelo Bajo Consumo de Energía B, la tabla muestra los datos obtenidos de la simulación de OpenStudio realizando la modificación antes descrita y se pueden observar las contribuciones de cada carga actual mensuales en kWh.

Modelo B						
Energía mensual 2022	kWh total mes	Punta kWh	Valle kWh	Resto kWh	Total \$ mensual por Punta+Valle+Resto	Total \$kWh + \$kW
ene-22	69,733.50	3,718.12	4,260.03	61,755.36	\$ 9,937.82	\$ 12,930.21
feb-22	66,759.83	3,604.74	4,037.31	59,117.78	\$ 9,514.24	\$ 12,632.61
mar-22	78,892.19	3,952.51	4,347.77	70,591.91	\$ 11,223.28	\$ 14,468.63
abr-22	56,927.69	3,408.41	3,843.53	49,675.75	\$ 8,133.18	\$ 11,411.00
may-22	72,130.72	3,769.13	4,212.55	64,149.04	\$ 10,272.12	\$ 13,448.13
jun-22	69,485.81	4,672.77	4,932.37	59,880.67	\$ 9,948.34	\$ 12,963.77
jul-22	70,578.83	4,786.48	5,047.56	60,744.79	\$ 10,106.97	\$ 13,176.71
ago-22	58,148.78	3,448.03	3,922.65	50,778.10	\$ 8,306.60	\$ 11,321.61
sep-22	68,943.72	4,802.46	5,453.64	58,687.63	\$ 9,890.32	\$ 12,856.20
oct-22	69,898.58	4,868.97	5,529.17	59,500.44	\$ 10,027.30	\$ 13,017.71
nov-22	69,104.28	4,076.95	4,348.75	60,678.59	\$ 9,862.70	\$ 12,824.39
dic-22	56,310.86	4,249.88	4,705.22	47,355.76	\$ 8,094.06	\$ 11,032.29
Totales	806,914.81				\$ 115,316.93	\$ 152,083.24

Figura 3.28 Costos de potencia + costos de energía año bajo consumo modelo B 2022, en esta tabla podemos observar los montos mensuales tanto en consumo de energía como en costos aplicando la tarifa abril 2022, dándonos un consumo anual de 806,914.81 kWh lo que en dinero es \$152,083.24 con la tarifa actual abril 2022.

Simulación	Base (kWh)	B (kWh)	Reducción (kWh)	Reducción \$
Cooling	211,607.25	210,164.28	1,442.97	
Interior Lighting	74,983.58	74,983.58	0.00	
Interior Equipment	171,523.83	143,030.83	28,493.00	
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00	
Pumps	258,593.28	258,214.17	379.11	
Totales	837,229.88	806,914.80	30,315.08	\$ 4,333.09

Figura 3.29 Tabla de resultados de reducción de costos año bajo consumo modelo B, en esta tabla se muestran los resultados del año base VS el año de modelo de bajo consumo B el cual podemos observar que presenta una disminución de 30,315.08 kWh al año lo que en dinero equivale aplicando la tarifa de abril del 2022 de \$4,333.09.

Consumo de Energía Modelo Bajo Consumo de Energía B



Grafica 3.30 Modelo Bajo Consumo de Energía B Total en un periodo de un año, en esta grafica podemos observar el comportamiento de las cargas antes especificadas las cuales proporcionan la contribución de consumo de energía ya sea por equipo de climatización, Luminaria y equipo eléctrico, el grafico de línea roja presenta el total y su tendencia de consumo mensual.

Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía C (Apagando luminarias de oficinas después de la jornada laboral)

Para este diseño se consideró los siguientes aspectos:

Horario de trabajo de oficinas: El horario es de 8:00am a 4:00pm, pero debido a que realizan limpieza el horario de encendido de luces en áreas de oficinas es a las 6:00am luego entra el horario de personal de oficina llegando hasta las 4:00 pm no obstante de las mediciones se obtuvo el dato que para todos los niveles el perfil de uso de iluminación es de 6:00am ah 7:30pm y en algunos niveles hasta las 8:00pm, esto debido a que quienes apagan las luces son los vigilantes los cuales realizan su respectivo recorrido en ese lapso de tiempo de 7:00pm a 8:00pm.

Diagrama de tendencias

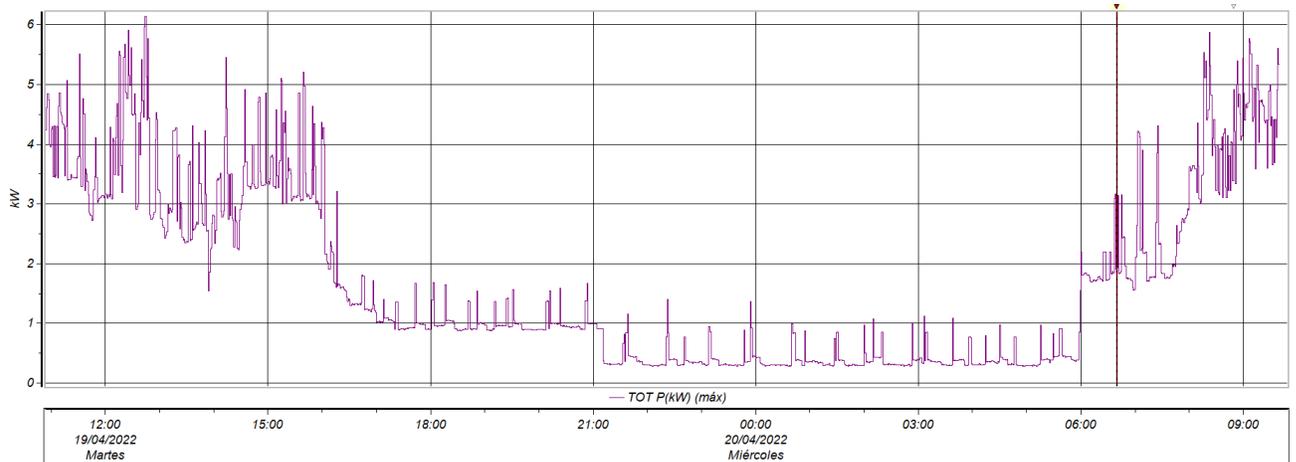


Figura 3.31 Perfil de carga luminarias nivel 7, este diagrama muestra la tendencia de uso de luminarias y equipos del nivel 7 con este diagrama se puede realizar un perfil de carga el cual proporciona datos importantes como el horario de uso de los equipos y luminarias.

Diagrama de tendencias

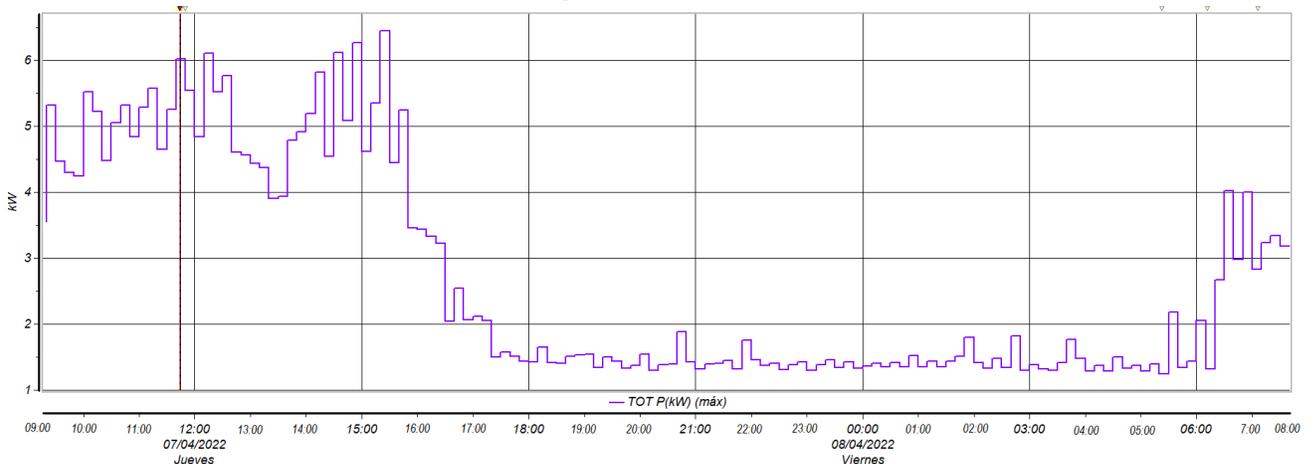


Figura 3.32 Perfil de carga luminarias nivel 6, al igual que la figura 3.31 este diagrama nos facilita la comprensión del uso de los equipos y luminarias del nivel 6.

Se puede observar que en el nivel 7 empiezan a encender las luminarias a las 6:00am luego a las 4:00pm apagan algunas luminarias luego se mantiene hasta las 7:00pm, lo mismo para el nivel 6 se puede observar una tendencia clara del periodo de utilización.

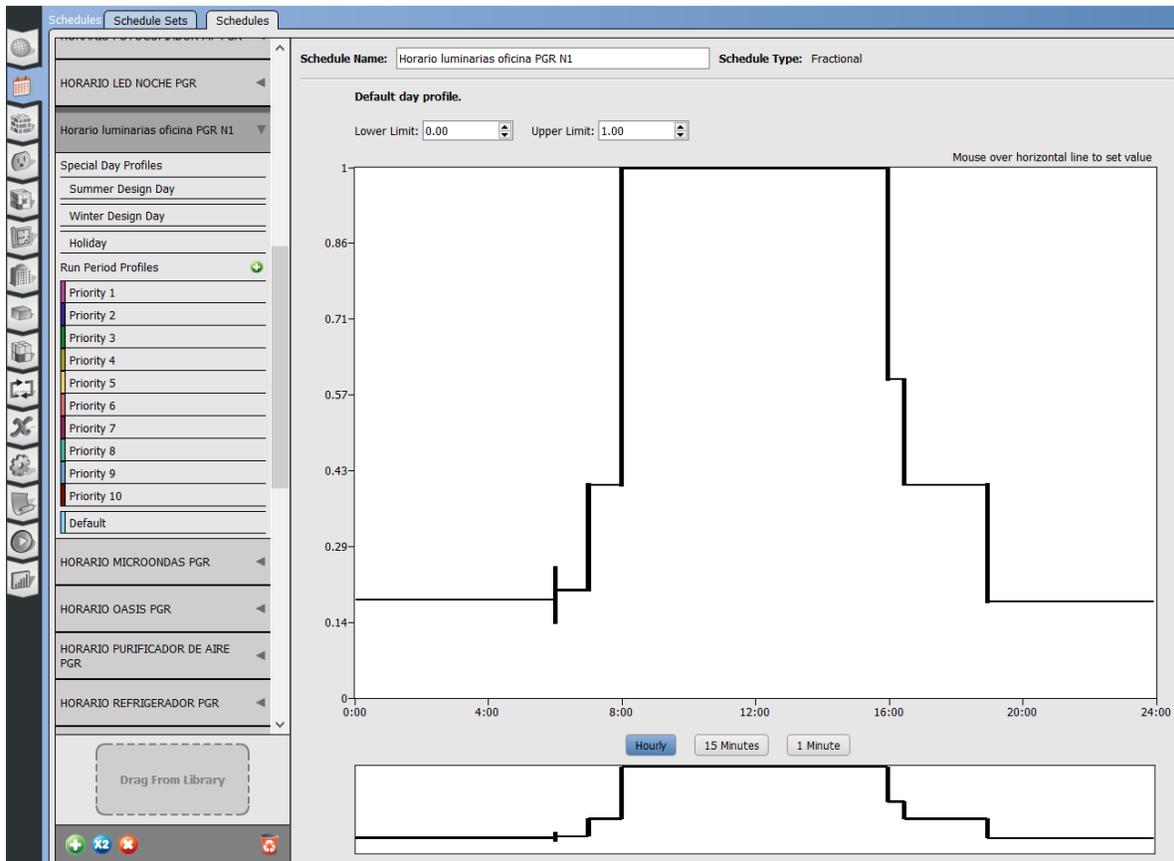


Figura 3.33 Horario utilizado para simulación base de tendencia actual de uso de luminarias.

Se tiene que aclarar que hay consumos los cuales no se pueden eliminar debido a que son necesarios para el desarrollo de las actividades laborales, no obstante apagar las luminarias que no se utilizan ayuda al ahorro de energía y a un uso eficiente de los recursos. Por lo tanto, nuestro nuevo perfil de tendencia de uso de luminarias lo limitamos a que las cargas que quedan en horas que no hay nadie sean mínimas lo que quiere decir que se proyecta el uso de iluminación en oficinas de 6:00am hasta las 6:00pm o en su preferencia a las 4:00pm apagar las luminarias que no se utilizan.

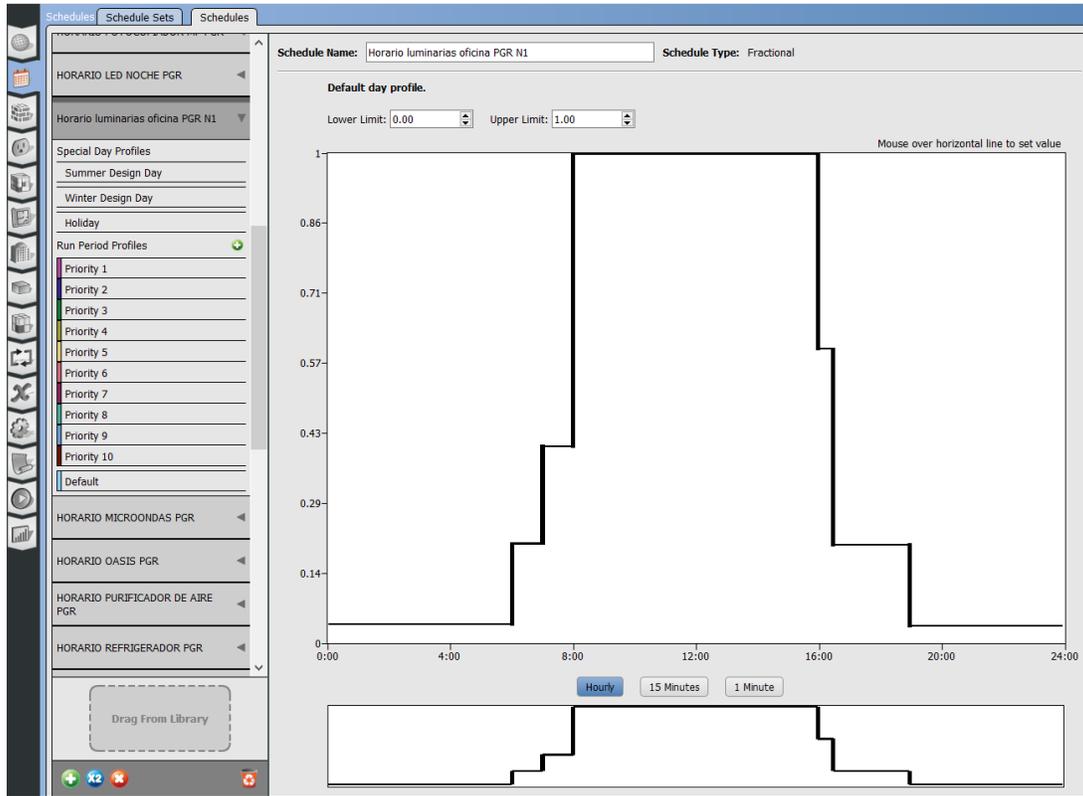


Figura 3.34 Horario utilizado para simulación bajo consumo de energía C de tendencia sugerida de uso de luminarias, se realizó la corrección de hora de encendido y apagado en el Schedule de Open Studio.

Resultados simulación:

Consumo de Energía kWh													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating													
Cooling	17787.53	17567.42	22537.08	16221.19	20202.69	17722.25	18632.2	15043.78	17179.78	17958.1	17336.08	13239.03	211427.11
Interior Lighting	6302.22	5999.75	6897.86	4811.61	6302.22	6300.67	6302.22	5110.97	6300.67	6302.22	6300.67	5110.97	72042.06
Exterior Lighting													
Interior Equipment	14746.86	13619.64	15327.92	13015.36	14746.86	14467.97	14746.9	13584.78	14467.97	14746.9	14467.97	13584.78	171523.83
Exterior Equipment													
Fans	10545.67	10043.5	11550.03	8034.81	10545.67	10545.67	10545.7	8536.97	10545.67	10545.7	10545.67	8536.97	120521.94
Pumps	22597.86	21521.75	24750.03	17217.42	22597.86	22597.86	22597.9	18293.5	22597.86	22597.9	22597.86	18275.56	258243.28
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	71980.14	68752.06	81062.92	59300.39	74395.31	71634.42	72824.8	60570	71091.94	72150.7	71248.25	58747.31	833758.22

Figura 3.35. Resultados simulación Modelo Bajo Consumo de Energía C. La tabla muestra los datos obtenidos de la simulación de OpenStudio realizando la modificación antes descrita y se pueden observar las contribuciones de cada carga actual mensuales en kWh.

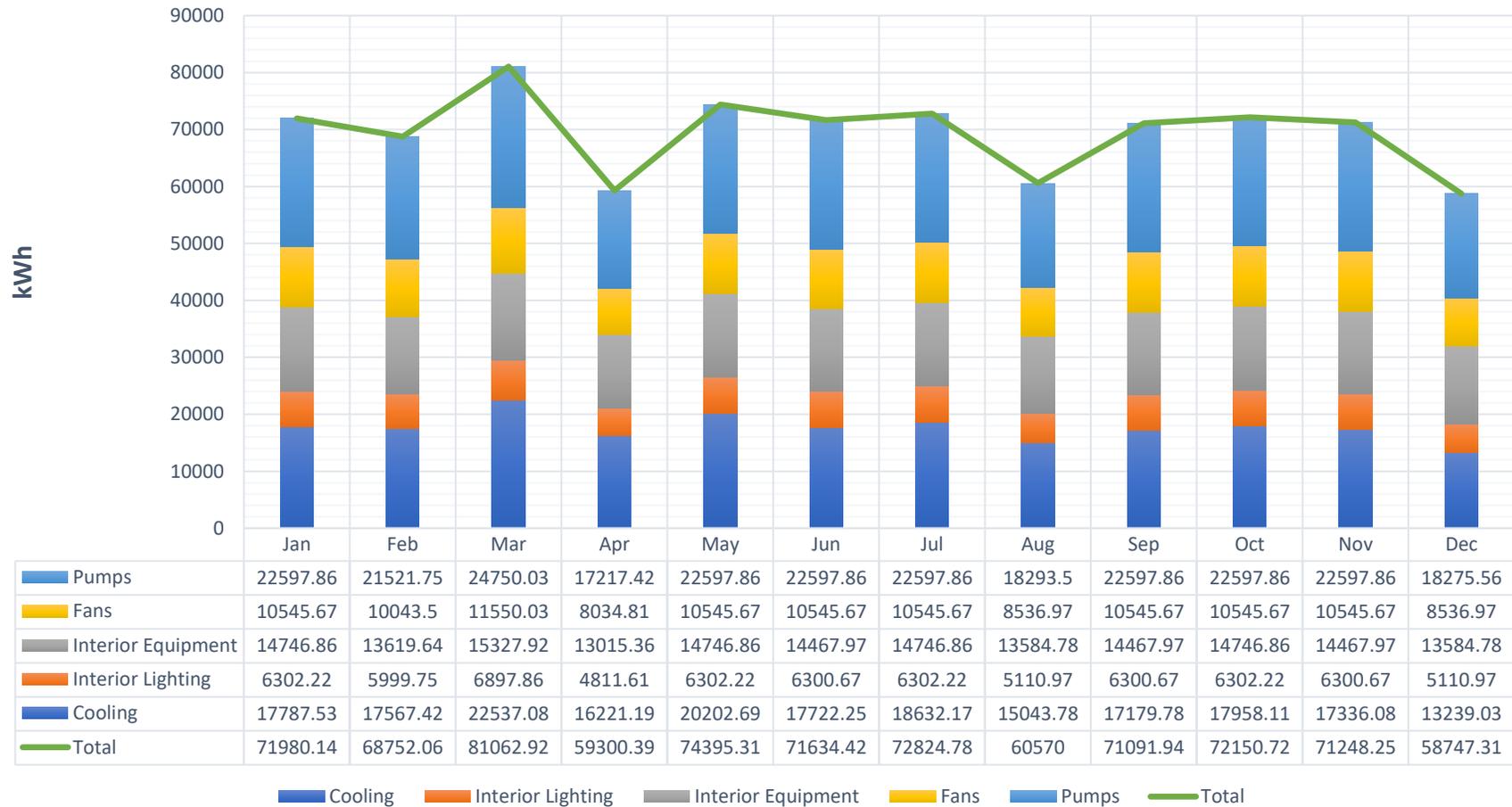
Modelo C						
Energía mensual 2022	kWh total mes	Punta kWh	Valle kWh	Resto kWh	Total \$ mensual por Punta+Valle+Resto	Total \$kWh + \$kW
ene-22	71,980.14	3,837.90	4,397.28	63,744.96	\$ 10,257.99	\$ 13,250.39
feb-22	68,752.06	3,712.31	4,157.79	60,881.95	\$ 9,798.16	\$ 12,916.53
mar-22	81,062.92	4,061.27	4,467.40	72,534.26	\$ 11,532.09	\$ 14,777.44
abr-22	59,300.39	3,550.47	4,003.72	51,746.20	\$ 8,472.17	\$ 11,749.98
may-22	74,395.31	3,887.46	4,344.81	66,163.04	\$ 10,594.62	\$ 13,770.63
jun-22	71,634.42	4,817.26	5,084.88	61,732.28	\$ 10,255.96	\$ 13,271.39
jul-22	72,824.78	4,938.80	5,208.18	62,677.80	\$ 10,428.59	\$ 13,498.33
ago-22	60,570.00	3,591.60	4,085.98	52,892.42	\$ 8,652.47	\$ 11,667.48
sep-22	71,091.94	4,952.09	5,623.57	60,516.28	\$ 10,198.49	\$ 13,164.37
oct-22	72,150.72	5,025.85	5,707.32	61,417.56	\$ 10,350.38	\$ 13,340.79
nov-22	71,248.25	4,203.44	4,483.67	62,561.15	\$ 10,168.69	\$ 13,130.39
dic-22	58,747.31	4,433.76	4,908.80	49,404.75	\$ 8,444.27	\$ 11,382.50
Totales	833,758.22				\$ 119,153.89	\$ 155,920.20

Figura 3.36 Costos de potencia + costos de energía año bajo consumo modelo C 2022, en esta tabla podemos observar los montos mensuales tanto en consumo de energía como en costos aplicando la tarifa abril 2022, dándonos un consumo anual de 833,758.22 kWh lo que en dinero es \$155,920.20 con la tarifa actual abril 2022.

Simulación	Base (kWh)	C (kWh)	Reducción (kWh)	Reducción \$
Cooling	211,607.25	211,427.11	180.14	
Interior Lighting	74,983.58	72,042.06	2,941.52	
Interior Equipment	171,523.83	171,523.83	0.00	
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00	
Pumps	258,593.28	258,243.28	350.00	
Totales	837,229.88	833,758.22	3,471.66	\$ 496.13

Figura 3.37 Tabla de resultados de reducción de costos año bajo consumo modelo C, en esta tabla se muestran los resultados del año base VS el año de modelo de bajo consumo C el cual podemos observar que presenta una disminución de 3,471.66 kWh al año lo que en dinero equivale aplicando la tarifa de abril del 2022 de \$496.13, en comparación a los modelos anteriores este presenta menor ahorro.

Consumo de Energía Modelo Bajo Consumo de Energia C



Grafica 3.38 Modelo Bajo Consumo de Energía C Total en un periodo de un año, en esta grafica podemos observar el comportamiento de las cargas antes especificadas las cuales proporcionan la contribución de consumo de energía ya sea por equipo de climatización, Luminaria y equipo eléctrico, el grafico de línea roja presenta el total y su tendencia de consumo mensual.

Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D (Setup Temperatura termostato interno 24°C)

El equipo de acondicionamiento de temperatura está constituido por un equipo chiller de 450Toneladas dividido en 2 etapas de 225 Toneladas cada una el cual climatiza la mayor parte del edificio Torre PGR San Salvador.

Al realizar mediciones previamente descritas de su comportamiento tanto en consumo eléctrico como parámetros de diseño realizamos una verificación tanto visual como solicitando información a la parte de mantenimiento del lugar al realizar la verificación notamos y nos confirmaron que existen manejadoras que no funcionan debido a la falta de mantenimiento, pero se encuentra consumiendo energía debido a que sus ventiladores funcionan pero elementos como electroválvulas y tarjetas de control no funcionan correctamente por lo que hay zonas las cuales las salidas de aire es con temperatura alta y no refrigerada, al suceder esto hay una descompensación por parte de la climatización y optan por abrir las ventanas o usar ventiladores o en su defecto instalan aires acondicionados y los utilizan cuando el sistema central no funciona, por otro lado existen salidas las cuales su temperatura es de 16°C por lo que las personas necesitan abrigo para poder permanecer en el lugar por lo tanto se debe comprobar el confort a una temperatura adecuada para poder mejorar tanto el confort como la eficiencia del sistema, mencionado lo anterior esta simulación está basada en el correcto funcionamiento del chiller por lo que solo se puede aplicar cuando el sistema está funcionando completamente y las temperaturas de los termostatos internos sean censadas correctamente y así la parte de automatización efectúe las correspondientes variaciones para un uso eficiente del trabajo del equipo. A continuación, se muestran las gráficas que corresponde a las medidas realizadas a cada equipo y así mismo su tendencia de horario automatizado.

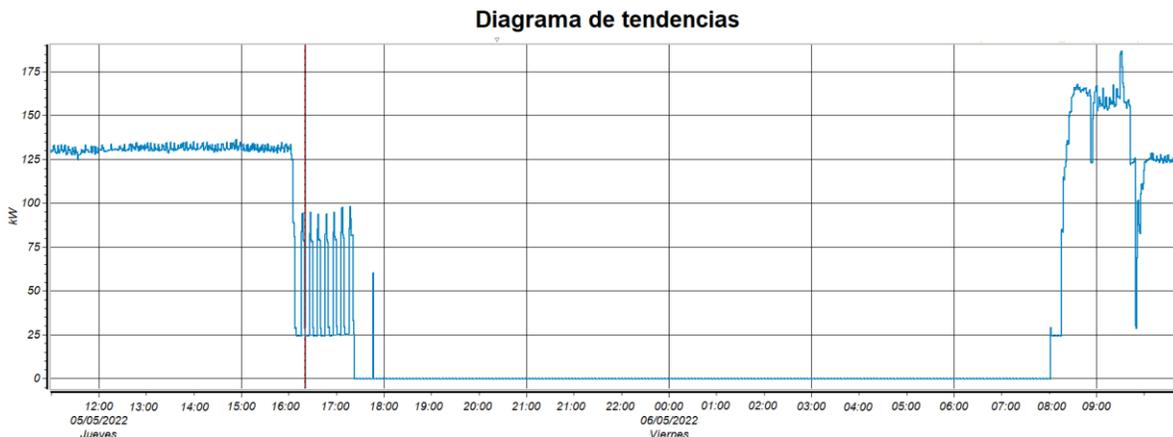


Figura 3.39 Tendencia del perfil de uso de chiller 1 de toma de medidas y visualizado en Dran-view por 24 horas.

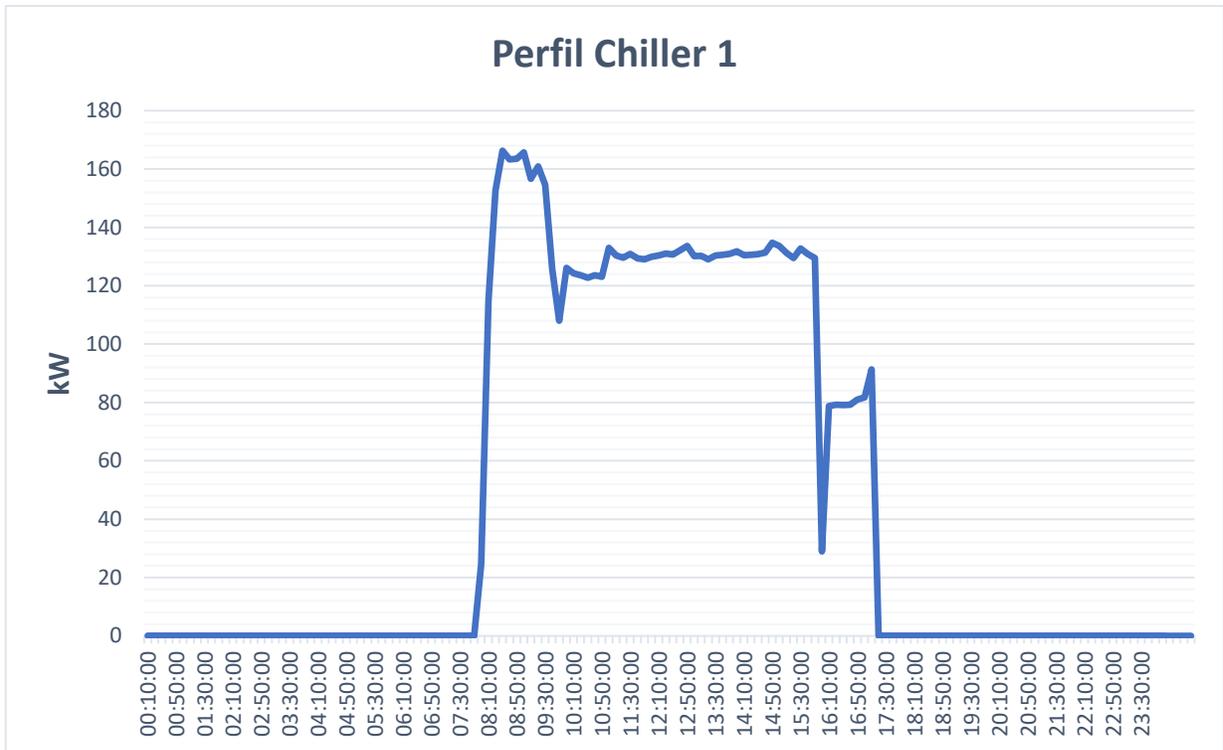


Figura 3.40 Grafica ordenada de 00:00 a 23:59 horas, Con la ayuda del equipo Dranetz 4400 se logró obtener el perfil de carga del chiller 1 por lo que su perfil de carga se presenta en esta imagen.

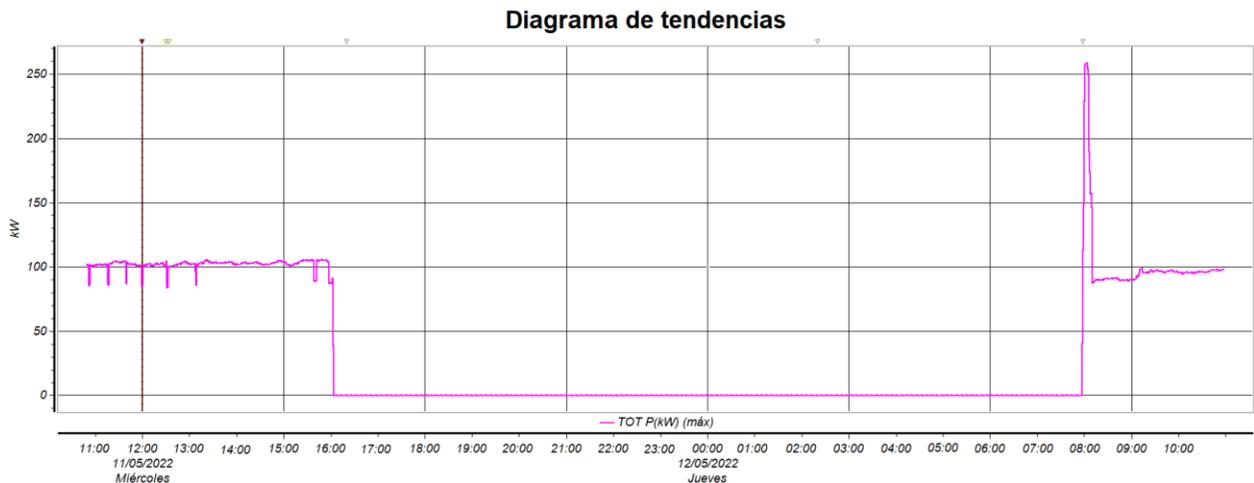


Figura 3.41 Tendencia del perfil de uso de chiller 2 de toma de medidas y visualizado en Dran-view por 24 horas en Torre PGR San Salvador.

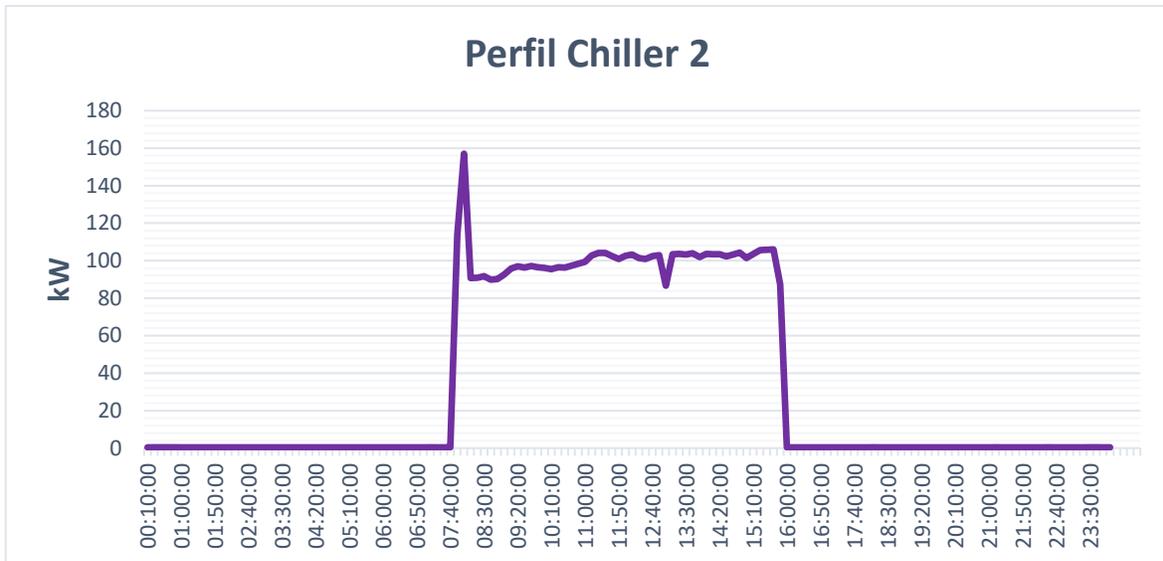


Figura 3.42 Grafica ordenada de 00:00 a 23:59 horas de potencia consumida por chiller 2 en Torre PGR San Salvador

Podemos observar el comportamiento de los dos chiller cabe mencionar que los chiller no son inverter por lo que una de las recomendaciones mejorar la curva de potencia esto con sistemas de arranque con variadores u equipos que de arrancadores suaves y así bajar la demanda de potencia ya que el equipo chiller es el que representa el 74.85% de la demanda de potencia por lo que mejorar su curva de potencia es necesaria para poder realizar ahorros significativos en facturación por potencia.

Continuando con la simulación hay que mencionar los parámetros originales de la simulación base los cuales son los siguientes:

Simulación base obtenidos por mediciones:

Temperatura Exterior minima: 15 °C

Temperatura Exterior Maxima: 30 °C

Temperatura Termostato Interior : 16 °C

Capacidad en Toneladas: 450 toneladas.

Equipo no Inverter.

Horario de uso automatizado 8:00am hasta 4:00pm (Comprobado con mediciones).

Bombas utilizadas 4 de flujo no variable.

Para nuestra nueva simulación tendremos que realizar el setup de temperatura en el termostato para subir la temperatura a 24°C la cual fue medida y se comprobo el confort de las oficinas a esa temperatura la cual presentaba sensacion agradable, mencionado esto realizaremos las siguientes modificaciones:

Temperatura Exterior minima: 15 °C

Temperatura Exterior Maxima: 30 °C

Temperatura Termostato Interior : 24 °C

Capacidad en Toneladas: 450 toneladas

Equipo no Inverter.

Horario de uso automatizado 8:00am hasta 4:00pm (Comprobado con mediciones).

Bombas utilizadas 4 de flujo no variable.

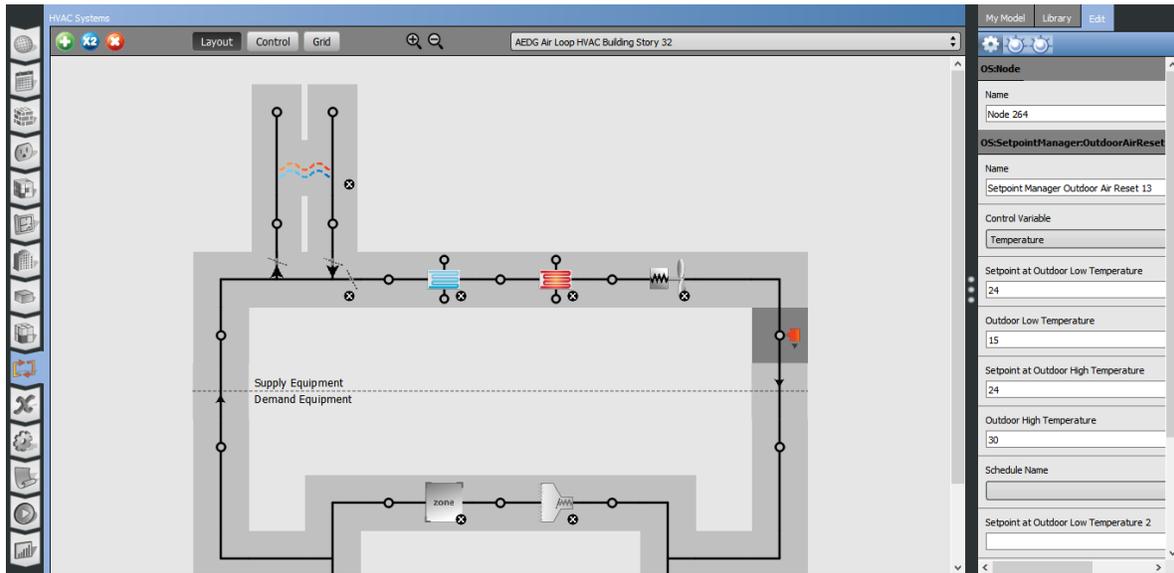


Figura 4.43 Configuración de parámetros simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D, la imagen muestra la construcción del chiller de la Torre PGR San Salvador para la simulación en OpenStudio.

Resultados Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D

	Consumo de Energía kWh												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Heating													
Cooling	10558.8	10802.6	14623.2	10747.83	13693.6	11472.7	12054.2	9762.33	11007.1	12088.5	10123.9	6794.78	133729.6
Interior Lighting	6559.61	6244.86	7179.72	5007.72	6559.61	6558.06	6559.61	5319.33	6558.06	6559.61	6558.06	5319.33	74983.58
Exterior Lighting													
Interior Equipment	14746.9	13619.6	15327.9	13015.36	14746.9	14468	14746.9	13584.8	14468	14746.9	14468	13584.8	171523.8
Exterior Equipment													
Fans	10545.7	10043.5	11550	8034.81	10545.7	10545.7	10545.7	8536.97	10545.7	10545.7	10545.7	8536.97	120521.9
Pumps	16698.1	17014.1	22331.4	16236.97	21095.1	18330.1	18843.1	15408.3	17732.7	19365.5	16174.2	10898	210127.5
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	59109	57724.7	71012.3	53042.69	66640.8	61374.5	62749.5	52611.7	60311.5	63306.1	57869.8	45133.9	710886.5

Figura 4.44 Resultados simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D. La tabla muestra los datos obtenidos de la simulación de OpenStudio realizando la modificación antes descrita y se pueden observar las contribuciones de cada carga actual mensuales en kWh.

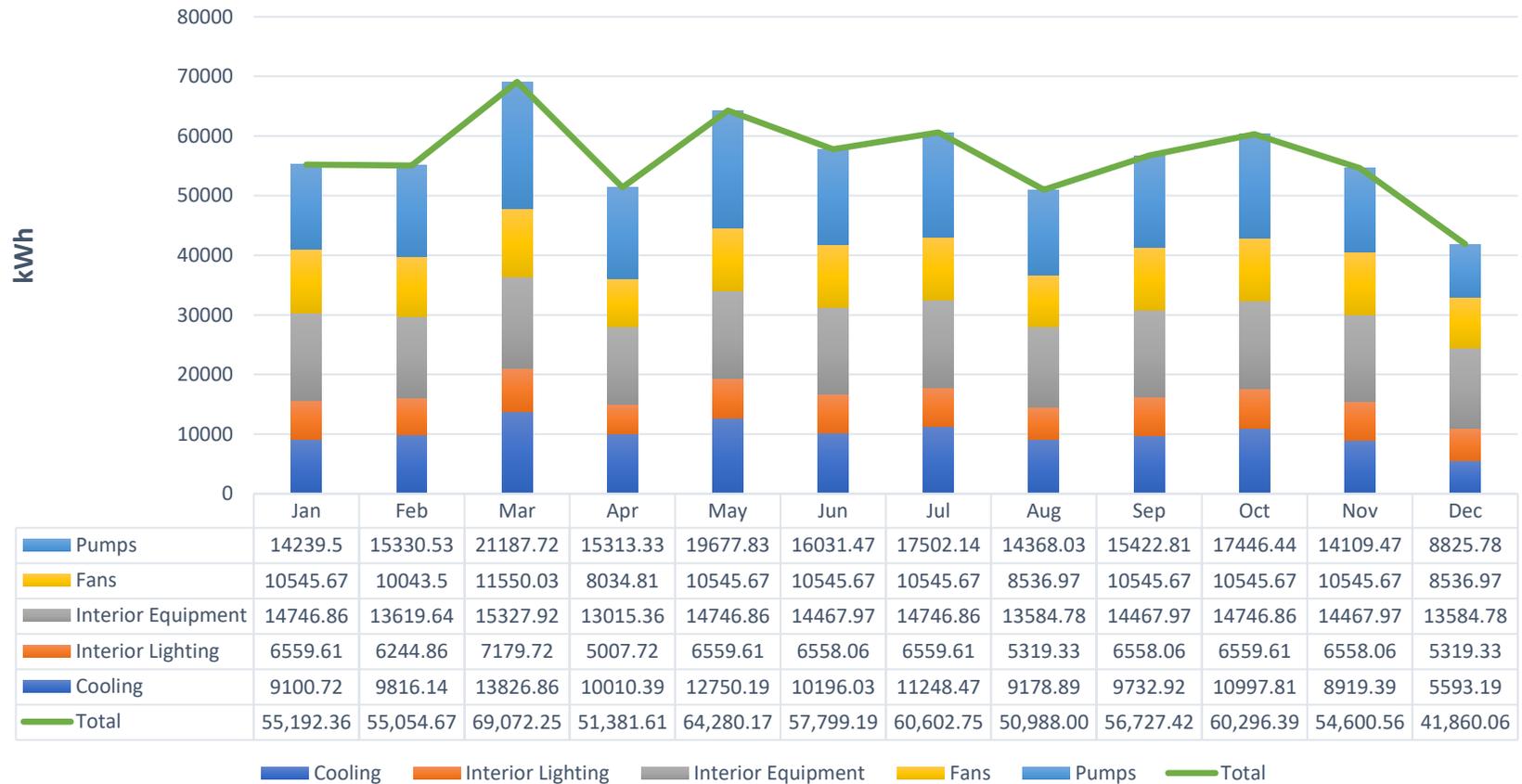
Modelo D						
Energía mensual 2022	kWh total mes	Punta kWh	Valle kWh	Resto kWh	Total \$ mensual por Punta+Valle+Resto	Total \$kWh + \$kW
ene-22	59,108.97	3,151.63	3,610.97	52,346.37	\$ 8,423.70	\$ 11,416.10
feb-22	57,724.72	3,116.89	3,490.91	51,116.92	\$ 8,226.60	\$ 11,344.97
mar-22	71,012.31	3,557.73	3,913.50	63,541.07	\$ 10,102.28	\$ 13,347.63
abr-22	53,042.69	3,175.80	3,581.23	46,285.66	\$ 7,578.14	\$ 10,855.95
may-22	66,640.83	3,482.26	3,891.93	59,266.64	\$ 9,490.30	\$ 12,666.31
jun-22	61,374.50	4,127.30	4,356.60	52,890.60	\$ 8,787.04	\$ 11,802.47
jul-22	62,749.50	4,255.51	4,487.63	54,006.35	\$ 8,985.80	\$ 12,055.54
ago-22	52,611.67	3,119.69	3,549.12	45,942.85	\$ 7,515.62	\$ 10,530.63
sep-22	60,311.47	4,201.15	4,770.80	51,339.52	\$ 8,651.98	\$ 11,617.86
oct-22	63,306.14	4,409.75	5,007.69	53,888.70	\$ 9,081.58	\$ 12,071.99
nov-22	57,869.83	3,414.15	3,641.76	50,813.92	\$ 8,259.30	\$ 11,220.99
dic-22	45,133.86	3,406.33	3,771.29	37,956.24	\$ 6,487.49	\$ 9,425.72
Totales	710,886.49				\$ 101,589.84	\$ 138,356.15

Figura 4.45 Costos de potencia + costos de energía año bajo consumo modelo D 2022, en esta tabla podemos observar los montos mensuales tanto en consumo de energía como en costos aplicando la tarifa abril 2022, dándonos un consumo anual de 710,886.49 kWh lo que en dinero es \$138,356.15 con la tarifa actual abril 2022.

Simulación	Base (kWh)	D (Kwh)	Reducción (kWh)	Reducción \$
Cooling	211,607.25	133,729.64	77,877.61	
Interior Lighting	74,983.58	74,983.58	0.00	
Interior Equipment	171,523.83	171,523.83	0.00	
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00	
Pumps	258,593.28	210,127.50	48,465.78	
Totales	837,229.88	710,886.49	126,343.39	\$ 18,060.18

Figura 4.46 Tabla de resultados de reducción de costos año bajo consumo modelo D, en esta tabla se muestran los resultados del año base VS el año de modelo de bajo consumo D, del cual podemos observar que presenta una disminución de 126,343.39 kWh al año lo que en dinero equivale aplicando la tarifa de abril del 2022 de \$18,060.18 al año, en comparación a los modelos anteriores este presenta menor ahorro.

Consumo de Energía Modelo Bajo Consumo de Energia D



Grafica 4.47 Modelo Bajo Consumo de Energía D Total en un periodo de un año, en esta grafica podemos observar el comportamiento de las cargas antes especificadas las cuales proporcionan la contribución de consumo de energía ya sea por equipo de climatización, Luminaria y equipo eléctrico, el grafico de línea rojo presenta el total y su tendencia de consumo mensual.

Propuesta de sistema fotovoltaico Modelo de Bajo Consumo de Energía E.

Al realizar el estudio de ahorro y eficiencia energética del edificio Torre PGR San Salvador se propone como alternativa un sistema de generación fotovoltaico para un ahorro de energía, basándonos en la disponibilidad de áreas y se presenta el siguiente diseño fotovoltaico:

Verificación de áreas: Se realizó el modelo 3D del edificio con sus dimensiones reales y obstáculos para la verificación de incidencia de sombra sobre las áreas posibles a utilizar.



Figura 4.48. Área de parqueo Torre PGR San Salvador, Fuente Propia

Se realiza la simulación de sobras para verificar si se podría proponer estructura de techos para líneas de parqueo no obstante esa área es afectada por la sobra de la torre por lo que no podría ser utilizada.



Figura 4.49. Simulación de sombra en área de parqueo, Fuente Propia.

Área Terraza Torre PGR



Figura 4.50 Terraza Torre PGR San Salvador, Fuente Propia.

Simulación de Sombras Área Terraza Torre PGR San Salvador

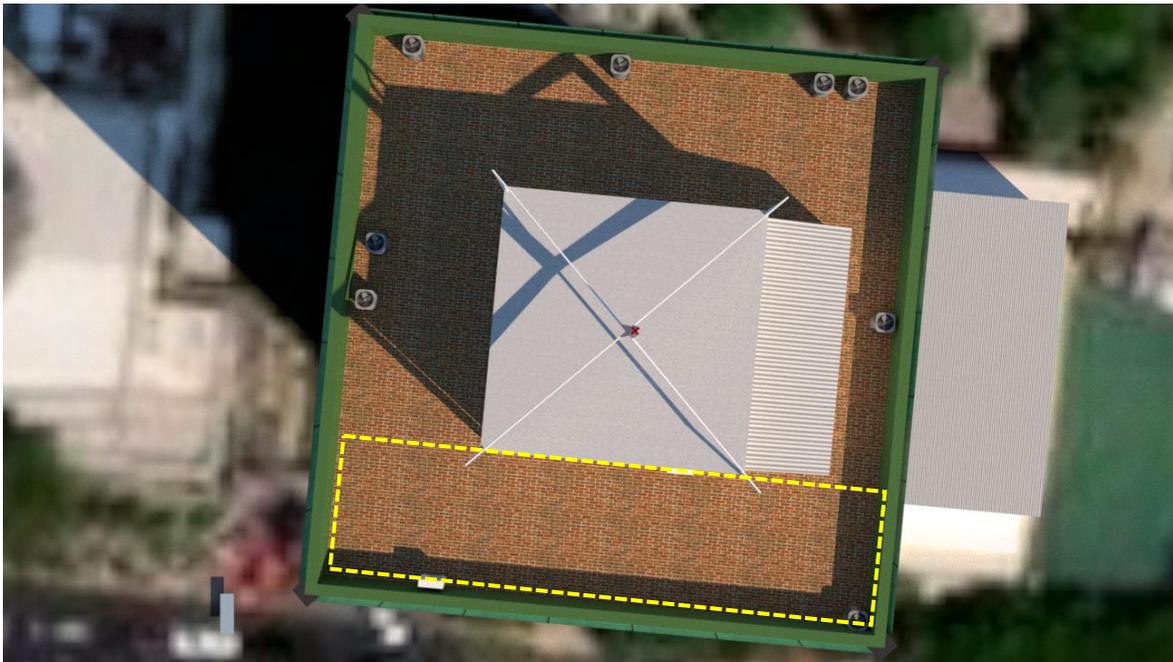


Figura 4.51 Simulación de sombras Área Terraza 09:00am 21/12/2022, Fuente Propia

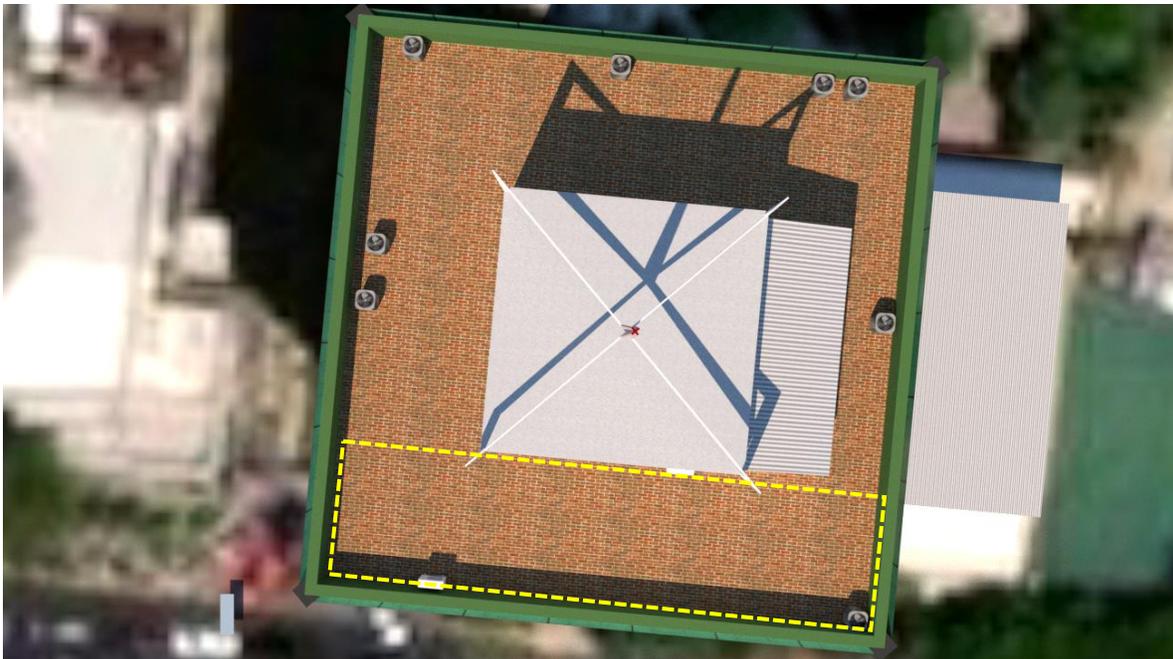


Figura 4.52. Simulación de sombras Área Terraza 12:00pm 21/12/2022, Fuente Propia

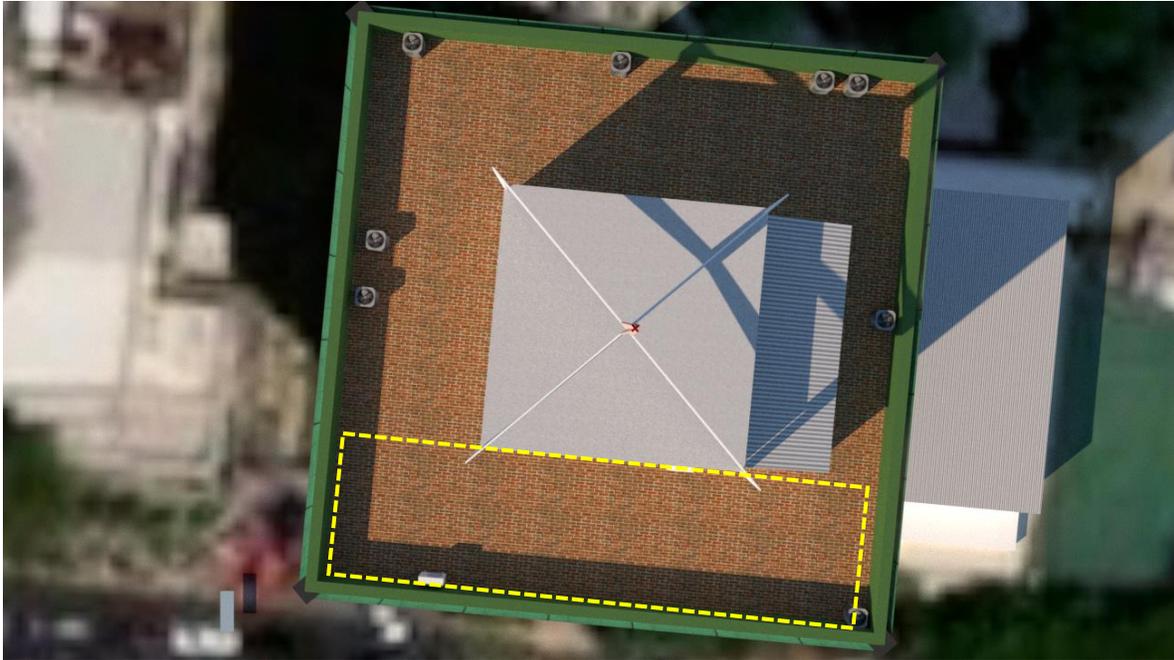


Figura 4.53 Simulación de sombras Área Terraza 3:00pm 21/12/2022 Fuente Propia

Para aumentar el área disponible de la azotea se necesitará remover la antena instalada la cual esta deshabilitada y no tiene ningún uso.



Figura 4.54 Antena necesaria de desmontar en Toree PGR San Salvador, Fuente Propia.

Para obtener un área idónea se tendrá que construir una estructura base para el sistema fotovoltaico para evitar la sombra antes descrita.

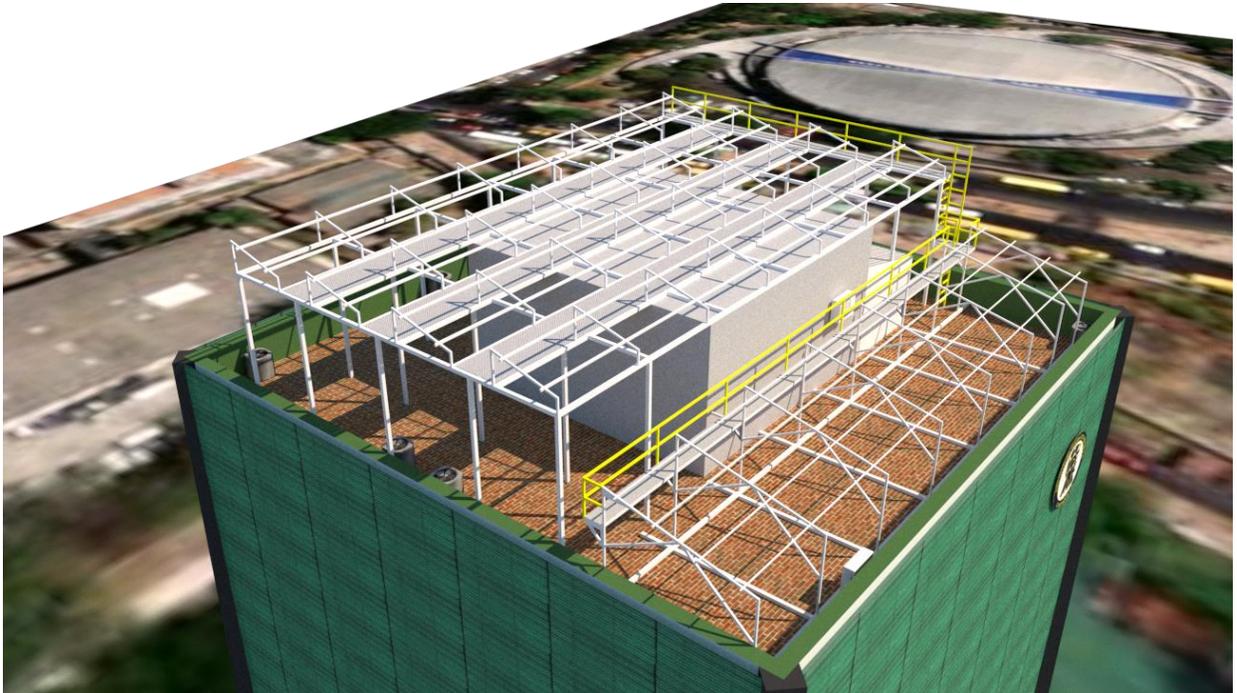


Figura 4.55 Estructura base para instalación de Módulos Fotovoltaicos Torre PGR San Salvador, Fuente propia.

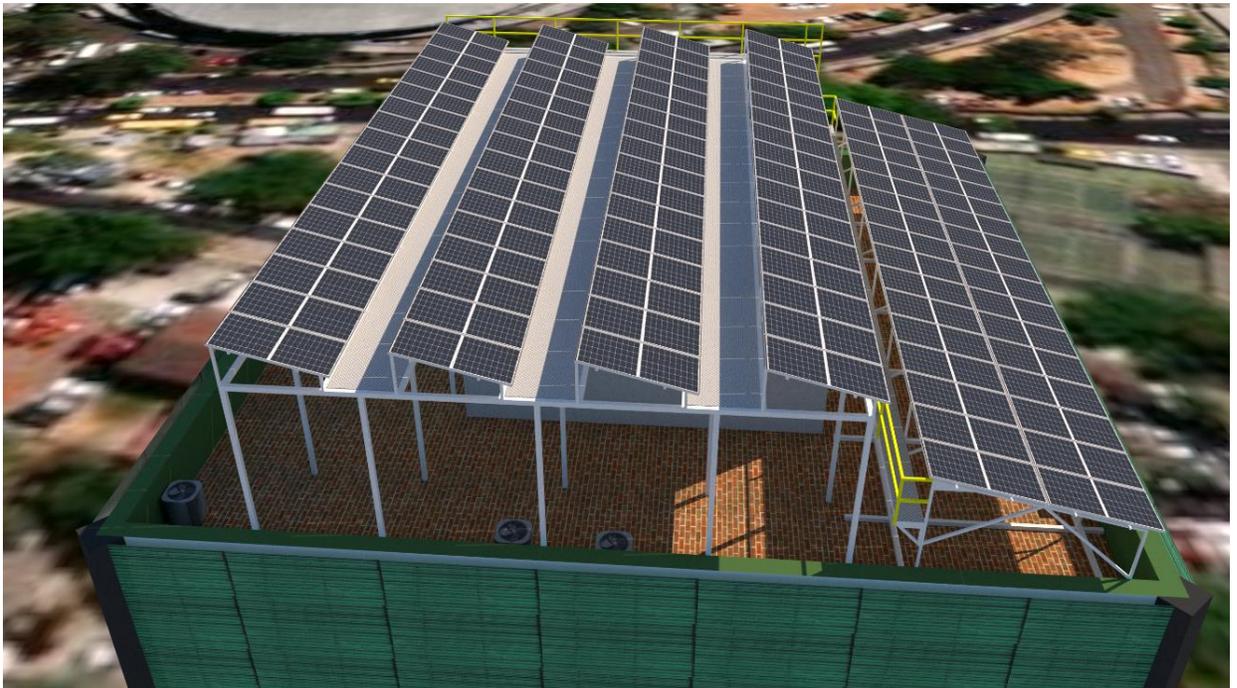


Figura 4.56 Estructura base con Módulos Fotovoltaicos Torre PGR San Salvador, Fuente Propia.

Como resultado obtenemos 102 Módulos fotovoltaicos de 495 Wp con dimensiones de 2.2mx1.1m por cada módulo y distribuido de la siguiente manera:

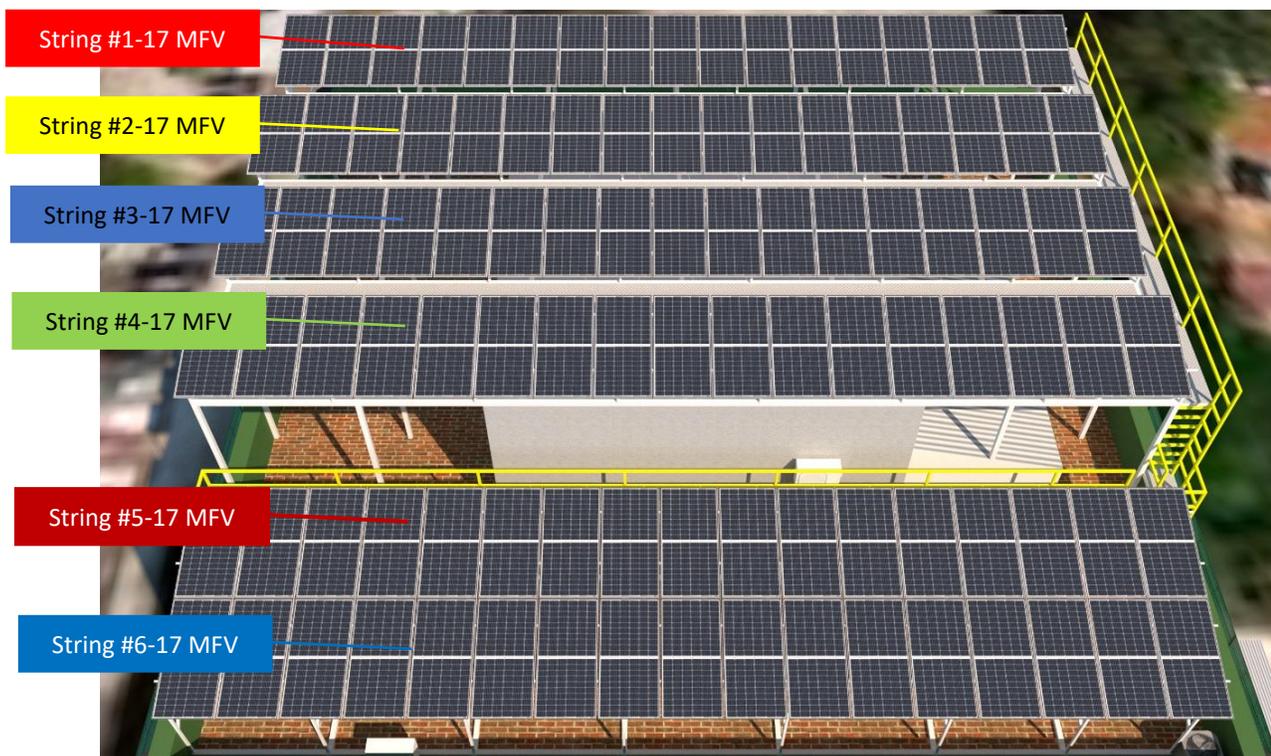


Figura 4.57 Distribución de string en Torre PGR San Salvador, Fuente Propia.

Para nuestro dimensionamiento tomamos en cuenta los siguientes aspectos.

Orientación e inclinación:

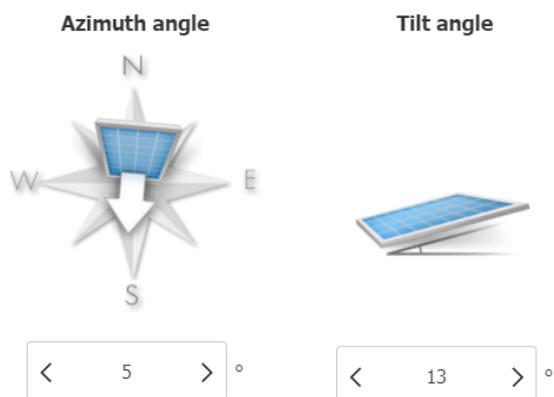


Figura 4.58 inclinación y orientación de Módulos fotovoltaicos. Fuente SMA

Se detalla tabla con valores de las facturaciones:

mes	punta (kWh) 18:00-22:59	valle (kWh) 23:00-04:59	resto (kWh) 05:00-17:59	potencia (kW)
ene-19	3952	4528	65640	440
feb-19	4000	4480	65600	440
mar-19	4000	4400	71440	448
abr-19	3760	4240	54800	472
may-19	4080	4560	69440	488
jun-19	4320	4560	55360	448
jul-19	4400	4640	55840	464
ago-19	3952	4496	58200	520
sep-19	4720	5360	57680	560
oct-19	4720	5360	57680	560
nov-19	4800	5120	71440	496
dic-19	4480	4960	49920	536
ene-20	4400	4720	70160	520
feb-20	4560	4960	71200	480
mar-20	4160	4640	44400	432
abr-20	4000	4720	11680	72
may-20	3760	4400	11520	72
jun-20	4080	4720	15920	112
jul-20	4320	4880	16320	80
ago-20	4160	4560	18160	120
sep-20	4560	4800	23360	112
oct-20	4000	4240	19440	128
nov-20	3520	3840	12160	56
dic-20	3440	3840	11120	56
ene-21	3280	3680	11520	56
feb-21	3440	3760	14160	88
mar-21	4400	4480	22640	216
abr-21	4480	4400	25840	160
may-21	1120	1120	6960	160
jun-21	4240	4640	43680	128
jul-21	4400	4880	54320	120
ago-21	4480	4960	41040	328
sep-21	3840	4240	45920	416

Figura 4.58 Consumo energía y potencia periodo 2019-2021 de Torre PGR San Salvador. Fuente Unidad de Medio Ambiente PGR San Salvador, podemos observar que la demanda de potencia máxima factura es de 560 kW.

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Por lo que para nuestro diseño no tendríamos limitante de la potencia a instalar ya que actualmente se encuentran en 560 kW, y su consumo de energía total tomando base el año 2019 debido a que en el año 2020 y 2021 se presentó una tendencia anormal debido a la crisis sanitaria que se vivía, el consumo de energía es de 840,928 kWh anual.

RESULTADOS DE DISEÑO		
# Inversor SMA CORE1 50kw 460V	1	Inversores
# String	6	String
# Paneles por string	17	MFV
# Paneles total	102	MFV
Potencia a instalar DC	50.49	kWp
Protecciones DC string	20	A
Corriente en cada Fase	61	A
Conductor cobre fases #	2	thhn
Térmico 3p	75	A

Figura 4.59 Resumen de dimensionamiento de SFV en esta tabla se presenta la capacidad a instalar el número de módulos fotovoltaicos a instalar y otros datos técnicos de la instalación

Tendremos que considerar que para la instalación del sistema se tiene que remover para luego construir la estructura base que soportaron los módulos.

UBICACIÓN DE INVERSOR Y PUNTO DE CONEXIÓN

La ubicación del inversor será en cuarto de máquinas del ascensor

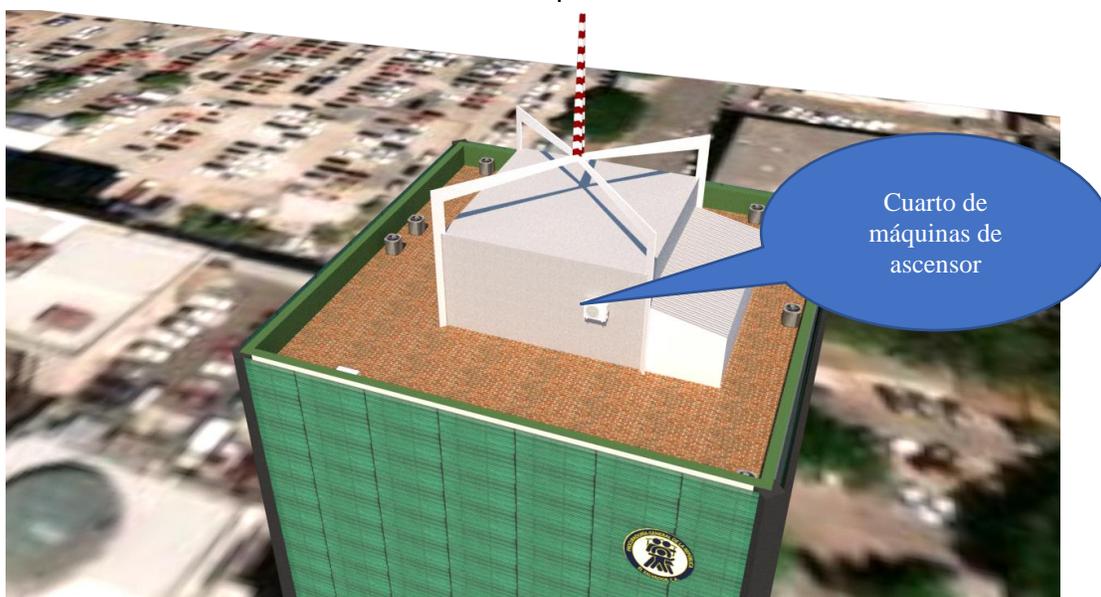


Figura 4.60 ubicación de inversor. Fuente Propia

Para el cableado se debe considerar la distancia de inversor a subestación de 500 kVA la cual se encuentra en la planta baja de la torre aproximadamente sugiriendo una ruta accesible de 100m (Contratista deberá verificar ruta).

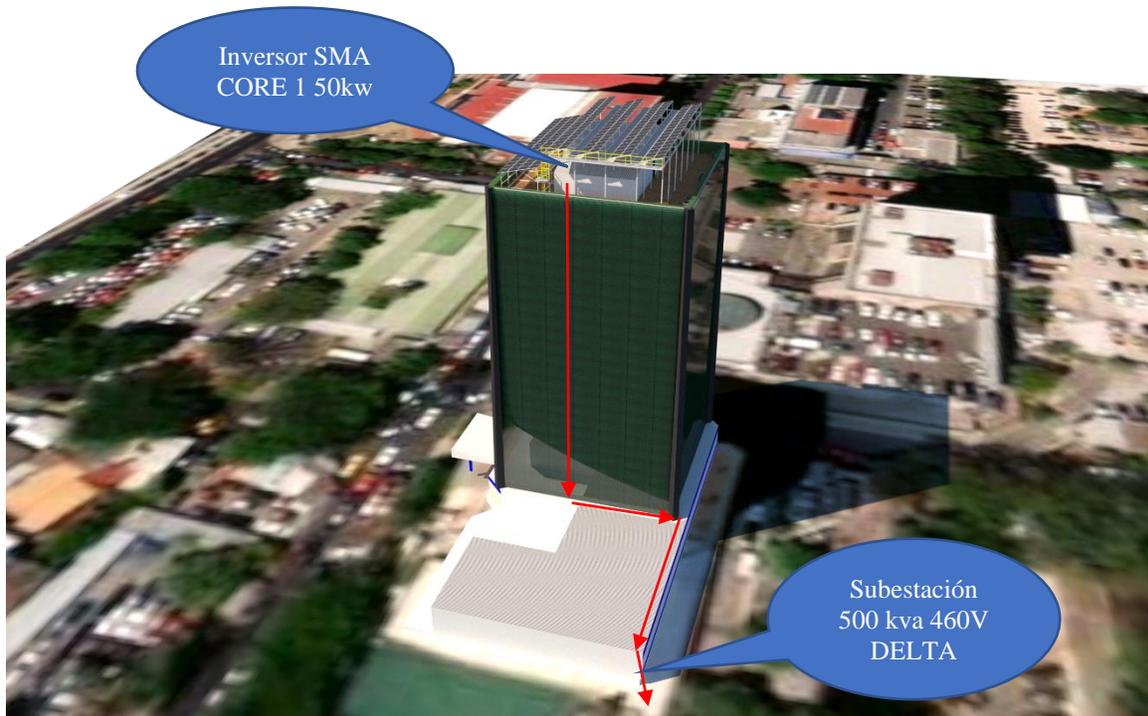


Figura 4.61 Ruta de cableado de inversor a padmount 500kva. Fuente Propia

El edificio consta de 2 subestaciones 1 de 500kva 208/120 V Estrella 3~, con banco de capacitores de 75kVAR de 6 etapas automático y 1 de 500kva 460V DELTA 3~, con banco de capacitores de 225kVAR de 8 etapas automático. Al no tener cerca algún tablero 460V trifásico se considera la conexión hasta los bornes del secundario del transformador padmount de 500kva 460V.

DIAGRAMA UNIFILAR Y CONFIGURACION DE STRING

CONFIGURACIÓN DE STRINGS EN INVERSOR

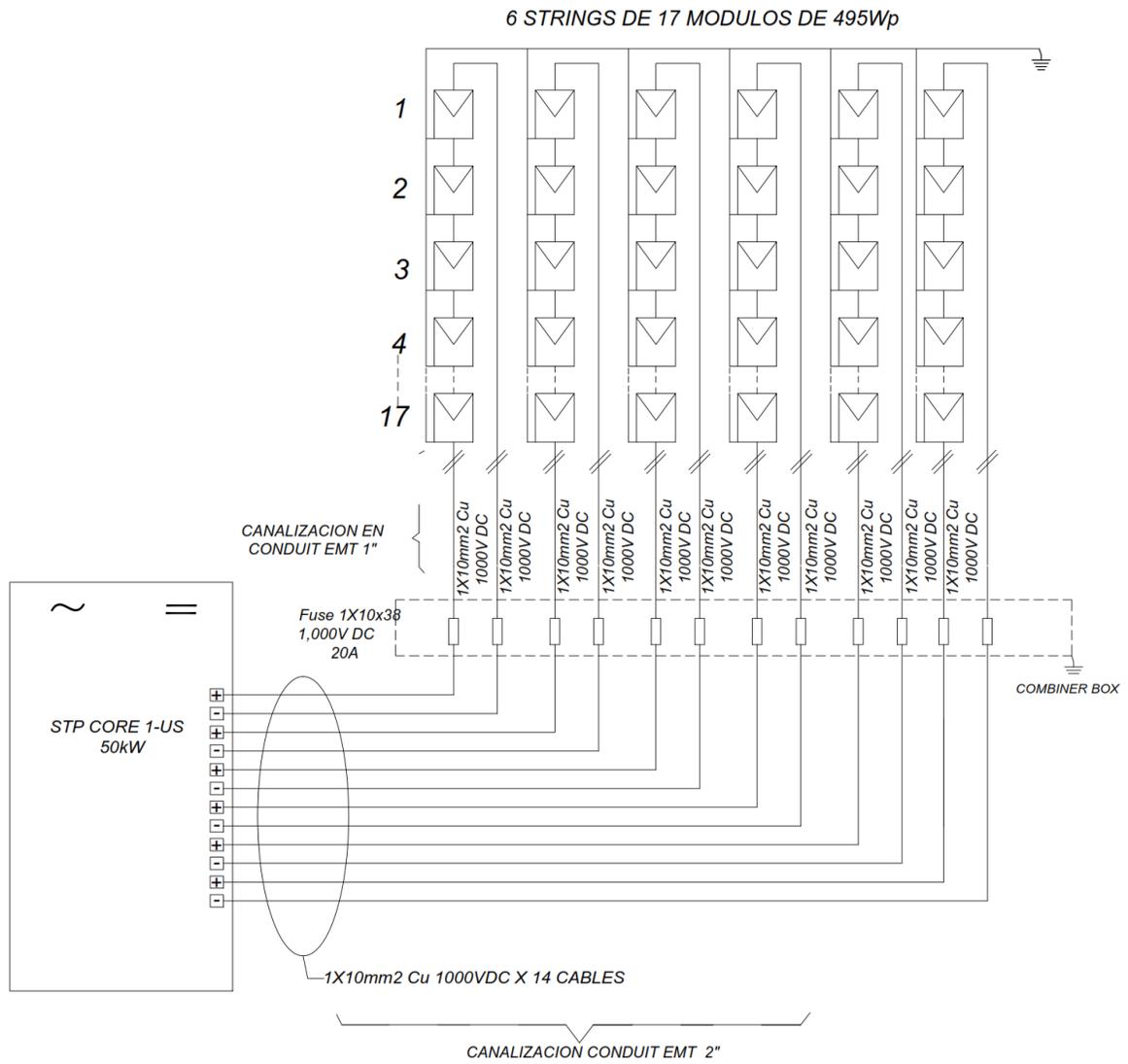


Figura 4.62 Diagrama de conexión de string hacia inverter. Fuente Propia

DIAGRAMA UNIFILAR
SIN ESCALA

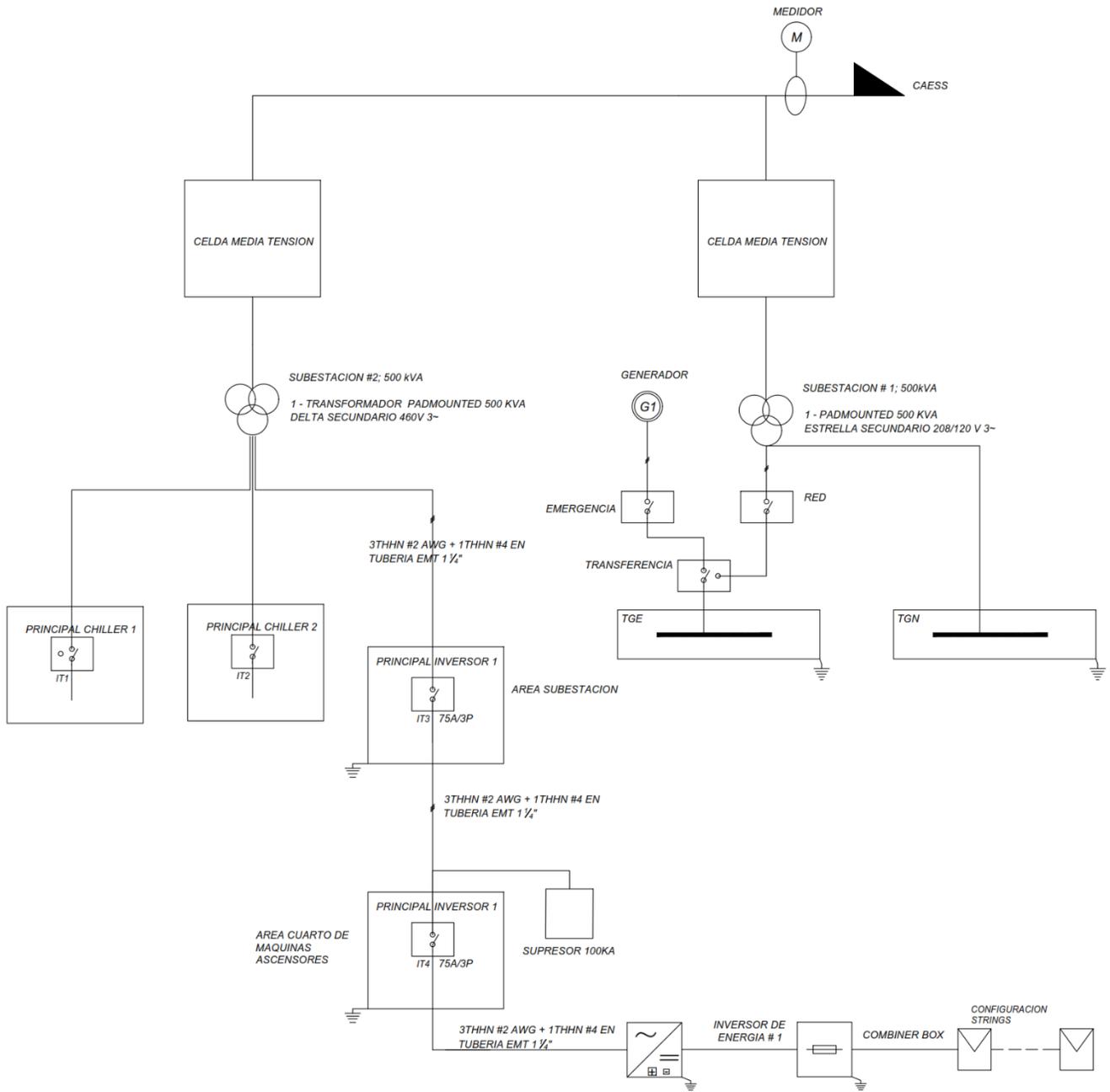


Figura 4.63 Diagrama Unifilar. Fuente Propia

RESUMEN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Descripción	Cantidad	Unidades
Capacidad Instalada	50.49	kWp
Numero de módulos fotovoltaicos	102.00	Unidad
Numero de inversores SMA CORE 1 50kW	1.00	Unidad
Rendimiento Energético Anual	77,249.70	kWh año
Monto de Inversión SFV + Estructura sin Iva	\$ 74,407.50	Dólares US
Ahorro Facturación	\$ 10,766.37	Dólares US año
Retorno de inversión	6.91	Años
Precio por Wp sin IVA = Suma/Wp	\$1.47	\$/Watt instalado

ANALISIS RETORNO INVERSION

Producción anual Fotovoltaica = **77,249.70 kWh/año**

Precio instalación = **\$ 74,407.50**

Precio de kWh horario resto = **0.139371 \$/kWh**

Retorno de la inversión = **6.91 años**

Consumo promedio anual actual = **840,928.00 kWh/año**

Consumo Promedio anual con planta fotovoltaica = **763,678.30 kWh/año**

Ahorro promedio anual en dólares = **\$10,766.37 al año**

Porcentaje de reducción de energía en la facturación = **9.19%**

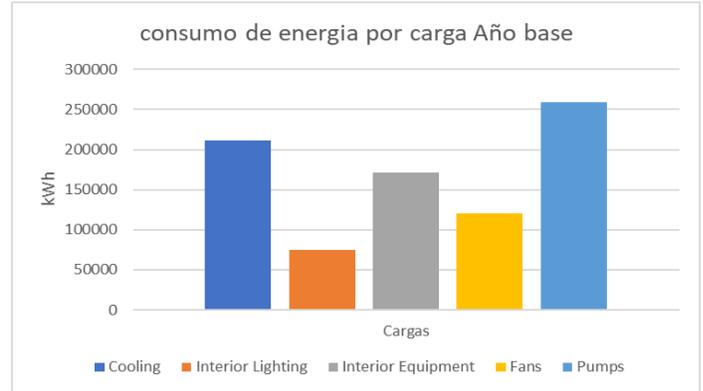
Diseño realizado en base al curso de SISTEMAS FOTOVOLTAICOS impartido en la facultad de Ingeniería y arquitectura de LA UES por MSC Jorge Alberto Zetino.

Resumen de simulaciones

En las siguientes tablas se presenta un resumen de consumo en kWh por año de las diferentes cargas para cada simulación.

- **Año base**

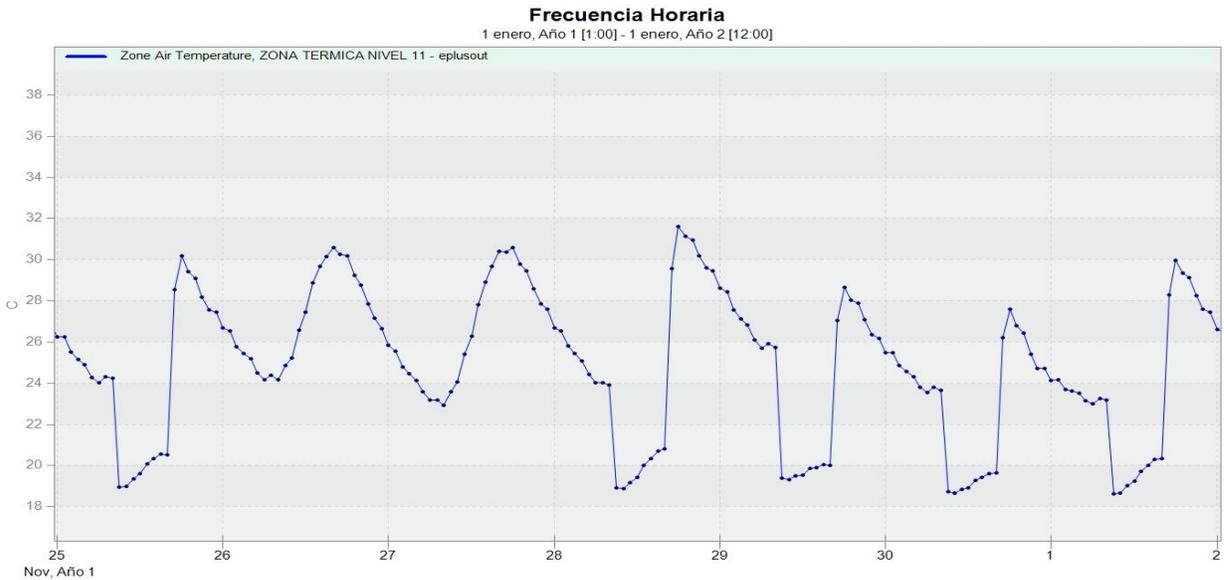
Carga	kWh año
Cooling	211,607.25
Interior Lighting	74,983.58
Interior Equipment	171,523.83
Fans	120,521.94
Pumps	258,593.28
Total	837,229.89



El equivalente en dólares se muestra en la siguiente tabla

Punta \$	Valle \$	Resto \$	Potencia kw	Costo Total anual
\$8,597.83	\$9,409.34	\$101,642.85	\$36,766.31	\$156,416.34

Esta simulación también nos muestra la temperatura dentro de los recintos y para una visualización grafica se utilizó el programa DesingBuilder, la gráfica obtenida se muestra a continuación:

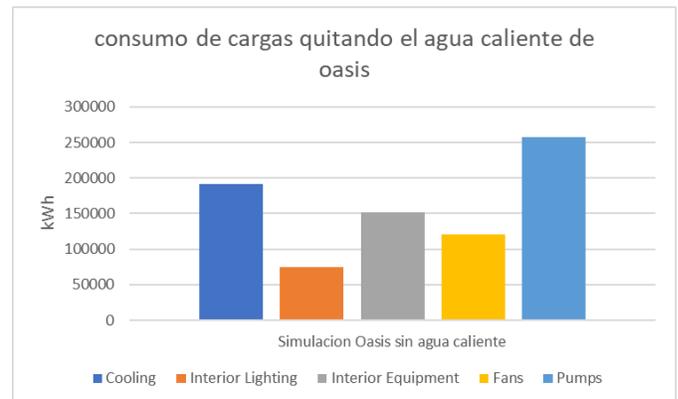


Gráfica de temperatura de simulación durante una semana Nivel 11

Esta simulación nos muestra que la temperatura dentro del recinto se encuentra entre los 19 y 21 grados centígrados en las horas que permanece encendido el aire acondicionado, en las visitas para toma de datos pudimos verificar la temperatura de los recintos encontrando temperaturas entre 18 grados y 22 grados.

- **Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía A (Deshabilitando el agua caliente en oasis)**

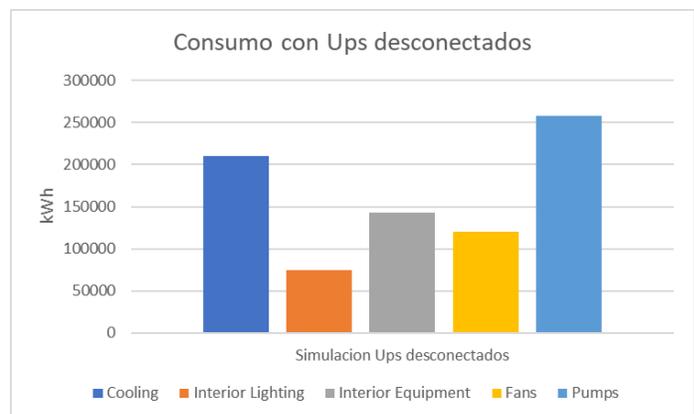
Carga	kWh año
Cooling	191,504.86
Interior Lighting	74,983.58
Interior Equipment	152,251.81
Fans	120,521.94
Pumps	257,910.36
Total	797,172.56



Y cuya facturación representaría **\$150,691.55** al año

- **Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía B (Desconectando de la red los ups de cada computadora cuando termine la jornada laboral)**

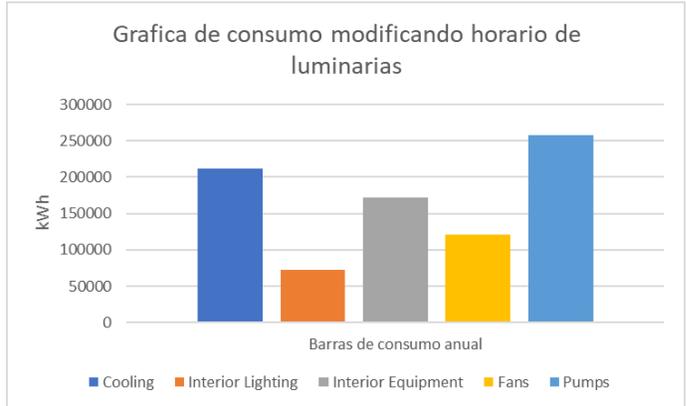
Carga	kWh año
Cooling	191,504.86
Interior Lighting	74,983.58
Interior Equipment	152,251.81
Fans	120,521.94
Pumps	257,910.36
Total	797,172.56



Su consumo en dólares equivaldría a **\$152,083.24** al año

- **Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía C (Apagando luminarias de oficinas después de la jornada laboral)**

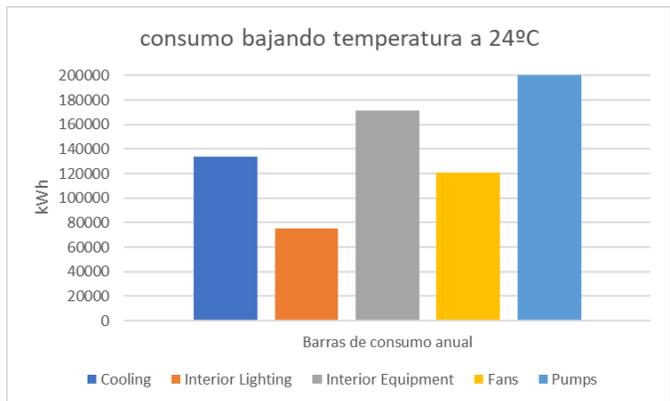
Carga	kWh año
Cooling	211,427.1
Interior Lighting	72,042.06
Interior Equipment	171,523.83
Fans	120,521.94
Pumps	258,243.28
Total	833,758.22



Su equivalente en dólares sería **\$155,920.20** al Año

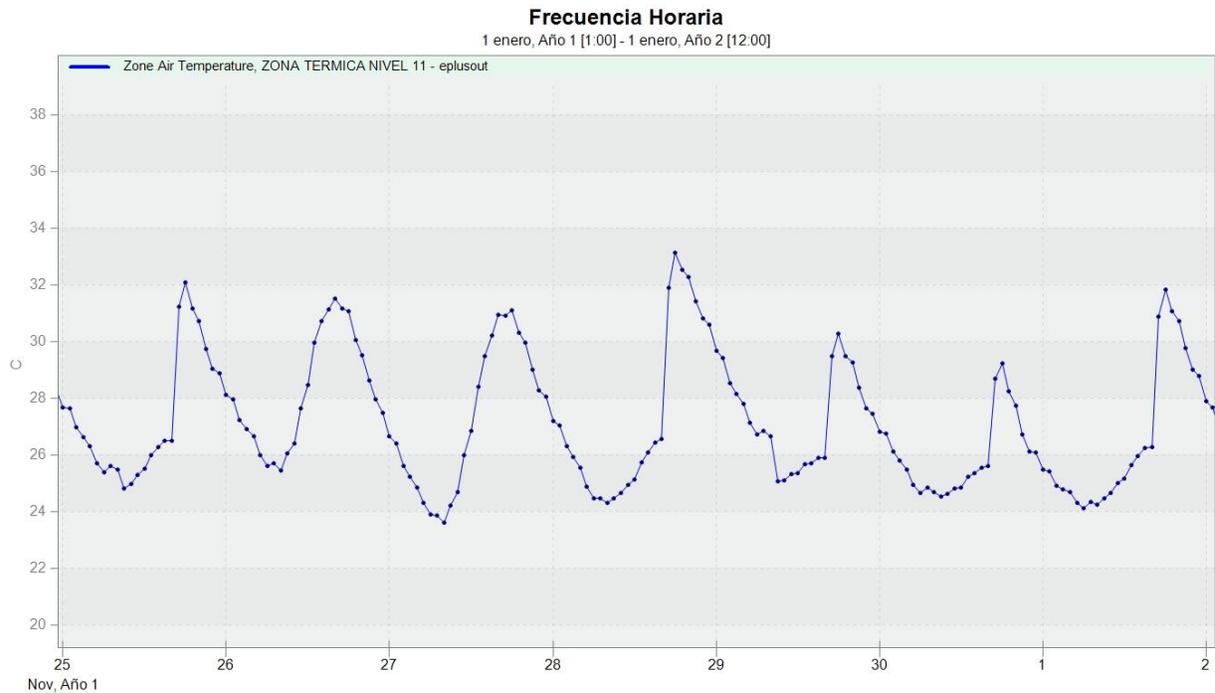
- **Simulación Modelo Bajo Consumo de Energía D (Setup Temperatura termostato interno 24°C)**

Carga	kWh año
Cooling	133,729.64
Interior Lighting	74,983.58
Interior Equipment	171,523.83
Fans	120,521.94
Pumps	120,521.94
Total	210,127.5



Su equivalente en dólares sería **\$138,356.15** al año.

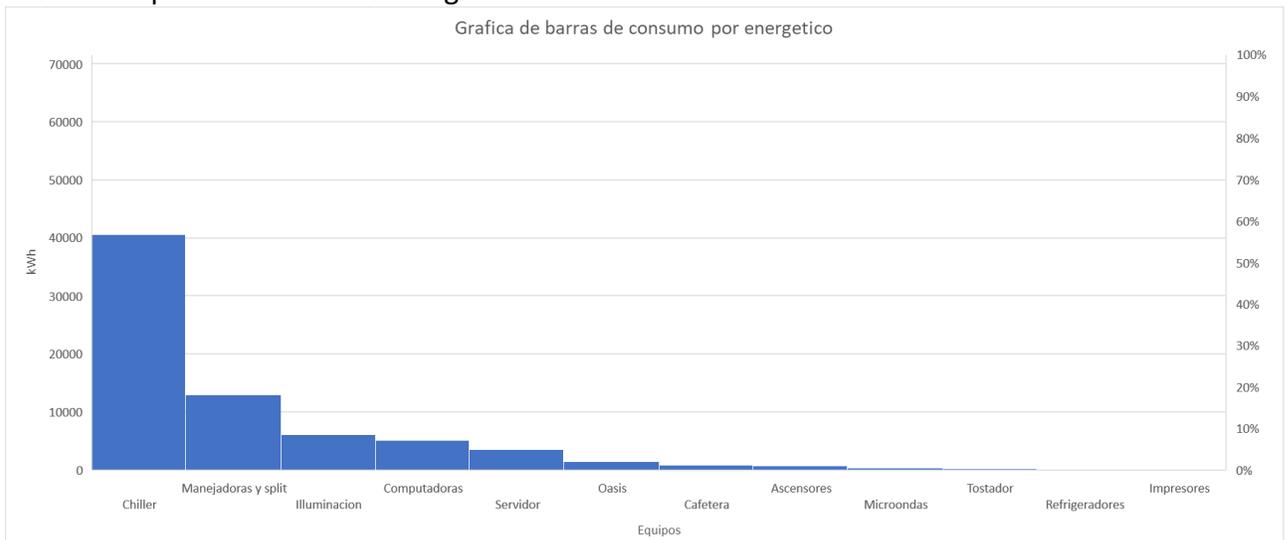
La grafica de temperatura interna en un periodo de una semana que arrojo la simulación se muestra a continuación:



Resumen de consumo eléctrico en base a la auditoria

Equipo eléctrico	kWh al mes	percentage
Computators	5,053.08	7.06%
Iluminación	6030.36	8.43%
Oasis	1411.2	1.97%
Impresores	58.838	0.08%
Microondas	315	0.44%
Tostador	142.8	0.20%
Cafetera	781.2	1.09%
Refrigeradores	119.28	0.17%
Ascensores	630.000	0.88%
Chiller	4,0614.000	56.76%
Servidor	3,456.72	4.83%
Manejadoras y split	12,946.381	18.09%
Total	71,558.859	100%

Para una mejor visualización se graficó los resultados de la tabla anterior en un grafica de Pareto que dando la gráfica como se muestra a continuación:

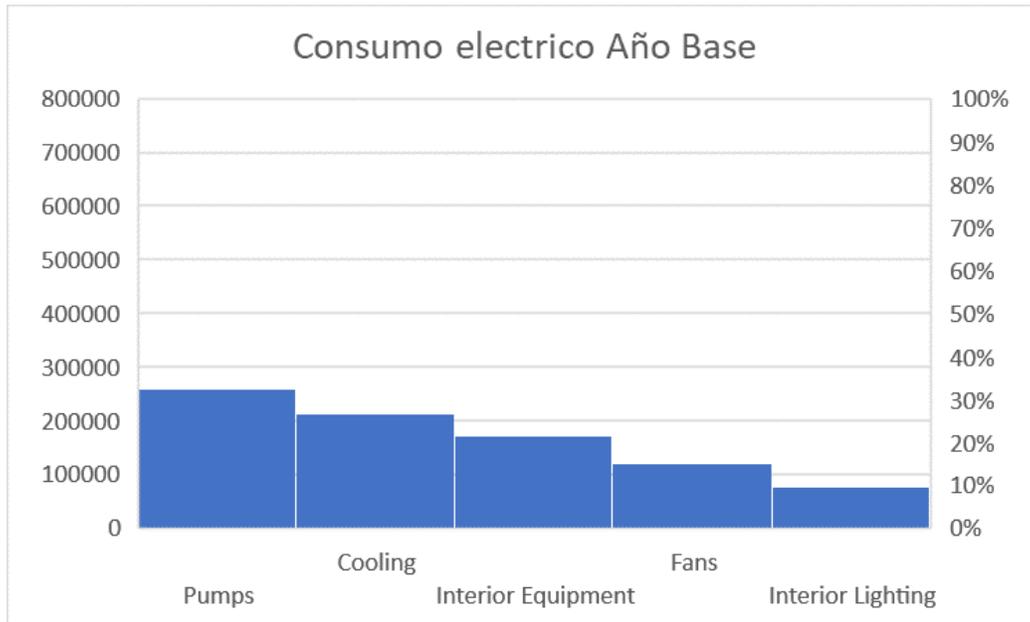


Con estos resultados podemos ver que el mayor consumo se encuentra en el sistema de climatización con un 56.76% para los chillers y 18.09% para las manejadoras.

Simulación de año base

El siguiente análisis se basa en la simulación del año base que se modeló en OpenStudio con toda la información recolectada en la auditoría se utilizó el año 2022 para el clima.

El consumo de las cargas se representa como se muestra a continuación:



cooling = Unidad enfriadora chiller

Fan = Manejadoras de aire

Pumps = bombas de agua enfriada

Interior Lighting = lámparas del edificio

Interior equipment = equipo de oficina, oasis, cafeteras, refrigeradores, microondas, tostadores.

La siguiente tabla muestra el consumo de cada una de las cargas y su respectiva gráfica anual que es el periodo para la cual se realizó la simulación:

Simulación Año Base	
Cooling	211,607.25
Interior Lighting	74,983.58
Interior Equipment	171,523.83
Fans	120,521.94
Pumps	258,593.28
Total	837,229.88 kWh

La gráfica muestra que el mayor consumo está en el sistema de climatización en primera posición las bombas seguido de la unidad enfriadora a este consumo también habrá que

agregarle el consumo de ventiladores (Fan) que es parte del sistema. Cabe recordar que la temperatura de termostato para este modelo está programada en 16 grados Celsius y registrando una temperatura al interior del recinto de hasta 19 grados Celsius (Véase resumen de simulación año base).

Simulación de bajo consumo A (apagando agua caliente de oasis)

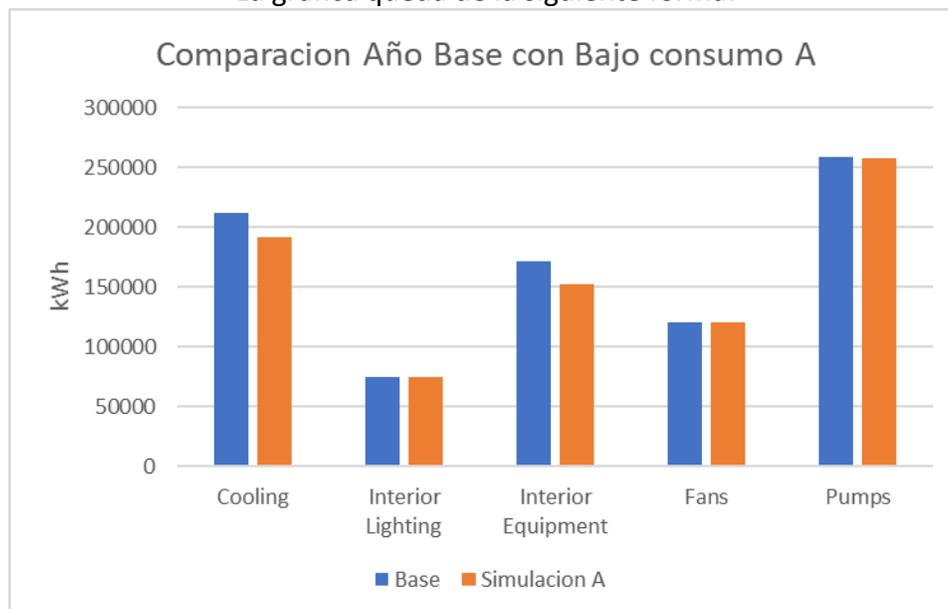
Los oasis trabajan calentando y enfriando agua en recipientes independientes, pero estos no son completamente herméticos liberando calor a su entorno y con el tiempo alcanzan la temperatura de su entorno, es por ello que estas máquinas trabajan intermitentemente en el día y la noche calentando y enfriando agua para mantener la temperatura programada.

Para este análisis compararemos los resultados del año base con los resultados de la simulación de bajo consumo A.

En la siguiente tabla se muestra la comparación del año base el año de bajo consumo A

Simulación Año Base kWh	Simulación A kWh	Ahorro kWh
Cooling	211,607.25	20,102.39
Interior Lighting	74,983.58	0.00
Interior Equipment	171,523.83	19,272.02
Fans	120,521.94	0.00
Pumps	258,593.28	682.92
Total	837,229.88	40,057.33

La gráfica queda de la siguiente forma:



En esta simulación tenemos un ahorro en Interior Equipment esto es debido a que no se utiliza energía en calentar agua en los oasis esto representa **19,272.02 kWh** al año, pero

también se observa una disminución en el consumo del sistema de climatización esto se debe a la disminución de carga térmica que liberaba el oasis al estar calentando agua y liberar esta energía al ambiente para alcanzar equilibrio térmico con el tiempo, esta disminución corresponde a **20,132.9 kWh** en enfriamiento.

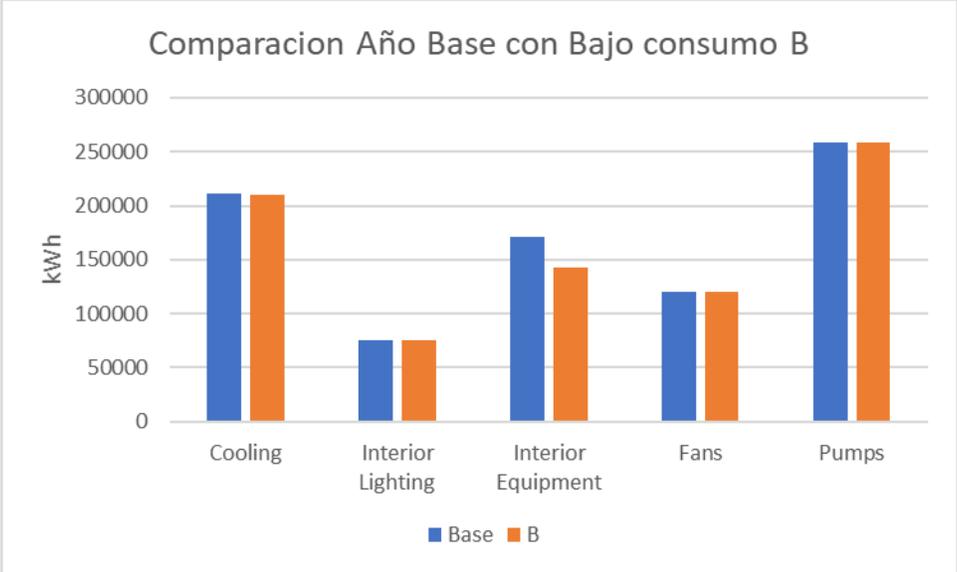
Con esta medida se estima un ahorro en dólares al año de **5,724.78 USD** (véase simulación de bajo consumo A).

Simulación de bajo consumo B (Desconectando de la red los ups)

Los ups son fuentes de respaldo que suministra energía (por medio de una batería interna) por un tiempo determinado a las computadoras de escritorio cuando la red falla. estos Ups siguen consumiendo energía aun cuando la Pc está apagada este consumo se encuentra alrededor de 10 watts.

En el siguiente análisis se compara el año base con los resultados del año con la medida tomada los resultados se muestran en la siguiente tabla y posteriormente una gráfica comparativa:

Simulación	Año Base kWh	Simulación B kWh	Ahorro kWh
Cooling	211,607.25	210,164.28	1,442.97
Interior Lighting	74,983.58	74,983.58	0.00
Interior Equipment	171,523.83	143,030.83	28,493.00
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00
Pumps	258,593.28	258,214.17	379.11
Total	837,229.88	806,914.80	30,315.08



Como se observa en la gráfica hay una disminución en el consumo de equipo con respecto al año base de **28,493 kWh** al año con solo desconectar de la red los Ups cuando se apaga

la computadora también se observa una disminución en enfriamiento esto se debe a que el recinto está a una temperatura un poco inferior que el año base al momento que entra en funcionamiento el sistema de climatización.

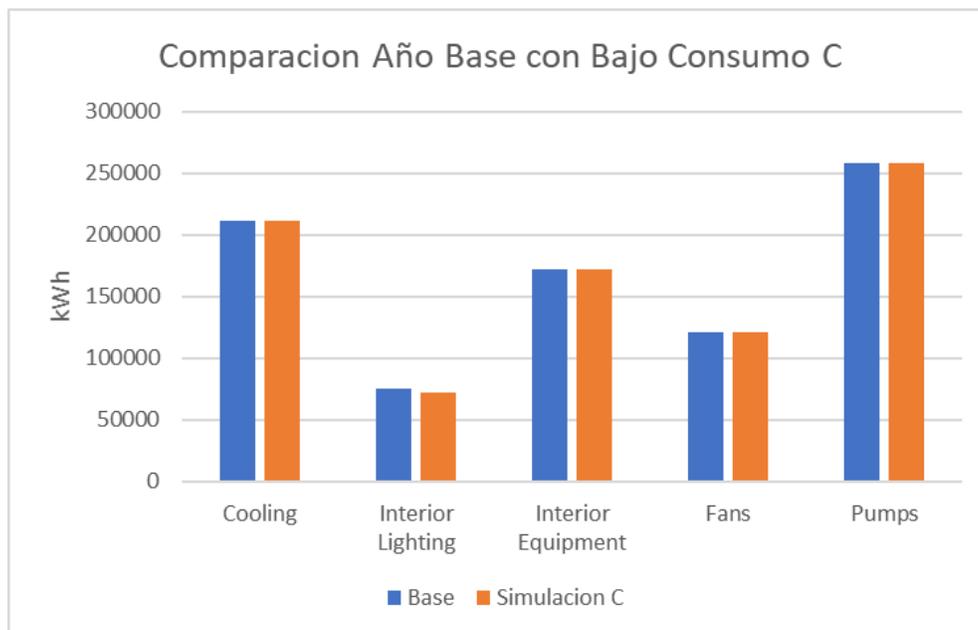
Con esta medida se estima un ahorro en dólares al año de **4,333.09 USD** (véase simulación de bajo consumo B).

Simulación de bajo consumo C (apagando luminarias después de la jornada laboral)

El consumo en luminarias representa en nuestro estudio el 8% en este caso analizaremos cuanto se puede ahorrar dándole un uso adecuado a la iluminación.

En la siguiente tabla se muestra la comparación del año base y simulación de bajo consumo C en el periodo de un año.

Simulación Base kWh		Simulación C kWh	Ahorro kWh
Cooling	211,607.25	211,427.11	180.14
Interior Lighting	74,983.58	72,042.06	2,941.52
Interior Equipment	171,523.83	171,523.83	0.00
Fans	120,521.94	120,521.94	0.00
Pumps	258,593.28	258,243.28	350.00
Total	837,229.88	833,758.22	3,471.66



Los resultados muestran una disminución en iluminación con la medida tomada en comparación con el año base, la reducción es de **2,941,52 kWh** al año y su equivalente en dólares es de **496.13 USD**.

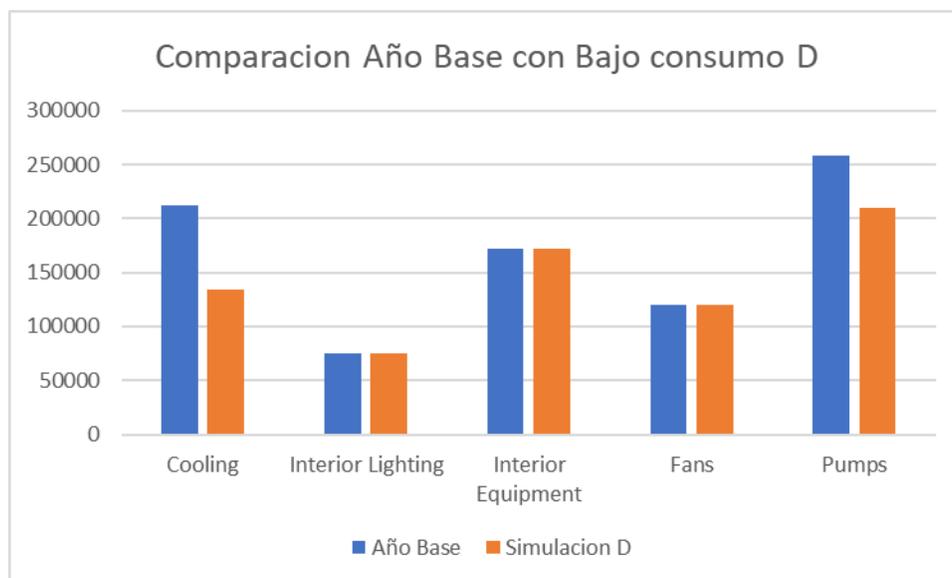
Simulación de bajo consumo D (Temperatura de termostato 24 grados Celsius)

El sistema de aire acondicionado representa casi el 75% del consumo eléctrico en este estudio, es por este motivo que cualquier mejora en el sistema puede representar un ahorro significativo.

En la toma de muestra de temperatura pudimos verificar temperaturas de 19 grados Celsius por este motivo se realizó esta simulación programando los termostatos a 24 grados en la siguiente tabla se muestra la comparación de resultados del año base con los resultados de la simulación a 24 grados

Simulación Base kWh	Simulación D kWh	Ahorro kWh
Cooling	211,607.25	77,877.61
Interior Lighting	74,983.58	0.00
Interior Equipment	171,523.83	0.00
Fans	120,521.94	0.00
Pumps	258,593.28	48,465.78
Total	837,229.88	126,343.39

Y cuya gráfica comparativa se muestra a continuación



Los resultados muestran que con esta medida se obtiene una disminución en consumo de enfriamiento y consumo en bombas, en enfriamiento el consumo se reduce en **77,877.61**

kWh al año y el consumo en bombas se reduce en **48,465.78 kWh** al año haciendo un total de **126,343.39 kWh** al año. Esto produciría un ahorro de **22,186.55 USD** al año.

En relación a la temperatura la simulación muestra que los recintos se mantendrán entre 25 y 26 Grados Celsius durante el tiempo que permanezca encendido el sistema de aire acondicionado (véase Resumen de simulación D).

Para finalizar el análisis se presenta a continuación una tabla resumen de reducción en energía y ahorro en dinero de cada una de las medidas a tomar y que se simularon en OpenStudio.

Simulación	kwh año	Reducción kwh	Ahorro \$ anual
Oasis (A)	797,172.55	40,057.33	\$ 5,724.78
Ups (B)	806,914.80	30,315.08	\$ 4,333.09
Luces (C)	833,758.22	3,471.66	\$ 496.13
Temperatura (D)	710,886.49	116,979.42	\$ 18,060.18
Total	3,148,732.06	190,823.49	\$ 28,614.19

Tabla de porcentajes de ahorro

	Energía Anual kWh	Ahorro kWh Anual	Porcentaje
Año base	837,229.89	0	0.00%
Bajo consumo A	797,172.60	40,057.29	4.78%
Bajo consumo B	806,914.81	30,315.08	3.62%
Bajo consumo C	833,758.22	3,471.67	0.41%
Bajo consumo D	710,886.50	126,343.39	15.09%
Bajo Consumo E	759,980.19	772,49.70	9.23%
	Total	277,437.13	33.14%

En esta tabla se muestra la energía consumida en el edificio en un año según las simulaciones en OpenStudio también muestra el ahorro que se obtendría aplicando las medidas individualmente y su porcentaje de ahorro en comparación con el año base

En la siguiente tabla se muestra los indicadores energéticos para cada una de las simulaciones realizadas en este estudio.

Tabla comparativa de indicadores de desempeño de todas las simulaciones

INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGETICO						
	Año base	Bajo consumo A	Bajo consumo B	Bajo consumo C	Bajo consumo D	Bajo consumo E
Intensidad de uso de la energía del edificio (IUEE) kWh/m ²	132.61	126.26	127.81	132.06	112.60	120.37
Intensidad de costo de la energía del edificio (ICEE) USD/m ²	24.77	23.87	24.09	24.70	21.91	23.07
Intensidad de la demanda eléctrica del edificio (IDEE) kW/m ²	70.96	68.78	72.98	73.19	64.32	70.96
Densidad de potencia eléctrica del alumbrado (DPEA) W/m ²	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74
Consumo específico de acondicionamiento ambiental (CEAA) kWh/m ² °C	3.34	3.22	3.33	3.90	2.63	3.34
Consumo energético específico ajustado por tasa de utilización (CEEAU) kWh/m ²	43.76	41.67	42.18	43.58	37.16	39.72
Intensidad energética de uso (IEU) kWh/personas	2093.07	1992.93	2017.29	2084.40	1777.22	1899.95
Intensidad de costo de la energía eléctrica por persona (ICEEP) USD/persona	391.04	376.73	380.21	389.80	345.89	364.12

Tabla de comparación con modelos de otros países

Intensidad de uso de la energía torre PGR	Intensidad de uso de la energía modelo Panamá (publicado en diario oficial la Gaceta)	Intensidad de uso de la energía modelo España (código técnico de la edificación CTE tabla 3.2b)	Norma mexicana Nom-008-ENER-2001
132.61 kW/m ²	162 kWh/ m2	120+9*C _{Fi} kW/m ² CFI = carga interna media W/m ²	Evalúa el edificio por su ganancia térmica

Capítulo 4

Conclusiones

- El mayor consumo de energía se encuentra en el sistema de climatización siendo este alrededor del 74.85% de la facturación.
- Mantener equipos conectados innecesarios a parte del consumo propio hay un consumo extra en el sistema de climatización debido a que todo equipo que este demandando una potencia eléctrica genera calor que el sistema de climatización tiene que extraer de los recintos.
- Al realizar la simulación base podemos observar que el consumo actual de energía es de 837,229.89kWh año en comparación al año 2019 que son 840,928.00kWh año nuestra simulación se apega a la facturación real obtenida en el 2019, por lo tanto los datos obtenidos son fiables, por lo que para el año 2022 tendríamos un costo de energía total de \$119,650.02 a esto sumándole el costo de potencia demandada que son \$36,766.31 obtenemos un total de \$156,416.34 estos valores serán la base para nuestros análisis posteriores para cada simulación de bajo consumo.
- En base a la simulación de bajo consumo A (Deshabilitando el agua caliente en oasis), podemos observar un ahorro de 40,057.33 kWh anuales por lo que en costos son \$5,724.78, esta medida no requiere ningún gasto adicional para ponerla en práctica y obtener el ahorro antes mencionado.
- Simulación de bajo consumo B (Desconectando de la red los ups de cada computadora cuando termine la jornada laboral), obtenemos un ahorro de energía anual de 30,315.08 kWh lo que en costos son \$4,333.09, tomar en cuenta que la acción de desconectar los ups no presenta un costo adicional, pero si una acción física de cada persona y concientizar que al realizar esa acción ayuda a un ahorro quedando a disposición de cada uno realizar esa acción o no.
- De la simulación de bajo consumo C (Apagando luminarias de oficinas después de la jornada laboral) concluimos que ahorro en consumo de energía es de 3,471.66 kWh que representan \$496.13 anuales, en comparación a los otros modelos el ahorro es bajo debido a que no se pueden reducir considerablemente el uso ya que la mayor parte de áreas necesitan la iluminación y debido a que solo representa el 8.43% del total del consumo eléctrico la reducción es mínima, no obstante ayuda a tener un uso eficiente del uso de energía, al igual que las otras acciones esta no presenta inversión económica pero si la concientización de cada persona que usa la

iluminación y que al observar que el área que no necesitan que este encendida la luminaria se apague.

- Para la simulación de bajo consumo D (Setup temperatura termostato interno 24°C), obtenemos que la reducción es de 126,343.39 kWh lo que en términos de ahorro económico es \$18,060.18 anual lo que es un ahorro significativo tomando en cuenta que el consumo de energía del equipo de climatización representa un 74.85% del consumo total de energía, para lo que para obtener estos resultados debemos considerar que se debe invertir en costos de reparación de manejadoras , electroválvulas y mantenimiento estos costos deben ser obtenidos de las ofertas de mantenimiento y reparación de quienes presten este tipo de servicios por lo que los costos pueden variar.
- Del diseño del sistema fotovoltaico podemos concluir que para obtener mejores tiempos de retornos de inversión necesitamos áreas mayores que las disponibles actualmente en las instalaciones por lo que la máxima capacidad a instalar actualmente es de 50.49 kWp con un costo total de instalación de \$74,407.50 + iva y su tiempo de retorno de inversión de 6.91 años, al realizar las mejoras anteriores de los modelos de bajo consumo de energía podría ayudar a compensar la inversión del sistema fotovoltaico para tener tiempos de ahorro menores.
- Conclusión final para el estudio de ahorro y eficiencia energética en el edificio de la procuraduría general de la república, San Salvador, los modelos de bajo consumo A, B y C son las mejoras factibles y próximas a realizar actualmente debido a que solo se necesitan acciones de cultura general y concientización para el uso eficiente de la energía obteniendo un total de 73,844.04 kWh al año equivalente a \$10,554.00 Dólares en ahorro en la facturación anual, se debe tomar en cuenta que los resultados obtenidos están basados en el consumo de energía de abril 2022 por lo que ampliaciones de infraestructura y equipos eléctricos a partir de esa fecha no están considerados. El modelo de bajo consumo D su ahorro es significativo pero debido a que su mejora depende de acciones que implican costos es una mejora a largo plazo que debe plantear la institución.

Recomendaciones

1. Se recomienda un levantamiento y estudio para verificar y redistribuir difusores del aire acondicionado esto es con el objetivo de que no queden salidas de aire acondicionado donde no se necesitan por ejemplo dentro de archivos u oficinas fuera de uso que tengan salida de aire pero que pase cerrado y para tomar en cuenta las modificaciones estructurales realizadas.
2. Se recomienda verificar que el flujo de aire en rejillas o difusores sea conforme a diseño.
3. Se recomienda ajustar los termostatos en recintos a 24° C.
4. Se recomienda mantener los oasis con el interruptor de agua caliente apagado.
5. Se recomienda apagar y desconectar Ups cuando se apague la computadora después de la jornada laboral.
6. Se recomienda realizar un estudio de iluminación en los diferentes recintos y si es necesario realizar un nuevo diseño de iluminación bajo normativas.
7. Se recomienda apagar las luces después de la jornada laboral tanto en área de oficinas como mantenimiento.
8. Se recomienda el diseño para un arrancador suave para el chiller ya que al no ser inverter su demanda de potencia es alta.
9. Crear un plan de mantenimiento de manejadoras y verificar su funcionamiento.

Bibliografía

- Uso de dranetz
- <https://www.dranetz.com/technical-support-request/manuals-guides-references/>
<https://www.dranetz.com/product/dran-view-7/>
- Software and guides
<https://www.sketchup.com/es>
- <https://openstudio.net/>
- <https://www.steren.com.sv/medidor-de-consumo-electrico-wattimetro.html>
- Indicadores de eficiencia energética
<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00332.pdf>
- Introduction to Building Simulation and EnergyPlus. Undergraduate Course Curriculum Information.
- Material preparado por: GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. All material Copyright 2002-2003 U.S.D.O.E.
- IEEE Std 739-1995, IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities (IEEE Bronze Book), American National Standard (ANSI).
- Building Technology Program. U.S Department of Energy.
<http://www1.eere.energy.gov/buildings/>
- Juan Pablo Cartagena (2012), “Eficiencia Energética en los Edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura”, San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- ASHRAE. 2007. ASHRAE Handbook – Fundamentals. Chapter 26, THERMAL AND WATER VAPOR TRANSMISSION DATA, Table 4 Typical Thermal Properties of Common Building and Insulating Materials—Design Values. Chapter 30, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, Table 19 Thermal Properties and Code Numbers of Layers Used in Wall and Roof Descriptions. Chapter 39 Physical Properties of Materials, Table 3 Properties of Solids. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. 2004. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE Standard 90.1-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE. 2004. Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE Standard 90.2-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2001). ASHRAE Standard 62.1-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Inc.

- GUÍA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICACIONES Y MEDIDAS PARA EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS EDIFICACIONES EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ. <https://www.gacetaoficial.gob.pa/Busqueda>

- Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181648/NOM_008_ENER_200_1.pdf
- Código Técnico de Energía (CTE) documento básico de ahorro de energía España DB-HE <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>
- SIGET tarifa eléctrica Los pliegos tarifarios del suministro de energía eléctrica al consumidor final, vigentes del 15 de abril al 14 de julio de 2022. <https://www.siget.gob.sv/gerencias/electricidad/tarifas-de-electricidad/tarifas-de-electricidad-ano-2022/>
- Tutoriales para el uso de openstudio <https://www.youtube.com/channel/UCgpPoRO8-OJB-RpIp3DAmqw>
<https://www.youtube.com/channel/UCoHSvVwv2bDMVbUDHP46NbQ>
<https://josepsolebonet.000webhostapp.com/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)-Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) Unidos por la Eficiencia (U4E, United for Efficiency). **iluminación energéticamente eficiente** <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/04/Lighting-Policy-Guide-Spanish-20180201.pdf>
- Presidencia de la Republica de El Salvador, Decreto Ejecutivo No 78, Política de ahorro y austeridad del sector público, San Salvador, 2012.
- Asamblea Legislativa, Decreto Legislativo No 868, Ley de Adquisiciones y contrataciones de la Administración Pública, San Salvador, 2000.
- Consejo Nacional de Energía. Política Nacional de Energía. República de El Salvador, 2012
- Asamblea Legislativa, Ley Orgánica de la Universidad de El Salvador, San Salvador
- Ministerio de Economía, Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética, Asamblea Legislativa de la Republica de El Salvador, 2014.
- Cartagena, Juan Pablo. Eficiencia energética en los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2012.
- Guía metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano; Ministerio de fomento; ISBN: 978-84-498-0914-9.
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Guía de implementación ISO 50001, 2da. Edición, Santiago, 2012.
- NTS ISO 50001:2011 “Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso, Organismo de Salvadoreño de Normalización, 2014.
- La implementación de la norma UNE EN ISO 50001 en edificios de uso administrativo, Máximo Lozano Jiménez, Adolfo Crespo Márquez, Universidad de Sevilla, España, 2013

- Alex Omar Argueta Hernández, Julio Alberto Calderón Hernández, Propuesta de una normativa para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en el
- campus central de la Universidad de El Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2014.
- Acuerdo Junta directiva FIA JF-084-2009, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2 de diciembre de 2009.
- Acuerdo Junta directiva FIA JF-026-2013, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 17 de mayo de 2013.
- Acuerdo CSU 095-2009-2011-E (VI-1) Política ahorro energético, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 20 de diciembre de 2011.