

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



**ANÁLISIS ENERGÉTICO CON ÉNFASIS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS
CENTROS URBANOS DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES, CUBO: ESTUDIO DE
CASO MEJICANOS, SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

RODRIGO ALBERTO CUEVA VILAFRANCO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2024

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ 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

**ANÁLISIS ENERGÉTICO CON ÉNFASIS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS
CENTROS URBANOS DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES, CUBO: ESTUDIO DE
CASO MEJICANOS, SAN SALVADOR**

PRESENTADO POR:

RODRIGO ALBERTO CUEVA VILAFRANCO

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JÍMENEZ

SAN SALVADOR, ABRIL 2024

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JÍMENEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 18 de abril de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 2:00 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


Firma



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

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


- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ
(Docente Asesor)


Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ


Firma

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ANÁLISIS ENERGÉTICO CON ÉNFASIS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS CENTROS URBANOS DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES, CUBO: ESTUDIO DE CASO MEJICANOS, SAN SALVADOR

A cargo del Bachiller:

- CUEVA VILLAFRANCO RODRIGO ALBERTO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.8

(Nueve punto ocho)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar gracias a Dios por la vida, la sabiduría y las personas que puso en mi camino para permitirme culminar mi carrera universitaria.

Agradezco con todo mi corazón a mi madre Zonia Villafranco, por ser todo para mí, mi luz, mi guía, mi motivación y mi soporte, quien siempre estuvo para darme palabras de aliento cuando las cosas no estaban saliendo bien, por creer en mí aun cuando ni yo mismo me sentía capaz, por demostrarme que a pesar de las dificultades siempre debo tener fe y no temer, por sus oraciones, porque cada noche que volví triste de la universidad le pedía a Dios que me guiara y me diera la fuerza y sabiduría para recuperarme, la mujer más valiente que conozco, a quien más admiro, mi ejemplo a seguir, la principal dueña de este logro, gracias por todo el cariño y apoyo durante esta aventura.

A mis hermanos, que cada uno a su manera siempre contribuyó y me apoyó en todo:

Irene Cueva, quien a pesar de la lejanía siempre estuvo presente económicamente para que mi hermana y yo pudiéramos seguir estudiando. Gracias por el apoyo, por tomar cargos que no te correspondían y hacerlo sin esperar nada a cambio. Un abrazo a la distancia, mi hermanita, mi segunda madre.

Marco Antonio Cueva, siempre que pudo me apoyó, me motivó a seguir, tomó el rol de padre, veló porque siempre tuviera algo que comer, buscó lo mejor para mi hermana y para mí, aunque eso significara limitarse a sí mismo. Te agradezco por todo.

Alejandra Cueva, desde niños fuimos súper unidos, su historia y la mía no son tan diferentes, nos convertimos en profesionales a pesar de todas las dificultades. Te agradezco por estar conmigo siempre, por nunca dejar que me rindiera, fuimos soporte el uno del otro, afrontamos tantas cosas juntos, gracias por demostrarme que todo es posible.

Agradezco a mi docente asesor Dr. Carlos Osmín Pocasangre, por toda su paciencia, motivación y apoyo durante la elaboración de este trabajo de graduación.

Rodrigo Villafranco

CONTENIDO

| | | |
|------|--|----|
| I. | LISTA DE FIGURAS | 1 |
| | Figuras capítulo I. | 1 |
| | Figuras capítulo II. | 1 |
| | Figuras capítulo III. | 2 |
| | Figuras capítulo IV. | 3 |
| II. | LISTA DE GRAFICOS..... | 5 |
| | Gráficos capítulo I..... | 5 |
| | Gráficos capítulo IV. | 5 |
| III. | LISTA DE TABLAS | 6 |
| | Tablas capítulo I..... | 6 |
| | Tablas capítulo II..... | 6 |
| | Tablas capítulo IV. | 6 |
| IV. | DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS | 8 |
| | Definiciones..... | 8 |
| | Abreviaturas y acrónimos. | 10 |
| | INTRODUCCION..... | 11 |
| | OBJETIVOS..... | 12 |
| | Objetivo general:..... | 12 |
| | Objetivos específicos:..... | 12 |
| | ALCANCES: | 13 |
| | CAPITULO I: EFICIENCIA ENERGETICA..... | 14 |
| | ¿Qué es la eficiencia energética?..... | 14 |
| | La importancia de la eficiencia energética..... | 15 |
| | Eficiencia energética en El Salvador..... | 16 |
| | Eficiencia energética en edificios. | 21 |
| | La eficiencia energética en el diseño, construcción y la ambientación de un edificio. | 22 |
| | Auditoría energética..... | 26 |
| | Auditoría energética en edificios existentes..... | 27 |
| | Metodología básica para auditoría energética. | 27 |

| | |
|--|----|
| Metodología general para análisis de eficiencia energética..... | 30 |
| Línea base..... | 30 |
| Identificación del edificio..... | 30 |
| Solicitud de información..... | 31 |
| Inspección visual..... | 31 |
| Modelo base de consumo de energía..... | 33 |
| Modelo de bajo consumo de energía..... | 33 |
| Análisis y evaluación de los modelos..... | 34 |
| Análisis económico..... | 34 |
| Implementación y seguimiento..... | 34 |
| Normativas de eficiencia energética, norma ISO 50001:2011 | 35 |
| Antecedentes de la norma ISO 50001..... | 35 |
| La norma ISO 50001..... | 35 |
| Estructura de la norma ISO 50001..... | 36 |
| Requerimientos de la norma ISO 50001..... | 37 |
| Beneficios de la norma..... | 39 |
| CAPITULO II: LA SIMULACION Y PROGRAMAS DE SIMULACION EN EDIFICIOS..... | 39 |
| La simulación..... | 39 |
| La simulación térmica de edificios..... | 39 |
| Objetivo de la simulación térmica de edificios..... | 40 |
| Análisis de energía por medio de programas de simulación..... | 40 |
| La simulación como herramienta de ahorro de energía..... | 40 |
| Principales programas de simulación..... | 41 |
| Programas a utilizar..... | 42 |
| Descarga e instalación de los programas..... | 43 |
| SketchUp..... | 43 |
| Entorno de trabajo de SketchUp..... | 45 |
| OpenStudio..... | 47 |
| Entorno de trabajo del Plug-in de OpenStudio..... | 50 |
| OpenStudio Application..... | 54 |
| EnergyPlus..... | 55 |

| | |
|--|-----|
| Entorno de trabajo de EnergyPlus..... | 57 |
| CAPITULO III: LEVANTAMIENTO ARQUITECTONICO | 59 |
| Creación de modelo en Sketchup. | 60 |
| OpenStudio..... | 67 |
| CAPITULO IV: SIMULACION Y ANALISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA DEL CUBO MEJICANOS..... | 77 |
| Implementación de la metodología general para análisis de eficiencia energética en el CUBO Mejicanos. | 77 |
| Solicitud de información del CUBO Mejicanos. | 77 |
| Inspección visual del CUBO Mejicanos..... | 77 |
| Condiciones del edificio..... | 78 |
| Cargas por iluminación. | 78 |
| Cargas por equipos eléctricos..... | 79 |
| Personal por área. | 80 |
| Resumen cargas eléctricas y térmicas por cada espacio declarado..... | 80 |
| Equipos HVAC. | 81 |
| Modelo de línea base de consumo de energía del CUBO Mejicanos. | 82 |
| Consumo de energía simulado para el CUBO..... | 83 |
| Consumo de energía real y demanda de potencia del CUBO. | 86 |
| Validación de resultados: Consumo de energía eléctrica real vs datos de simulación..... | 89 |
| Indicadores de desempeño energético modelo base del CUBO. | 90 |
| Modelo de bajo consumo de energía del CUBO Mejicanos. | 94 |
| Implementación de medidas modelo de bajo consumo. | 95 |
| Resultados de simulación: Modelo de bajo consumo..... | 101 |
| Indicadores de desempeño energético modelo de bajo consumo del CUBO..... | 103 |
| Comparativa resultados de simulación: Modelo línea base vs modelo de bajo consumo..... | 107 |
| La norma ISO 50001 en el cubo de mejicanos. | 111 |
| Medidas de ahorro energético. | 111 |
| Plan de acción para la gestión energética. | 112 |
| Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico en el CUBO Mejicanos. | 113 |
| Dimensionamiento del sistema fotovoltaico. | 113 |
| Implementación de sistema fotovoltaico para simulación del modelo de bajo consumo. | 119 |

| | |
|--|-----|
| CAPITULO V: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES..... | 123 |
| Conclusiones..... | 123 |
| Recomendaciones | 125 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 126 |
| ANEXOS | 129 |
| Anexo A: Visita al CUBO Mejicanos..... | 129 |
| Anexo B: Visita al CUBO IVU..... | 135 |
| Anexo C: Campaña de concientización para un ahorro energético..... | 139 |
| Anexo D: Fichas técnicas de los equipos..... | 143 |

I. LISTA DE FIGURAS

Figuras capítulo I.

Figura 1.1: Proceso de análisis y evaluación de Eficiencia Energética en diseño de edificaciones; también es válida para otro tipo de construcción.

Figura 1.2: Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (ETICS).

Figura 1.3: Sistema de Doble Vidriado Hermético (DVH).

Figura 1.4: Diagrama de bloque que representa la metodología básica de estudio de EE propuesto por el Consejo Nacional de Energía.

Figura 1.5: Diagrama de bloque que representa una metodología más compuesta y detallada.

Figura 1.6: Esquema de mejora continua en la ISO 50001.

Figura 1.7: Ciclo de mejora continua.

Figura 1.8: Actividades medulares.

Figuras capítulo II.

Figura 2.1: Modelo tridimensional de un edificio.

Figura 2.2: Diagrama de flujo de cómo trabajan los programas a utilizar.

Figura 2.3: Interfaz de página web y selección de versión de SketchUp a instalar.

Figura 2.4: Instalación de la versión de SketchUp Pro 2023 para Windows 64Bit en español.

Figura 2.5: Pantalla inicial y ventana de selección de plantilla.

Figura 2.6: Interfaz de usuario y herramientas de trabajo de SketchUp.

Figura 2.7: Ejes de trabajo en SketchUp.

Figura 2.8: Interfaz de página web de OpenStudio.

Figura 2.9: Selección y descarga de versión de archivo a instalar de OpenStudio.

Figura 2.10: Compatibilidad entre versiones de SketchUp y OpenStudio.

Figura 2.11: Interfaz de usuario de SketchUp con el Plug-in de OpenStudio instalado.

Figura 2.12: Extensión de OpenStudio.

Figura 2.13: Extensión de OpenStudio User Scripts.

Figura 2.14: Barra de Herramientas de OpenStudio.

Figura 2.15: Interfaz de usuario de OpenStudio Application donde se encuentra: 1) Barra de herramientas, 2) Categorías y 3) Detalles y elementos de cada categoría.

Figura 2.16: Interfaz de página web de EnergyPlus.

Figura 2.17: Descarga de archivos meteorológicos para la región de análisis (El Salvador).

Figura 2.18: Ventana principal de EP-Launch donde se encuentra: 1) Selección de archivo IDF de entrada para iniciar la simulación, 2) Editor de texto, 3) Editor del archivo IDF, 4) Selección del archivo de zona climática, 5) Archivos de resultados y 6) Iniciar simulación.

Figuras capítulo III.

Figura 3.1: Vista desde el exterior del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en Mejicanos.

Figura 3.2: Proceso de medición del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO).

Figura 3.3: Selección de plantilla.

Figura 3.4: Creación del nuevo espacio.

Figura 3.5: Líneas de división hechas con la herramienta lápiz.

Figura 3.6: Introducción del número de pisos y altura del techo.

Figura 3.7: Ventana emergente de Surface Matching.

Figura 3.8: Puertas y ventanas creadas.

Figura 3.9: Creación de Sombras.

Figura 3.10: Asignación de nombres y espacios.

Figura 3.11: Definición de localización del modelo manualmente.

Figura 3.12: Introducción de valores de altitud y latitud de la ubicación del edificio.

Figura 3.13: Información general e introducción del archivo de clima de la zona de interés.

Figura 3.14: Creación de horarios de trabajo tanto para personal como equipos eléctricos.

Figura 3.15: Tipos de materiales de los que estará hecha la construcción del edificio.

Figura 3.16: Visualización del CUBO por medio del renderizado por construcción.

Figura 3.17: Creación de cargas de personas, equipos y luminarias.

Figura 3.18: Tipos de Espacios que hay en el edificio.

Figura 3.19: Visualización del CUBO por medio del renderizado por tipo de espacio.

Figura 3.20: Visualización de la geometría del edificio creado en SketchUp.

Figura 3.21: Visualización de las sombras influyentes en las instalaciones.

Figura 3.22: Visualización del CUBO por medio del renderizado por nivel de piso.

Figura 3.23: Tipos de espacios del CUBO.

Figura 3.24: introducción de las zonas térmicas.

Figura 3.25: Visualización del CUBO por medio del renderizado por zona térmica.

Figura 3.26: Introducción de los sistemas HVAC del edificio.

Figura 3.27: Selección de variables de interés.

Figura 3.28: Introducción de ajustes para la simulación.

Figura 3.29: Simulación del CUBO de Mejicanos en proceso.

Figura 3.30: Resultados de Simulación anual generados con el motor OpenStudio Results.

Figuras capítulo IV.

Figura 4.1: Tipos de montaje de luminarias.

Figura 4.2: Modelo final del CUBO para estudio energético.

Figura 4.3: Error por falta de datos en archivo meteorológico (ILOPANGO/S. SALVADOR).

Figura 4.4: Resultados de lecturas realizadas el 13 de enero de 2023. Tomado de “ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO)”.

Figura 4.5: Resultados de lecturas realizadas el 13 de febrero de 2023. Tomado de “ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO)”.

Figura 4.6: Clasificación de edificios en relación a la emisión de CO₂ por metro cuadrado.

Figura 4.7: Pliego tarifario vigente a partir de enero 2023.

Figura 4.8: Modificación al horario de las computadoras del CC.

Figura 4.9: Horario de las computadoras del CC modificado más desconexión de UPS al final de la jornada laboral.

Figura 4.10: Modificación al horario de uso de luminarias del área de infantes.

Figura 4.11: Modificación al horario de uso del oasis.

Figura 4.12: Modificación al horario de los A/C del CC y salón de usos múltiples.

Figura 4.13: Temperaturas de confort para el salvador según la ASHRAE Std. 55.

Figura 4.14: Modificación de la temperatura de los termostatos del CUBO.

Figura 4.14: Temperatura del centro de cómputo en diferentes horas para cada día del modelo base (20 °C) generada partir del software DesignBuilder.

Figura 4.15: Temperatura del salón de usos múltiples en diferentes horas para cada día del modelo base (20 °C) generada partir del software DesignBuilder.

Figura 4.16: Modificación de la temperatura de los termostatos del CUBO a 24 °C .

Figura 4.17: Temperatura del centro de cómputo en diferentes horas para cada día del modelo bajo consumo (24 °C) generada partir del software DesignBuilder.

Figura 4.18: Temperatura del salón de usos múltiples en diferentes horas para cada día del modelo de bajo consumo (24 °C) generado a partir del software DesignBuilder.

Figura 4.19: Clasificación de edificios en relación a la emisión de CO₂ por metro cuadrado.

Figura 4.20: Pliego tarifario vigente a partir de enero 2023.

Figura 4.21: Características eléctricas del MFV monocristalino de Canadian Solar CS6W-550MS.

Figura 4.22: Características de temperatura para el MFV.

Figura 4.23: Características del inversor KSTAR modelo BluE-G 5000D.

Figura 4.24: representación de los datos para el cálculo de distancia entre MFV.

Figura 4.25: dimensiones del MFV a utilizar (2278x1134x30) mm.

Figura 4.26: Vista sureste del CUBO Mejicanos con sistema fotovoltaico instalado.

Figura 4.27: Vista noroeste del CUBO Mejicanos con sistema fotovoltaico instalado.

Figura 4.28: Total de energía generada por el SFV del CUBO para el año 2023.

II. LISTA DE GRAFICOS

Gráficos capítulo I.

Gráfico 1.1: Promedio histórico del suministro de energía primaria en El Salvador.

Gráfico 1.2: Principales entidades públicas que consumen energía eléctrica en los edificios que ocupan.

Gráfico 1.3: Resultados sobre el consumo energético diario de la implementación de medidas de EE en dos edificios públicos de El Salvador.

Gráfico 1.4: Distribución del consumo de energía eléctrica del sector público.

Gráfico 1.5: Periodo de recuperación de la inversión por tipo de proyecto.

Gráficos capítulo IV.

Gráfico 4.1: Consumo eléctrico en kWh mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.2: Demanda de potencia en kW mensual simulada para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.3: Distribución de consumo eléctrico en kWh anual simulado para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.4: Consumo de energía real estimado para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.5: Consumo de energía real estimado vs simulado para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.6: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo para el año 2023.

Gráfico 4.7: Distribución de consumo eléctrico en kWh anual del modelo de bajo consumo para el año 2023 del CUBO.

Gráfico 4.8: Consumo de energía y demanda de potencia para modelo de línea base año 2023.

Gráfico 4.9: Consumo de energía y demanda de potencia para modelo de bajo consumo año 2023.

Gráfico 4.10: Consumo de energía mensual del modelo de línea base vs modelo de bajo consumo para el año 2023 del CUBO.

III. LISTA DE TABLAS

Tablas capítulo I.

Tabla 1.1: Demanda de energía primaria a nivel mundial por tipo de combustible en el Escenario de Referencia. Fuente: IEA, 2009

Tabla 1.2: Proyectos realizados en el marco del EEPB.

Tabla 1.3: Plan de inversiones del proyecto eficiencia energética en edificios públicos

Tablas capítulo II.

Tabla 2.1: Programas de carga térmica y análisis de energía.

Tablas capítulo IV.

Tabla 4.1: Tipos de luminarias.

Tabla 4.2: Equipo eléctrico en el CUBO según ubicación.

Tabla 4.3. Tipo de actividad de las personas en distintos recintos del edificio en [W/persona].

Tabla 4.4: Cargas eléctricas y térmicas por espacios del nivel 1.

Tabla 4.5: Cargas eléctricas y térmicas por espacios del nivel 2.

Tabla 4.6: Sistemas HVAC instalados en el CUBO según ubicación.

Tabla 4.7: Consumo eléctrico en kWh mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

Tabla 4.8: Demanda de potencia en kW mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

Tabla 4.9: Resumen de resultados de lecturas de enero y febrero de 2023.

Tabla 4.10: Consumo de energía real estimado para el año 2023 en el CUBO de Mejicanos.

Tabla 4.11: Porcentaje de error mensual y anual del consumo de energía real estimado vs simulado para el año 2023 del CUBO.

Tabla 4.12: Costos de consumo de energía modelo base 2023 CUBO Mejicanos.

Tabla 4.13: Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo base 2023 CUBO Mejicanos.

Tabla 4.14: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo para el año 2023.

Tabla 4.15: Costos de consumo de energía modelo de bajo consumo 2023 CUBO Mejicanos.

Tabla 4.16: Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo de bajo consumo 2023 CUBO Mejicanos.

Tabla 4.17: Reducción del consumo de energía eléctrica para el año 2023.

Tabla 4.18: Reducción de costos de facturación para el año 2023.

Tabla 4.19: Comparación de indicadores energéticos para cada modelo.

Tabla 4.20: Resultados de evaluación para un MFV según temperaturas.

Tabla 4.21: Costo total de la implementación del sistema de generación fotovoltaica propuesto.

Tabla 4.22: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo + sistema fotovoltaico para el año 2023.

Tabla 4.23: Costos de consumo de energía, modelo de bajo consumo + instalación de sistema fotovoltaico para el 2023, CUBO Mejicanos.

IV. 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.

Cámara aislante: Espacio considerado como adiabático para ayudar a reducir la transferencia de calor de áreas de altas temperaturas a áreas de bajas temperaturas.

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.

Coefficiente de desempeño (COP): Se calcula como la relación de la capacidad de enfriamiento en Watts entre la potencia eléctrica de entrada o consumida en Watts y es igual a $EER/3.412$ o $EER \times 0.2931$.

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.

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.

Energía renovable: es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Iluminancia (E): es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en [Lux], de manera que $[1\text{Lux} = 1 \text{Lumen}/\text{m}^2]$.

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.

CUBO: Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades.

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.

BTU: British thermal unit (Unidad Térmica Británica).

C: Celsius.

ISO: International Standard Organization.

DELSUR: Distribuidora Eléctrica del Sur.

IDEn: Indicadores de Desempeño Energético.

EGEn: Equipo de Gestión Energética.

SGEn: Sistema de Gestión Energético.

UES: Universidad de El Salvador.

INTRODUCCION

A lo largo de los años hasta hoy en día, El Salvador fue testigo de diversos acontecimientos los cuales influyeron en su desarrollo y el actual estado económico, político y social. En 2006, El Salvador enfrentó una crisis energética debido a la escasez de petróleo y al aumento de los precios internacionales del combustible. Esta crisis sirvió como un punto de inflexión en la conciencia pública sobre la necesidad de adoptar medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. A partir de esto, en El Salvador se han implementado varios proyectos de energía renovable, como parques eólicos y plantas solares fotovoltaicas en búsqueda de una transición hacia fuentes de energía sostenibles. Gracias a que diferentes organizaciones han desarrollado programas de eficiencia energética en el pasado, es posible analizar su impacto y aprender de sus éxitos y desafíos para desarrollar un nuevo proyecto más efectivo. La preocupación por la eficiencia energética en El Salvador ha ido adquiriendo importancia a lo largo de las últimas décadas, como respuesta a los desafíos relacionados con el consumo de energía, la seguridad energética y la sostenibilidad ambiental. El crecimiento acelerado de los centros urbanos y la concentración de población en áreas urbanas plantean desafíos significativos en términos de consumo de energía y sostenibilidad ambiental. Evaluar el consumo y desarrollar soluciones que permitan mejorar la eficiencia energética en edificaciones y espacios públicos, como los Centros Urbanos de Bienestar y Oportunidades (CUBO) es una estrategia para promover la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias y eficientes, sirviendo como base para futuros proyectos de eficiencia energética en otros centros urbanos y edificaciones públicas similares, lo que resultará en un desarrollo urbano más eficiente y sostenible en el tiempo.

La eficiencia energética (EE) es una actividad que tiene por objeto mejorar el uso de la energía en todas sus formas, a fin de obtener productos y servicios destinados a lograr beneficios sociales, económicos y ambientales. De hecho, se calcula que en los hogares salvadoreños se podría ahorrar unos 300 \$ al año con simples cambios en las costumbres de consumo y mejoras en los sistemas, aumentando su eficiencia. Esto supondría una reducción del 27% en la factura de gas y electricidad. Optimizar nuestro uso energético nos permite consumir menos, y si además optamos por fuentes de energía renovables y el autoconsumo, este ahorro se verá incrementado. Además, llevando a cabo medidas como la mejora del aislamiento, los sistemas o el cambio de electrodomésticos, logramos aumentar el valor del inmueble. En este trabajo se presenta el análisis energético y la evaluación de la eficiencia energética en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en el municipio de Mejicanos, San Salvador, con el fin de obtener un ahorro en la facturación y evaluar la posibilidad de transiciones hacia fuentes más limpias y renovables.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Analizar la eficiencia energética en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades CUBO: Estudio de caso Mejicanos, San Salvador.

Objetivos específicos:

- Aplicar las metodologías disponibles para evaluar la eficiencia energética dentro de las instalaciones del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO).
- Evaluar los consumos de energía generados por las cargas de equipos de oficina, luminarias, aires acondicionados y analizarlos para proponer un modelo de bajo consumo y conseguir una mejora en la eficiencia energética y ahorros en la facturación.
- Utilizar herramientas de simulación de energía tales como el software EnergyPlus para determinar la carga térmica y el consumo de energía en un edificio del centro de estudio.
- Organizar los resultados para diseñar un plan de acción que incluya recomendaciones y prácticas energéticas más eficientes.
- Proponer un plan de gestión energética aprovechando las oportunidades de ahorro dentro de los inmuebles del centro de estudio basado en la norma ISO 50001.

ALCANCES:

- Generar un modelo de línea base del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) y estudiar los resultados para crear un modelo de bajo consumo.
- Determinar el consumo de energía para proponer medidas de mejora de la eficiencia energética en los inmuebles del centro de estudio.
- Identificar los recursos energéticos disponibles en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades para evaluar alternativas de eficiencia y la posibilidad de transiciones hacia fuentes más limpias y renovables.

CAPITULO I: EFICIENCIA ENERGETICA

Se conoce como ahorro de energía a la reducción de consumo energético, consiguiendo las mismas prestaciones. Disminuir el gasto de energía representa muchos beneficios, tanto económicos como ambientales. Para implementar proyectos de ahorro energético, es necesario conocer las definiciones y conceptos de aquello que nos permite conseguir este ahorro.

¿Qué es la eficiencia energética?

Eficiencia energética (EE) es la capacidad de consumir una menor cantidad de energía a la hora de transformarla en calor, iluminación y demás servicios.

Consiste en optimizar el consumo de energía sin limitar ningún servicio energético que pueda afectar el confort o la calidad de vida. Es una estrategia que se basa en seleccionar equipos que consumen menos energía y generen iguales o mejores resultados. Por ejemplo, la instalación de una lámpara fluorescente compacta puede representar dos tercios menos de consumo de energía que las lámparas incandescentes, entregando el mismo nivel de iluminación.

Venezuela (2007): El reemplazo de 50 millones de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas dio como resultado la reducción de 1,400 MW. **Después de 4 años, la demanda aumento en la misma cantidad.**

“La eficiencia energética es el uso de la tecnología que requiere menos energía para realizar la misma función. Una bombilla fluorescente compacta que utiliza menos energía que una bombilla incandescente para producir la misma cantidad de luz es un ejemplo de eficiencia energética. Sin embargo, la decisión de sustituir una bombilla incandescente con una fluorescente compacta es un acto de conservación de la energía”

Referencia: ELA-U.S. Energy Information Administration. Organismo de estadística y de análisis en el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Desde el punto de vista matemático, podemos definir a la eficiencia energética como el cociente entre la energía requerida para desarrollar una actividad específica y la cantidad de energía primaria usada para el proceso.

$$Eficiencia\ energetica\ (EE) = \frac{Energia\ Utilizada}{Energia\ Requerida}$$

La importancia de la eficiencia energética.

Gran parte de la actividad humana y su constante desarrollo es gracias a la energía, que es la principal fuente de bienestar; sin embargo, es una de las principales causantes de problemas medioambientales para el planeta.

En la actualidad, las fuentes de generación de energía más utilizadas en el mundo provienen de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas). Dichos combustibles fósiles son una reserva agotable y limitada debido a la dependencia que crean hacia los países que cuentan con ellas. Esto genera la necesidad de intervenir en el modelo energético existente y en las fuentes de energía, buscando implementar cada vez más fuentes renovables como respuesta a los desafíos relacionados con el consumo de energía, la seguridad energética y la sostenibilidad ambiental.

| | 1980 | 2000 | 2007 | 2015 | 2030 | 2007-2030* |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Carbón | 1792 | 2292 | 3184 | 3828 | 4887 | 1.9% |
| Petróleo | 3107 | 3655 | 4093 | 4234 | 5009 | 0.9% |
| Gas | 1234 | 2085 | 2512 | 2801 | 3561 | 1.5% |
| Nuclear | 186 | 676 | 709 | 810 | 956 | 1.3% |
| Hidro | 148 | 225 | 265 | 317 | 402 | 1.8% |
| Biomasa y Desechos | 749 | 1031 | 1176 | 1338 | 1604 | 1.4% |
| Otras Renovables | 12 | 55 | 74 | 160 | 370 | 7.2% |
| Total | 7228 | 10019 | 12013 | 13488 | 16789 | 1.5% |

Tabla 1.1: Demanda de energía primaria a nivel mundial por tipo de combustible en el Escenario de Referencia. Fuente: IEA, 2009.

Desde el punto de vista ambiental, el ahorro de energía contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y atenúa los efectos del cambio climático. Además, el ahorro de energía permite diferir inversiones energéticas, posibilita una oferta más eficiente, y reduce la dependencia de los combustibles fósiles y la presión sobre nuevos proyectos de generación. Asimismo, se logra una mejor planificación y diversificación de la matriz energética.

“La eficiencia energética es clave tanto para el desarrollo sostenible de un país, como para cumplir con los compromisos en materia de cambio climático. La Agencia Internacional de Energía estima que, a nivel global, alrededor del 50 por ciento de la reducción de emisiones de gases efecto invernadero en el sector energía para 2050 debe alcanzarse a través de mejoras en eficiencia energética. Esto es fundamental para no superar la temperatura media del planeta por encima de los dos grados centígrados, que es el límite que los científicos consideran a partir del cual el cambio climático se volvería irreversible.”

Eficiencia energética en El Salvador.

La eficiencia energética en El Salvador juega un papel importante para la economía y el bienestar social de todos los sectores del país. Uno de los beneficios directos de implementar medidas orientadas al uso eficiente de la energía es la reducción de costos, que, en el caso de las familias de escasos recursos, representa un componente importante en sus gastos. Asimismo, vuelve más competitivos y rentables a la industria, el comercio y contribuye a la reducción de gastos en el sector público. La eficiencia en el uso de la energía es el componente fundamental del ahorro energético, dado la limitada oferta de recursos energéticos primarios con la que el país cuenta y la fuerte dependencia de los derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica y el transporte.

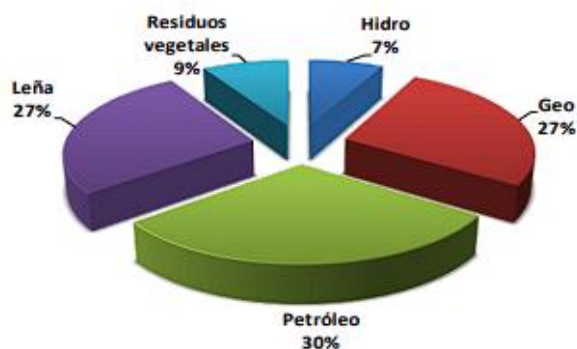


Gráfico 1.1: Promedio histórico del suministro de energía primaria en El Salvador.

El concepto de Eficiencia Energética (EE) no se encontraba significativamente desarrollado en la gestión pública salvadoreña, hasta la creación en el año 2007 del CNE, institución que, desde su primer documento de política y plan de trabajo elaborado el mismo año de su creación, reconoce el potencial de las medidas de conservación de energía y de EE para contribuir a los objetivos de la Política Nacional de Energía y a las reducciones de GEI.

El crecimiento acelerado de los centros urbanos y la concentración de población en áreas urbanas del país plantean desafíos significativos en términos de consumo de energía. Es por esto que implementar un cambio en el modelo energético en viviendas, industrias, edificios, en general, se vuelve una necesidad.

Según estudios preliminares, el sector público representa el 12% de la demanda total de energía eléctrica en el país. De esto, aproximadamente el 70% de la energía del gobierno se consume de la siguiente forma: el Instituto Salvadoreño del Seguro Social (20%), Ministerio de Educación (19%), Ministerio de Salud (18%) y el Ministerio de Justicia y Seguridad (12%).

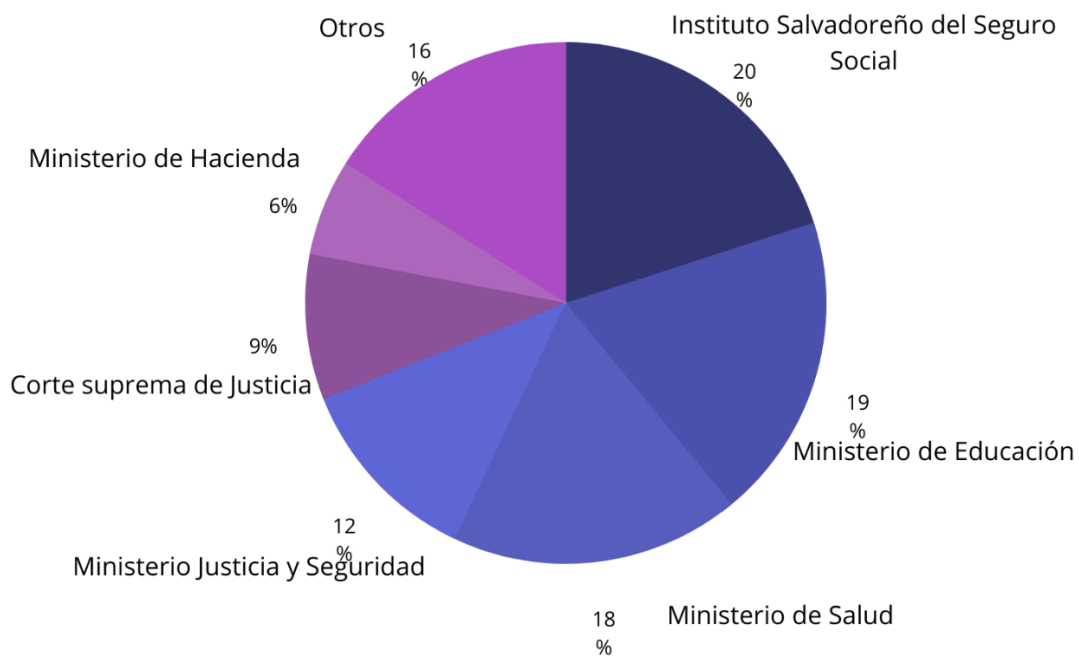


Gráfico 1.2: Principales entidades públicas que consumen energía eléctrica en los edificios que ocupan.

Con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la generación de electricidad a base de energía fósil en El Salvador, desde el 2010 el Consejo Nacional de Energía (CNE) con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), llevaron a cabo el “Proyecto de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (EEPB)”.

Previo al diseño y conceptualización del proyecto EEPB, se compilaron datos mensuales de facturación del consumo de energía eléctrica en las instituciones del gobierno central durante los

meses de enero 2009 a marzo 2010. Esto reveló que el 30% del consumo público de electricidad corresponde a las operaciones de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (aproximadamente 560 GWh) y permitió desarrollar un ensayo de eficiencia energética en dos edificios (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Defensoría del Consumidor), que permitieron comparar el cambio en el consumo luego de la implementación del proyecto.

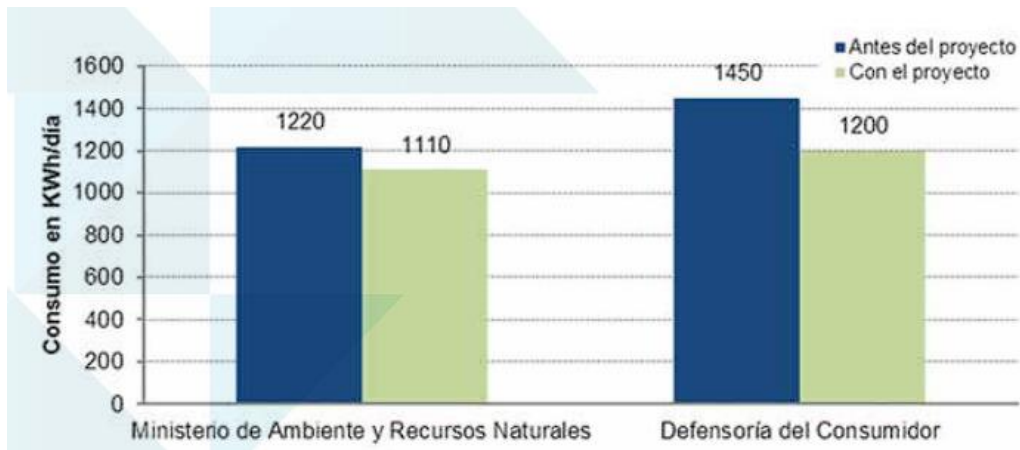


Gráfico 1.3: Resultados sobre el consumo energético diario de la implementación de medidas de EE en dos edificios públicos de El Salvador.

Para evaluar diversos proyectos técnica y económicamente viables respecto a inversiones en eficiencia energética, en colaboración con el Ministerio de Salud, se desarrollaron “Diagnósticos Energéticos Especializados” en 10 hospitales de la red pública, para caracterizar el consumo de energía e identificar las mejores oportunidades de ahorro energético y económico.

Se implementaron los siguientes mecanismos para determinar las condiciones energéticas:

- Mediciones de parámetros eléctricos, por medio de un analizador de red, con el que se obtiene la energía, factor de potencia y análisis de armónicos.
- Medición de eficiencia de Aires Acondicionados, por medio de un anemómetro que mide la velocidad, temperatura y humedad relativa del aire.
- Mediciones de pérdidas en sistemas de distribución de vapor, por medio de termografía.
- Medición de niveles de iluminación, por medio de luxómetros con los que se determina la cantidad de luz en cada uno de los espacios.

Gracias a los estudios realizados en el marco del proyecto, se determinó cuáles son aquellas áreas de mayor consumo en el sector y a su vez definir estrategias adecuadas para reducir el consumo energético en las mismas.

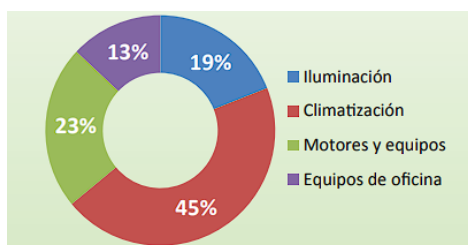


Gráfico 1.4: Distribución del consumo de energía eléctrica del sector público.

Se identificaron oportunidades de ahorro en los sistemas de iluminación, en sistemas de aire acondicionado, calderas, motores y sistemas de bombeo que en total constituyen un 23% de reducción en el consumo energético.

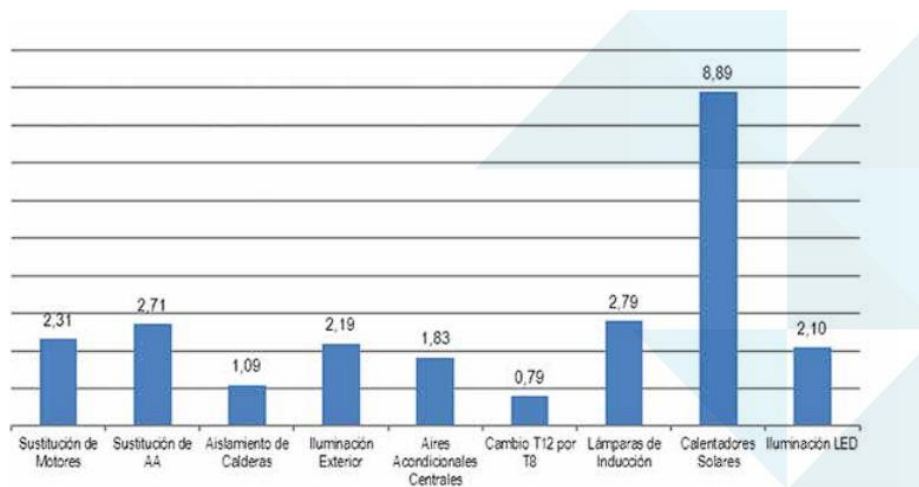
La implementación de los proyectos en la búsqueda de reducir ese consumo energético se realizó en distintos periodos, de acuerdo con los tiempos que llevó encontrar proveedores para cada uno de los proyectos en los hospitales. La inversión y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

| Hospital - Institución | Sustitución de equipos de aire acondicionado | Sustitución de motores | Sustitución de sistemas de bombeo | Sustitución de luminarias ineficientes | Aislamiento de tuberías de distribución de vapor | Aislamiento de calderas | Cambio de trampas de vapor | Sustitución de equipos de calentamiento de agua |
|------------------------|--|------------------------|-----------------------------------|--|--|-------------------------|----------------------------|---|
| Ilobasco | 5 | - | - | - | - | - | - | - |
| Chalchuapa | 5 | - | - | 200 | - | - | 2 | - |
| Benjamín Bloom | 7 | 17 | 2 | 244 | 1 | 2 | - | - |
| Chalatenango | 5 | - | - | 100 | - | - | - | - |
| Sonsonate | - | 2 | 1 | 32 | - | - | - | - |
| Ciudad Barrios | - | - | - | 23 | 1 | - | - | - |
| Santa Ana | - | - | - | 185 | - | - | - | - |
| San Bartolo | - | - | - | 16 | 1 | 1 | - | - |
| Jiquilisco | 6 | - | - | 42 | - | - | - | - |
| U. Salud Barrios | - | - | - | 74 | - | - | - | - |
| ASILO SARA | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| CRINA | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Totales | 28 | 19 | 3 | 916 | 3 | 3 | 2 | 4 |

Tabla 1.2: Proyectos realizados en el marco del EEPB.

| Hospital | Medida | Inversión Final | Ahorro Final | Periodo de recuperación | Ahorros en kWh | Disminución de Emisiones de CO2 (en Ton) |
|----------------|-------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------|----------------|--|
| Benjamin Bloom | Sustitución de motores | \$ 20,000.00 | \$ 10,123.00 | 1.98 | 46,013.64 | 27.930 |
| | Sustitución de AA | \$ 6,083.10 | \$ 3,241.82 | 1.88 | 14,735.53 | 8.944 |
| | Aislamiento de calderas | \$ 8,647.86 | \$ 5,656.96 | 1.53 | 25,713.45 | 15.608 |
| | Aires acondicionadoscentrales | \$ 21,168.00 | \$ 11,563.20 | 1.83 | 52,560.00 | 31.904 |
| | Iluminación exterior | \$ 5,905.92 | \$ 2,698.08 | 2.19 | 12,264.00 | 7.444 |
| Chalatenango | Sustitución de AA | \$ 7,057.28 | \$ 2,060.07 | 3.43 | 9,363.97 | 5.684 |
| | Cambio T12 por T8 | \$ 5,597.72 | \$ 8,519.55 | 0.66 | 38,725.22 | 23.506 |
| Chalchuapa | Cambio T12 por T8 | \$ 6,184.60 | \$ 9,412.76 | 0.66 | 42,785.27 | 25.971 |
| | Sustitución de AA | \$ 3,489.67 | \$ 1,018.66 | 3.43 | 4,630.27 | 2.811 |
| | Aislamiento de calderas | \$ 1,153.00 | \$ 1,858.00 | 0.62 | 8,445.45 | 5.126 |
| Ciudad Baniós | Lámparas de inducción | \$ 3,105.00 | \$ 1,881.32 | 1.65 | 8,551.45 | 5.191 |
| | Aislamiento de calderas | \$ 3,500.00 | \$ 1,778.53 | 1.97 | 8,084.23 | 4.907 |
| ASILO SARA | Calentadores solares | \$ 19,874.07 | \$ 3,000.00 | 9.70 | 13,636.36 | 8.277 |
| CRINA | Calentadores solares | \$ 29,085.54 | \$ 3,600.00 | 8.08 | 16,363.64 | 9.933 |
| Ilobasco | Sustitución de AA | \$ 10,641.75 | \$ 10,641.75 | 1.00 | 48,371.59 | 29.362 |
| Jiquilisco | Sustitución de AA | \$ 11,947.00 | \$ 3,112.00 | 3.84 | 14,145.45 | 8.586 |
| | Iluminación LED | \$ 4,582.50 | \$ 1,647.00 | 2.78 | 7,486.36 | 4.544 |
| San Bartolo | Lámparas de inducción | \$ 4,200.00 | \$ 1,067.43 | 3.93 | 4,851.95 | 2.945 |
| | Sustitución de motores | \$ 6,644.80 | \$ 5,139.79 | 1.29 | 23,362.68 | 14.181 |
| | Aislamiento de calderas | \$ 1,196.32 | \$ 4,995.86 | 0.24 | 22,708.45 | 13.784 |
| Santa Ana | Cambio T12 por T8 | \$ 11,486.65 | \$ 11,904.91 | 0.96 | 54,113.23 | 32.847 |
| | Sustitución de motores | \$ 5,640.00 | \$ 3,524.15 | 1.60 | 16,018.86 | 9.723 |
| | Sustitución de motores | \$ 5,977.20 | \$ 1,362.76 | 4.39 | 6,194.36 | 3.760 |
| | Iluminación LED | \$ 4,606.08 | \$ 3,248.08 | 1.42 | 14,764.00 | 8.962 |
| U.Baniós | Cambio T12 por T8 | \$ 2,552.24 | \$ 2,864.15 | 0.89 | 13,018.86 | 7.902 |

Tabla 1.3: Plan de Inversiones del Proyecto Eficiencia Energética en Edificios Públicos.



Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por la unidad ejecutora del proyecto

Gráfico 1.5: Periodo de recuperación de la inversión por tipo de proyecto.

Eficiencia energética en edificios.

En términos generales, podemos definir la eficiencia energética en edificios como la utilización racional de energía para abastecer las necesidades energéticas de climatización de un inmueble (calefacción y refrigeración), iluminación, etc. Para conseguir una mejora en la eficiencia energética de un edificio, es necesario aplicar una serie de medidas que, en conjunto, consiguen un menor gasto energético, reducen las pérdidas y, así mismo, la contaminación ambiental.

En general, un edificio tiene un periodo de vida de entre 50 a 100 años, por esto, incorporar estrategias de eficiencia energética es sumamente rentable. Las posibilidades de lograr un ahorro energético en el diseño de un edificio son muchas. Evaluar las características arquitectónicas, las propiedades térmicas de la envolvente, la aplicación de un eficiente aislamiento térmico y la orientación de las fachadas son aspectos fundamentales para conseguir un edificio con un sistema de eficiencia energética bien proyectado. Para mejorar la eficiencia energética en edificios ya construidos es necesario realizar una rehabilitación energética. Es recomendable aprovechar proyectos de remodelación en curso o por venir, tales como reparaciones o expansiones, para implementar estrategias de eficiencia energética en búsqueda de reducir gastos en la facturación.

Algunas estrategias que permiten una mejora en la eficiencia energética en edificios son:

- Durante la fase de diseño de interiores, realizar simulaciones para garantizar que se consigue el equilibrio adecuado entre ambiente, propósito y consumo ecológico.
- Adecuada orientación del edificio.
- Utilizar el tipo de iluminación adecuada haciendo uso de tecnologías eficientes como el tipo LED.
- Instalar sistemas de aires acondicionados eficientes.
- Mejorar el aislamiento térmico en la envolvente.
- Implementar energías renovables como la energía fotovoltaica, instalando paneles solares en los tejados.
- Crear un plan de uso adecuado para equipos como: aires acondicionados, iluminación, electrodomésticos.
- Remodelar y modernizar las instalaciones eléctricas del edificio.

Desarrollar estos conceptos, requiere realizar un análisis técnico financiero adecuado, que nos permita justificar las inversiones adicionales que se deben hacer para lograr el nivel deseado de eficiencia. Para ello, en la actualidad se cuentan con programas de simulación lo suficientemente avanzados y accesibles que permiten a los diferentes especialistas y profesionales evaluar los costos de inversión y operación de las edificaciones, demostrando que analizando los costos de operación de construcciones convencionales versus eficientes, justifican por mucho la sobreinversión en materiales, diseños y adecuaciones de los inmuebles, siendo muchísimo más barato considerar estos aspectos desde su diseño, que en la readecuación de inmuebles ya construidos. Muchas experiencias han demostrado que la readaptación de un inmueble puede ser al menos un 30% más con respecto a las inversiones concebidas como eficientes. Además, el consumo energético de un edificio puede ser hasta un 40% menos que un edificio convencional considerando el mismo tipo de actividades.

La eficiencia energética en el diseño, construcción y la ambientación de un edificio.

Es ahora que se debe consolidar el concepto de **construcción eficiente**, entendiendo este concepto como aquellos inmuebles que son diseñados y construidos de forma tal que minimizan el consumo de energía para todas las actividades que se desarrollan dentro de él. Pensar en una construcción eficiente nos lleva más allá, considerando la construcción sostenible, que busca también la eficiencia en la utilización de otros recursos como el agua, la disposición final de residuos, y la utilización de energías renovables con el fin de responder al reto de ser cada vez más sostenibles.

Para desarrollar estos conceptos en el diseño y construcción de un edificio eficiente energéticamente, se debe seguir una secuencia tanto en diseños como en evaluación de elementos, tal como se muestra en la figura 1.1.

Se debe comenzar desde la realización de los planos arquitectónicos de la infraestructura, en general, todo profesional a cargo del diseño arquitectónico de un edificio debe considerar aspectos como:

- La trayectoria y proyecciones del sol.
- La orientación respecto al sol para la reducción de la carga térmica en el interior.
- Consideraciones de ventilación e iluminación natural.
- Materiales de construcción y sus propiedades de aislamiento.
- La captación y protección solar sobre la envolvente.

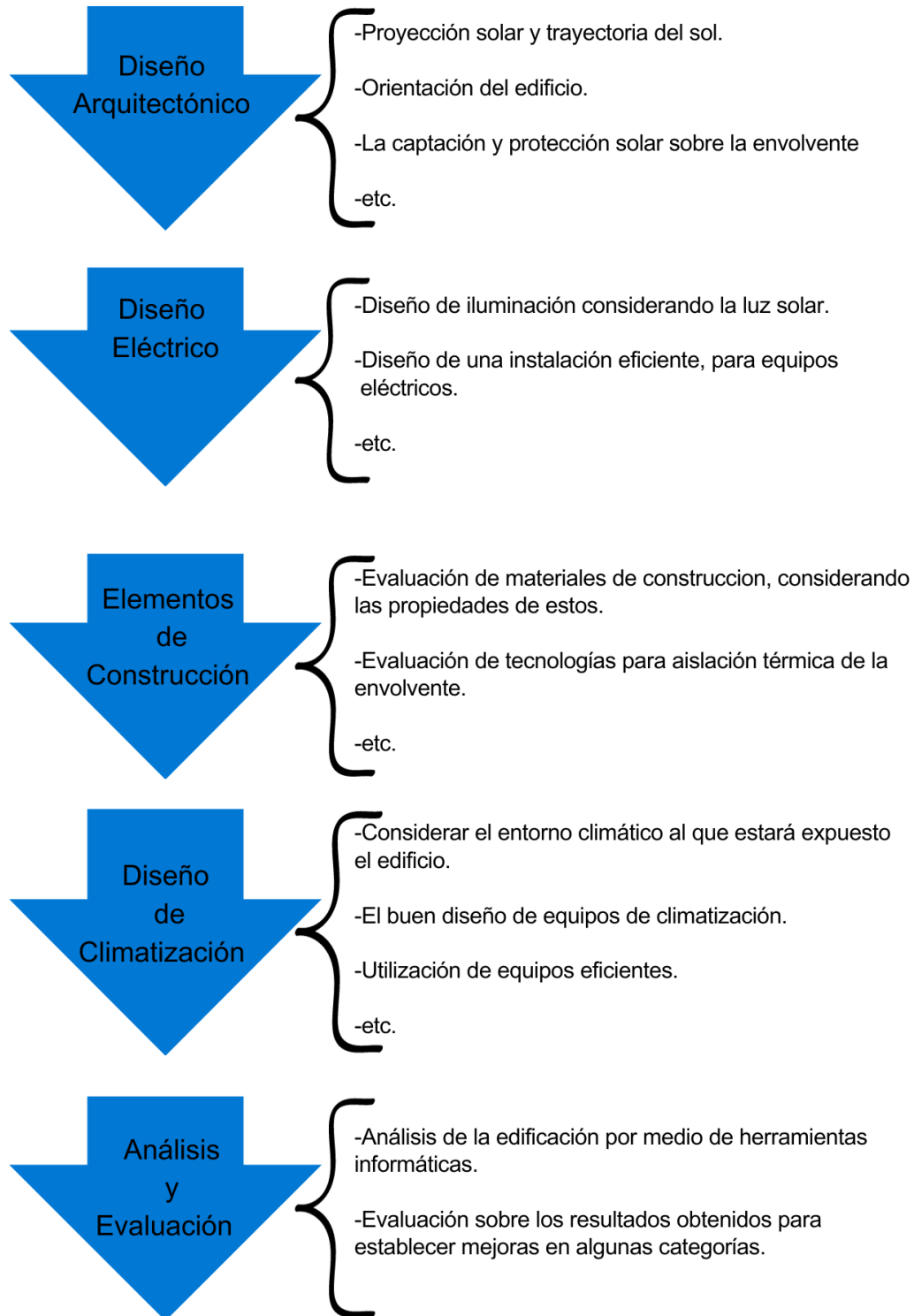


Figura 1.1: Proceso de análisis y evaluación de Eficiencia Energética en diseño de edificaciones, también es válida para otro tipo de construcción.

Luego de realizar el diseño arquitectónico, se continúa con el diseño eléctrico, que, en su mayoría, se consigue una eficiencia energética en el diseño de la iluminación. El profesional eléctrico a cargo, en conjunto con arquitectos y diseñadores, debe establecer la iluminación correcta de acuerdo al uso o aplicación que tenga asignada cada área del edificio, evaluando la incidencia de luz natural y considerando el uso de adecuados materiales de acristalamiento.

La siguiente etapa es la de selección de los materiales a utilizar para la construcción del edificio. Los expertos en construcción (Ing. Civiles, maestros de obra, etc.) en conjunto con los arquitectos y mecánicos, deben evaluar las propiedades físicas de los materiales para seleccionar los adecuados. Es decir, evaluar los materiales como ladrillos, cemento, material y consistencia de las ventanas y puertas, etc. Además de evaluar tecnologías de aislamiento térmico para la envolvente del edificio, en especial para las paredes y las ventanas, a continuación, se muestran ejemplos de una tecnología para cada caso (pared y ventana), de entre numerosas tecnologías de aislación térmica que existen.

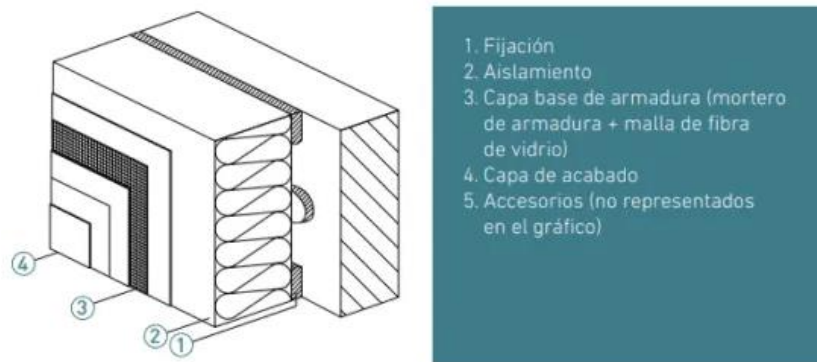


Figura 1.2: Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (ETICS).



Figura 1.3: Sistema de Doble Vidriado Hermético (DVH).

A continuación, se debe realizar el dimensionamiento de los equipos de aire acondicionados para climatizar las diferentes áreas del edificio. En términos de consumo de energía, esta etapa es una de las más importantes debido a la alta influencia que tienen estos equipos en la facturación del edificio. Para lograr una eficiencia energética, los profesionales encargados de la climatización del edificio deben considerar aspectos como:

- Ambiente y temperatura externa de la infraestructura.
- Cantidad de personas en el área a climatizar.
- Equipos eléctricos e inmuebles de oficina que estarán en el área.
- Ocupar equipos de aire acondicionado que sean eficientemente energéticos.
- Emplear la infiltración y ventilación de aire.

La última etapa consiste en el análisis y la evaluación del modelo arquitectónico del edificio. En este punto, todos los profesionales encargados de las distintas etapas anteriores deben, en conjunto, evaluar lo que sería el diseño del edificio mediante tecnologías y herramientas de análisis energético (hasta este momento no se ha iniciado el proceso de construcción del edificio). A partir de los resultados obtenidos tras el análisis, se podrá determinar el comportamiento energético del edificio y evaluar la factibilidad para iniciar el proceso de construcción. Es importante recalcar que estos resultados son parciales, es decir, si el diseño y construcción de la infraestructura no se realiza de forma meticulosa, al poner en marcha el edificio, los resultados obtenidos pueden no coincidir con los resultados esperados.

Debido a esto, durante el proceso de diseño y evaluación de la eficiencia energética del edificio, es necesario integrar aspectos del uso eficiente de la energía. Algunas pautas que los profesionales a cargo deben 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 aire acondicionado y de oficinas. Los edificios para uso hospitalario deben 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.

Auditoría energética.

El ahorro de energía y su eficiencia son una cuestión clave tanto para las empresas e instituciones públicas como para las viviendas privadas. Entre las herramientas básicas para lograrlo figura la **auditoría energética**. Una auditoría energética es una inspección y análisis de los flujos de energía en un edificio o en una casa con el objetivo de entender la eficiencia energética de la casa o edificio. Se basa en establecer como punto de inicio indicadores que se puedan controlar, analizar y comparar, los cuales dependerán de la actividad que se desea evaluar y darán una visión del estado actual y a su vez una proyección del futuro según su evolución. Normalmente se lleva a cabo para buscar oportunidades de reducir la cantidad de energía utilizada en el hogar o instalación sin afectar negativamente la comodidad de la casa o la producción, en caso de que se haga en un negocio. Esto incluye la identificación de los sistemas y áreas que tendrán el mayor impacto en la mejora de la comodidad, durabilidad, y en la calidad del aire interior. Así como también pensando en la salud y bienestar de los ocupantes.

Las características técnicas que posee una auditoría energética son:

- Está basada en datos operativos actualizados y que pueden ser medidos: consumo de energía (eléctrica, gas, entre otras).
- Se fundamenta en el análisis del coste del ciclo vida, antes que en periodos simples de amortización.
- Proporciona una imagen fiable del rendimiento económico global, así como oportunidades de mejora significativa.
- Abarca un examen pormenorizado del perfil de consumo de energía en cuanto a edificios, instalaciones, flotas de vehículos, entre otros.

Dentro de los beneficios de realizar una auditoría energética podemos encontrar:

- Permite identificar las actividades con mayor consumo.

- Mejora las funciones de los electrodomésticos aumentando su rendimiento.
- Es posible reducir el costo de las facturas.
- Contribuye al medio ambiente con la disminución de la demanda de energía.

Auditoría energética en edificios existentes.

En la actualidad, la mayoría de edificios llevan operando por varios años, lo cual limita la posibilidad de aplicar la metodología descrita en la figura 1.1, ya que esta se aplica en caso de edificios nuevos, donde se puede intervenir desde la etapa de diseño. Sin embargo, es posible extraer algunos conceptos y aplicarlos a edificios existentes, por ejemplo, la aislación térmica de la envolvente, instalación de elementos de protección solar, etc.

Para realizar una auditoría energética en edificios existentes, se debe crear una metodología que comprenda el funcionamiento de la infraestructura. Es importante recalcar que una misma metodología energética no puede ser aplicada a dos edificios que presenten una diferente operación, por ejemplo, un edificio administrativo y un edificio encargado de producción.

A continuación, se muestra un ejemplo de los pasos básicos de una metodología:

- Obtener información de la envolvente y operación actual del edificio.
- Analizar el comportamiento del edificio en cuanto a su consumo de energía.
- Crear base de datos de perfiles de carga (kW) y consumo energía por zonas o recintos.
- Realizar la evaluación técnica y económica.

Metodología básica para auditoría energética.

Una buena auditoría no señala medidas de forma genérica, sino que las personaliza y evalúa el coste de las mismas, determinando el potencial de ahorro y los ingresos complementarios que se derivarían de su implantación. Analizando la rentabilidad de cada propuesta y los parámetros que tienen más incidencia y sensibilidad, para vigilarlos especialmente. En el documento “Metodología de Eficiencia Energética en el Sector Servicios” presentado por el Consejo Nacional de Energía, se propone una serie de pasos de fácil aplicación, los cuales se pueden seguir para la ejecución de auditorías energéticas. El diagrama de bloques de la figura 1.4 muestra los pasos propuestos, los cuales se describen a continuación:

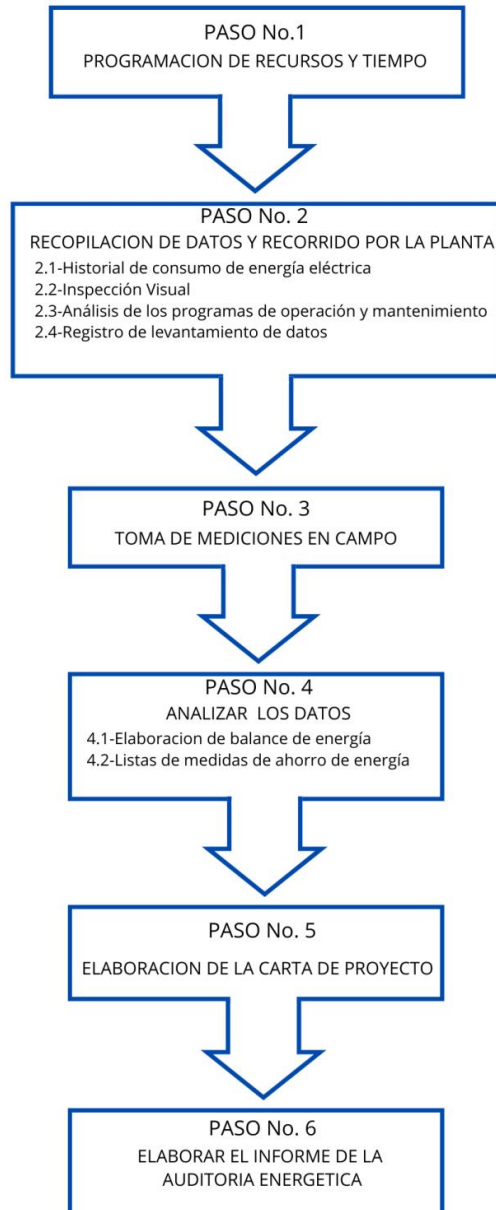


Figura 1.4: Diagrama de bloque que representa la metodología básica de estudio de EE propuesto por el Consejo Nacional de Energía.

Paso 1. Programación de los recursos y el tiempo.

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible del inmueble, tal como:

- Rama a la que pertenece.
- Tamaño y edad del inmueble.
- Localización del inmueble.

- Horarios típicos de operación.
- Consumos anuales de los energéticos utilizados por la planta.
- Costos de los energéticos.

Paso 2. Recopilar datos y recorrido por las instalaciones.

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía en el inmueble, tales como: historial de consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a todas las instalaciones, programas de mantenimiento y levantamiento de datos de equipos consumidores de energía.

Paso 3. Toma de mediciones en campo.

En esta actividad se realizarán las mediciones de los parámetros de operación de los equipos, con la finalidad de determinar la eficiencia energética de cada uno de ellos, así como con la finalidad de obtener información que permita proponer mejoras.

Paso 4. Analizar los datos.

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores de la AE, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la AE es la realización de los balances de energía. Por otra parte, con la finalidad de asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación.

Paso 5. Elaboración de cartera de proyectos.

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá realizar una cartera de proyectos, donde para cada una de las medidas de ahorro propuestas se presente la siguiente información:

- Resumen que contiene:
 - Ahorro de energía (kWh/año).
 - Ahorro económico (USD/año).

- Inversiones necesarias (USD).
- Periodo de Recuperación de la Inversión (años).

Metodología general para análisis de eficiencia energética.

En un país, departamento o ciudad, existen diferentes tipos de edificaciones, cada una dedicada a un uso específico, ya sea hospitales, librerías, oficinas administrativas, centros de estudio, etc., una metodología de análisis de EE desarrollada para implementarse en hospitales (los hospitales son casos especiales de estudio de EE) no puede ser aplicada para un edificio dedicado a otro rubro, tal como una librería, ya que presentan usos y equipos diferentes. Debido a esto, surgen diversas metodologías para analizar la eficiencia energética en los distintos tipos de edificios según el uso para el que se construyó. No obstante, las metodologías de análisis de EE presentan características similares, las cuales pueden integrarse para dar paso a una **metodología general**. En la figura 1.5 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.

Línea base.

La línea base consiste en detallar las condiciones actuales de los edificios ya construidos que se encuentran en operación. En pocas palabras, es una referencia para “pronosticar” de qué manera será consumida la energía a futuro. Se basa en comparar los datos que se conocen (consumo esperado) con el consumo real para detectar oportunidades de ahorro energético y gestionar las medidas a implementarse. las primeras tres etapas del diagrama de bloques presentados en la figura 1.5 integran lo que es la Línea Base y se detallan a continuación.

Identificación del edificio.

Existen situaciones en las que, dentro de la institución, empresa, etc., el caso de estudio sea únicamente en algún edificio que se encuentra dentro de estas. Por lo que se vuelve primordial identificar el edificio donde se llevará a cabo el análisis. Debido a esto se suele cambiar el sentido de la metodología, de ahí la colocación de la flecha en el diagrama de la figura 1.5. Para el caso del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en mejicanos, primero se debe hacer un análisis de consumo de energía actual, auditando las facturas eléctricas desde un periodo significativo (3 años como mínimo según lo establecido por la política energética del CNE), para luego identificar los factores que demandan mayor consumo energético.

Solicitud de información.

- Similar al paso dos de la metodología de la metodología básica para auditoría energética propuesta por el Consejo Nacional de Energía, en este apartado se deben reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía en el inmueble, tales como:
- Recibos de facturas eléctricas en un periodo considerable de al menos tres años. Con el fin de analizar el comportamiento bajo el que ha estado sujeto el edificio hasta este momento.
- Solicitud de planos arquitectónicos del edificio (planos eléctricos, distribución de equipos, etc.).
- Cantidad de personas que hacen uso de las instalaciones. Dentro de un edificio pueden existir distintas áreas de trabajo, por lo que es necesario realizar un conteo de las personas que permanecen en cada área.
- Información de los materiales y características constructivas del edificio. Se debe 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, paredes, cielo falso, divisiones, etc.). También hacer una investigación de las propiedades físicas de los materiales (conductividad eléctrica, conductividad térmica, coeficiente de reflexión, etc.).
- Datos relacionados con los equipos de climatización instalados, tales como:
 - ✓ Periodo de uso del equipo, hora de encendido, hora de apagado, temperatura de trabajo, etc.
 - ✓ Dimensionar las áreas climatizadas por cada equipo.
 - ✓ Tipo de equipo de climatización, hojas técnicas, cantidades, etc.
- Información técnica de todos los equipos de oficina en uso (computadoras, faxes, proyectores, fotocopiadoras, etc.), además de incluir las características ocupacionales de los equipos.

Todos los datos recolectados en esta etapa son el punto de partida para las siguientes etapas de la metodología, por lo que es sumamente importante reunir la mayor cantidad de información posible para evitar contratiempos, errores o resultados desfavorables.

Inspección visual.

En esta etapa se hace un recorrido por las instalaciones y se recopilan datos de parámetros eléctricos y físicos de interés (temperaturas de operación, temperatura ambiente, etc.), además de registrar cambios en las instalaciones que se pudieron hacer tiempo después de que el edificio entrara en operación y no fueron registrados en los planos. También es importante corroborar la información recolectada en la etapa anterior, en síntesis, es un levantamiento de campo con

la colaboración de todos los encargados del mantenimiento o jefes de planta. La colaboración puede incluir entrevistas a estos sujetos.

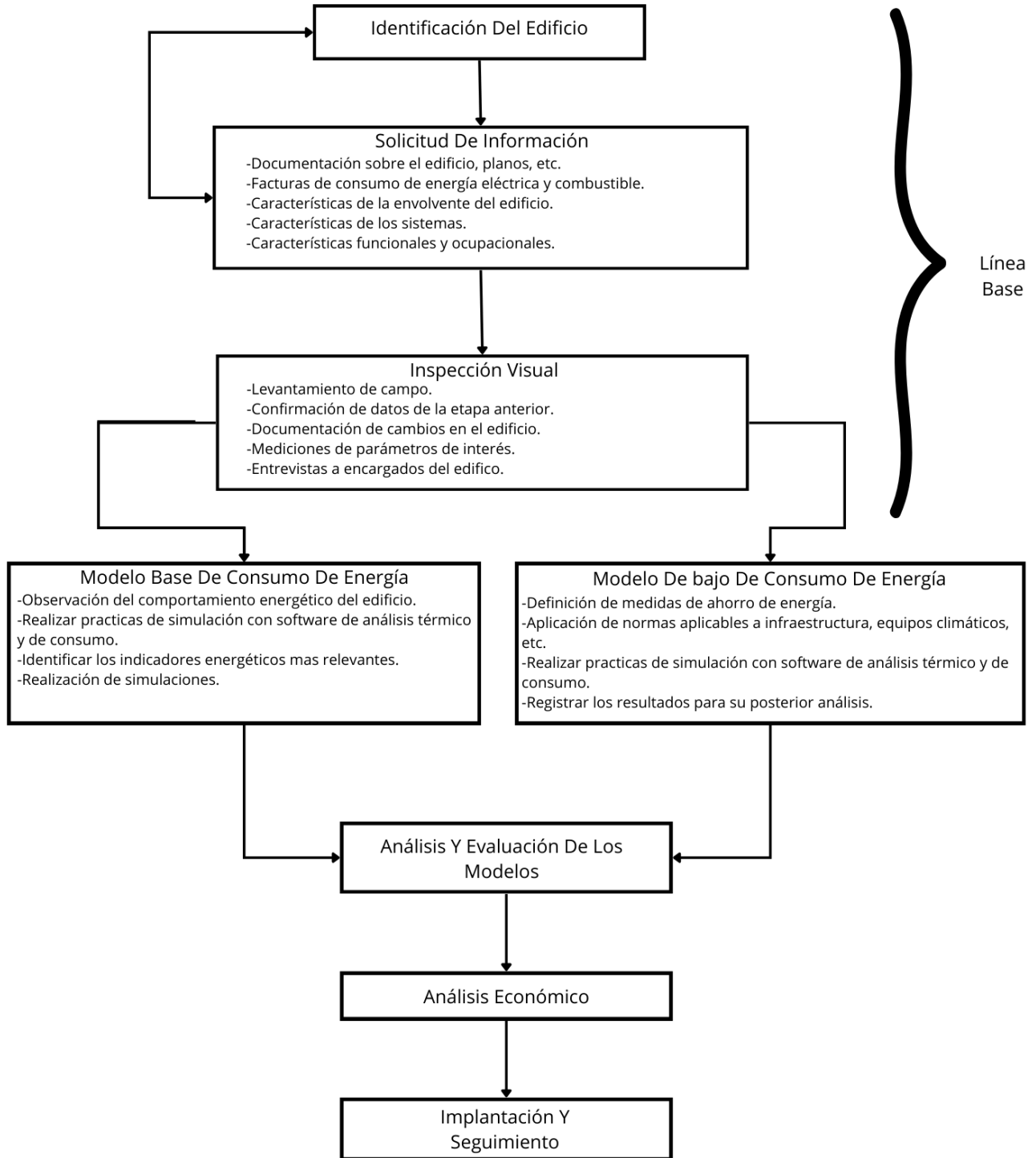


Figura 1.5: Diagrama de bloque que representa una metodología más compuesta y detallada.

Modelo base de consumo de energía.

A partir de la información obtenida en las etapas anteriores, se crea un modelo base que interprete el comportamiento energético del edificio actualmente. En este punto se hace uso de software de simulación para análisis térmico y energético aplicando normas y técnicas relacionadas al diseño del edificio, sistemas eléctricos, iluminación, equipos de climatización, etc.

Una vez obtenidos los resultados tras realizar las simulaciones, se puede crear un perfil de consumo de energía donde se identificarán los indicadores energéticos que presenten anomalías (indicadores que presenten un nivel de consumo por encima de lo deseado). Dichos indicadores deberán ser modificados de acuerdo con las medidas definidas para ahorro de energía. Esto dará paso a la creación de un modelo de bajo consumo de energía.

Modelo de bajo consumo de energía.

Esta etapa incluye medidas de mejoramiento en la operación del edificio, con finalidad de aprovechar el ahorro energético y de mejorar la eficiencia energética. Luego de simular e identificar los indicadores energéticos a corregir, se dicta una serie de acciones que deben incluirse en el modelo creado en la etapa anterior.

Estas medidas están sujetas a variaciones dependiendo el tipo de operación que presente el edificio y el tipo de estudio que se realice. Algunas medidas que se presentan comúnmente en EE son:

- Actualización y/o instalación de equipos de climatización de alta eficiencia. Evaluar la factibilidad de actualizar los equipos actualmente en uso por unos más eficientes utilizando normas sobre climatización de áreas. Además, realizar censos del personal presente por áreas para administrar las condiciones de consumo.
- Capacitar al personal para el ahorro de energía. Colocar viñetas en lugares visibles para promover el uso adecuado de los equipos con el fin de realizar conciencia de la importancia del uso eficiente de los equipos e iluminación.
- Remodelación de algunas zonas del edificio. Buscar medidas para disminuir la incidencia directa de los rayos solares en la fachada del edificio, algunas medidas podrían ser la instalación de cortasoles o persianas metálicas.
- Sistemas de iluminación eficiente. Tras bloquear parte de la incidencia de luz natural en el edificio, es necesario evaluar las áreas e implementar un sistema de iluminación eficiente haciendo uso ya sea de sensores que controlen el encendido y apagado de las luminarias.

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

Análisis y evaluación de los modelos.

En esta etapa se analizan los datos obtenidos tras haber hecho las simulaciones para determinar si se ha alcanzado el objetivo de ahorrar energía. En caso de que los resultados sean negativos, se deben verificar las etapas que le anteceden a esta para realizar nuevamente los cambios necesarios de manera que se obtengan los resultados esperados.

Para que los resultados de las simulaciones sean válidos, se debe buscar 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.

Tras analizar los datos y obtener un resultado positivo, es importante realizar un análisis económico para corroborar la factibilidad de la mejora en la eficiencia energética. En este análisis se debe prestar especial atención a lo siguiente:

Coste de inversión.

Impacto ambiental.

Tiempo de recuperación.

Al final, el técnico evaluador debe facilitar reportes al encargado del edificio, sobre los beneficios de la práctica de EE en sus instalaciones. Queda a criterio de los encargados seguir las recomendaciones dadas por el técnico evaluador.

Implementación y seguimiento.

El técnico es el encargado de presentar las medidas de ahorro energético del edificio; de igual manera, es el encargado de darle seguimiento. Debe evaluar los cumplimientos de las medidas establecidas y corroborar que los resultados reales se asemejen a los resultados del análisis realizado previamente, elaborando reportes del comportamiento energético del edificio, sobre todo de aquellos indicadores que se eligieron para un cambio.

Normativas de eficiencia energética, norma ISO 50001:2011

Antecedentes de la norma ISO 50001.

Se desarrolló a petición de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), que había reconocido la necesidad de la industria de un estándar internacional como respuesta eficaz al cambio climático y la proliferación de los estándares nacionales de la Gestión de la energía.

La presentación oficial de la Norma ISO 50001 se realizó el 17 de junio de 2011 en el Centro Internacional de Conferencias de Ginebra (CICG). En El Salvador, el 27 de febrero de 2014, el Organismo Salvadoreño de Normalización (OSN) difunde la Norma Técnica Salvadoreña: NTS ISO 50001:2011 “Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso” basada en la norma internacional ISO 50001.

La norma ISO 50001.

La ISO 50001 es una norma internacional “voluntaria” que busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para obtener una mejora en el desempeño energético, además de la eficiencia, uso y consumo de la energía.

La norma ISO 50001 ayuda a las organizaciones a definir una estructura para evaluar y priorizar la implantación de nuevas tecnologías de eficiencia energética para lograr una mejora continua en sus procedimientos y procesos. También crea transparencia y facilita la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos. En otras palabras, ayuda al constante mejoramiento de los procesos, haciéndose cada vez más eficiente la utilización de los recursos energéticos.

Dicha norma está diseñada para ser compatible y adaptarse con otras normas de sistemas, como lo son la ISO 14001 que corresponde a sistemas de gestión medioambiental. Dicha norma está diseñada para conseguir un equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción de los impactos en el ambiente y, con el apoyo de las organizaciones, es posible alcanzar ambos objetivos. Y la ISO 9001, la cual se encarga de determinar los requisitos para sistemas de gestiones de la calidad (SGC), que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones, sin importar si el producto o servicio lo brinda una organización pública o empresa privada, cualquiera que sea su tamaño, para su certificación o con fines contractuales. No existía una norma establecida para la correcta gestión de los recursos energéticos e impacto ambiental unificado, razón de la creación de la ISO 50001.

Estructura de la norma ISO 50001.

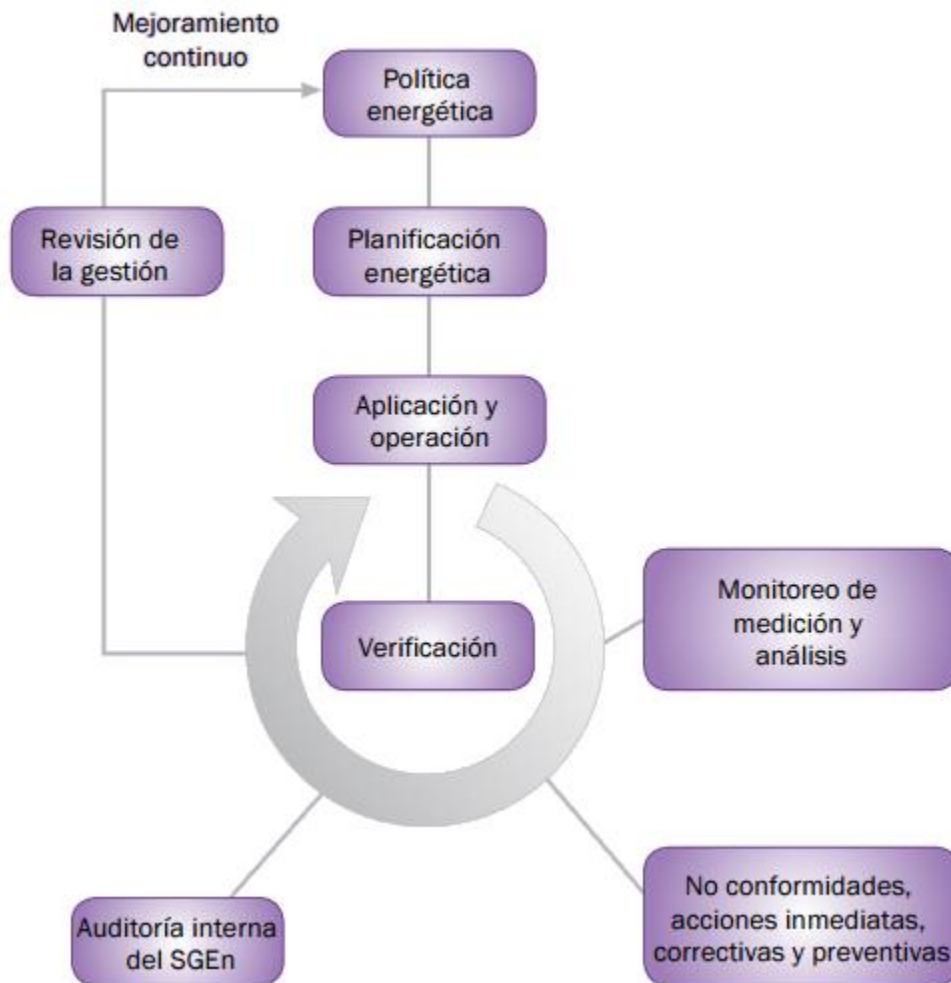


Figura 1.6: Esquema de mejora continua en la ISO 50001.

Esta norma entrega a las organizaciones, independientemente de su sector de trabajo o su crecimiento, una herramienta capaz de reducir los consumos de energía, los costos financieros asociados y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sigue el diseño y estructura de otras normas ISO como las ISO 9001 e ISO 14001, entre otras, haciéndola de esta manera compatible con otros sistemas de gestión (Calidad, Medioambiente, Inocuidad de los Alimentos, de Seguridad y Salud Laboral, etc.) ya existentes en la organización.

Al igual que otros estándares ISO, la norma de SGE se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (Plan, Do, Check, Act), también llamado “PHVA” por las siglas Planificar–Hacer-Verificar-Actuar.

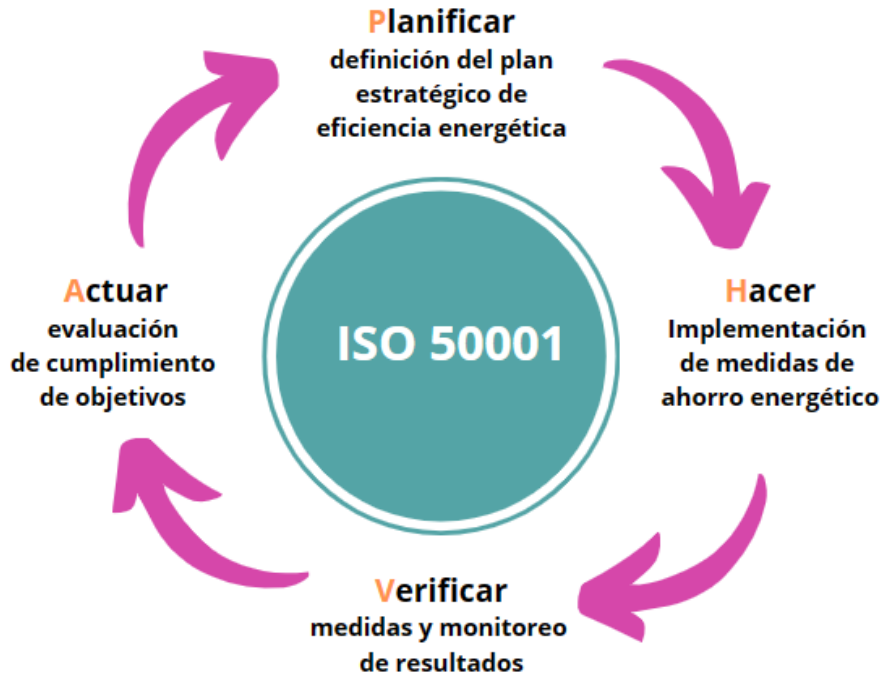


Figura 1.7: Ciclo de mejora continua.

- a) **Planificar**: Llevar a cabo una revisión energética y establecer la línea base, los indicadores de desempeño (IDEn), los objetivos y los planes de acción necesarios para lograr resultados que mejorarán el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización.
- b) **Hacer**: Implementar planes de acción con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.
- c) **Verificar**: Realizar un seguimiento y medición de los procesos en base a los objetivos y políticas energéticas de la organización, así como reportar los resultados.
- d) **Actuar**: Tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético.

Requerimientos de la norma ISO 50001

Existen dos tipos de requerimientos que se clasifican a continuación:

a) **Requerimientos medulares:** son los procedimientos necesarios para observar y mejorar el desempeño energético. Entre ellos están:

- Revisión energética.
- Línea base energética.
- Indicadores de desempeño energético.
- Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía.
- Control operacional.
- Diseño.
- Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.
- Seguimiento, medición y análisis.

Esquema de actividades medulares:



Figura 1.8: Actividades medulares.

b) **Requerimientos estructurales:** son aquellos que aseguran que las personas de la organización estén conscientes del uso eficiente de la energía. Se obtiene de áreas de apoyo como recursos humanos y área de comunicaciones. Entre dichos requerimientos tenemos:

- Comunicación.
- Documentación y registro.
- Entrenamiento y sensibilización.

Beneficios de la norma.

- Mejora la gestión de eficiencia energética.
- Incentiva la concientización y cultura de ahorro de energía.
- Establece un ciclo de mejora continua de procedimientos y procesos.
- Unifica las norma ISO 9001 e ISO 14001.

CAPITULO II: LA SIMULACION Y PROGRAMAS DE SIMULACION EN EDIFICIOS.

La simulación.

Es una herramienta generada a través de la programación, capaz de representar o imitar el funcionamiento de sistemas por medio de elementos de cómputo y/o el uso de software para el análisis, síntesis y la optimización de procesos. Por ejemplo, una simulación por computadora de un proceso industrial.

La simulación térmica de edificios.

Consiste en crear un modelo por computadora para simular el comportamiento térmico y los consumos energéticos dentro de un edificio en un periodo determinado, los cuales son destinados a proporcionar un ambiente térmico confortable para los usuarios del inmueble. Para esto, se crea un modelo tridimensional del edificio como se muestra en la figura 2.1, incluyendo sus diferentes espacios y particiones internas, y se le asignan las propiedades térmicas más relevantes a sus elementos constructivos.



Figura 2.1: Modelo tridimensional de un edificio.

Algunos ejemplos de programas de simulación térmica de edificios son: ECOTEC, DOE-2, Design Builder, EnergyPlus etc.

Objetivo de la simulación térmica de edificios.

Gran parte del gasto en energía de un edificio se consume en el mantenimiento de las condiciones térmicas en el interior del edificio, además de la iluminación. Por lo que evaluar el comportamiento térmico por medio de un modelado puede influir significativamente en la reducción del consumo energético de los edificios donde es aplicada la simulación.

Básicamente, se basa en el cálculo de carga térmica, el cual se encarga de determinar el tamaño o dimensionamiento de los equipos tales como aires acondicionados, ventiladores, enfriadores, calderas, etc. Además del análisis de energía, que, en complemento, se utiliza para analizar el desempeño energético del edificio, tomando en cuenta los materiales de construcción (envolvente), número de personas, perfiles de uso de cada espacio del edificio y perfiles de funcionamiento del equipo eléctrico, sistemas de aire acondicionado y luminarias.

Análisis de energía por medio de programas de simulación.

Como se mencionó anteriormente, el análisis de energía por medio de la simulación permite evaluar los costos de energía del edificio durante largos períodos de tiempo.

La simulación como herramienta de ahorro de energía.

Entre las principales medidas de ahorro que se pueden obtener por medio de la simulación se pueden listar:

- Crear un modelo por computadora es mucho más económico que la construcción del edificio y requiere menos tiempo de ejecución (teniendo en cuenta que cada edificio es diferente).
- La simulación térmica de edificios permite modelar el edificio antes de que se construya o antes de iniciar las renovaciones.
- La simulación puede dar lugar a una optimización de la energía del edificio o informar sobre el proceso de diseño.

- La simulación permite diversas alternativas energéticas para ser investigadas y opciones para comparar con otras.

Principales programas de simulación.

En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos de programas de simulación para el cálculo de carga térmica y análisis de energía, así como sus aplicaciones y áreas de enfoque en el análisis de los edificios.

| Programas | Aplicación |
|-----------------------|--|
| ENERGY PLUS | Simulación de energía, cálculo de carga, rendimiento del edificio, rendimiento energético, balance de calor, balance de masas. |
| DOE-2 | Eficiencia energética, diseño, modificación, investigación, edificios residenciales y comerciales. |
| DESIGN BUILDER | Simulación de energía en edificios, visualización, emisiones de CO2, protección solar, ventilación natural, iluminación natural, estudios de confort, simulación de aires acondicionados, Open GL interfaz con Energy Plus, archivos meteorológicos, dimensionamiento de equipos de calefacción y enfriamiento |
| TRNSYS | Simulación de energía, cálculo de carga, rendimiento del edificio, investigación, eficiencia energética, energías renovables. |
| ECOTEC | Diseño ambiental, análisis ambiental, diseño conceptual, control solar, sombra, diseño y análisis térmico, cargas de calefacción y enfriamiento, iluminación natural y artificial, análisis del ciclo de vida, costeo del ciclo de vida, horarios de programación, análisis acústico estadístico y geométrico. |

Tabla 2.1: Programas de carga térmica y análisis de energía.

A continuación, se aborda una introducción de los programas a utilizar para el análisis del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) de Mejiicanos. Como también su instalación y los primeros pasos.

Programas a utilizar.

Los programas seleccionados son los siguientes:

- SketchUp 2023
- OpenStudio Application 3.6.0
- EnergyPlus 23.1.0
- Design Builder ResultViewer

Design Builder es un programa extra pero no necesario para visualizar los resultados. Sabiendo esto, en la figura 2.2 se presenta el diagrama de flujo de cómo trabajan los programas a utilizar y su relación.

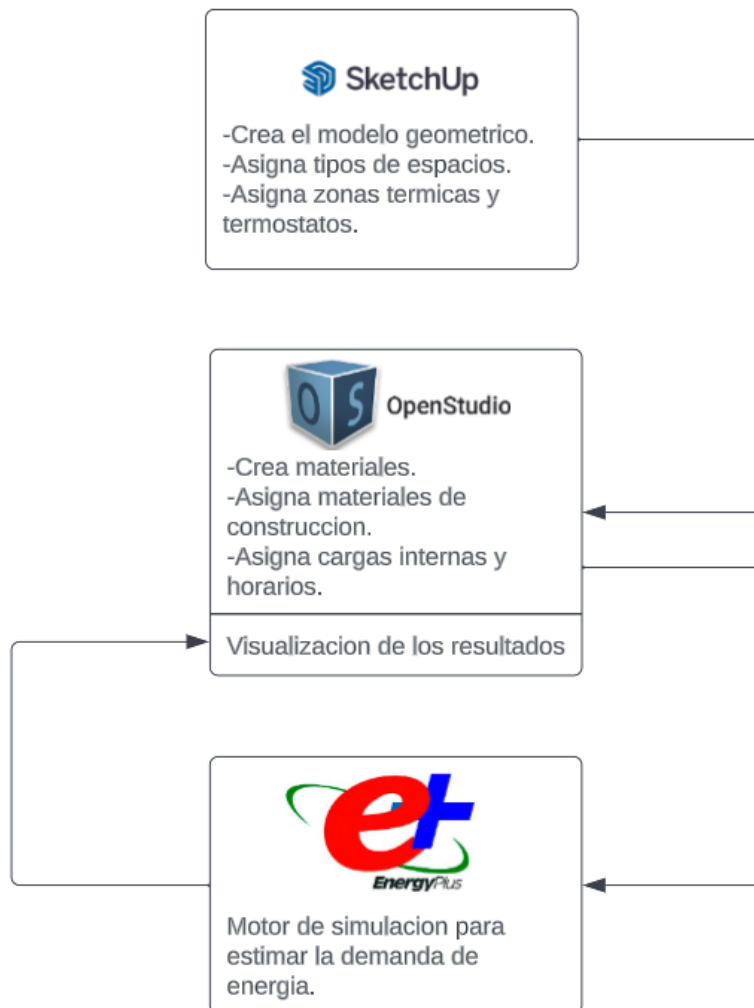


Figura 2.2: Diagrama de flujo de cómo trabajan los programas a utilizar.

Descarga e instalación de los programas.

SketchUp.

SketchUp es un programa informático de diseño gráfico y modelado basado en tres dimensiones (3D). SketchUp permite diseñar y crear todos los espacios, el mobiliario y el decorado de una edificación. Profesionales de distintas áreas lo utilizan para dibujar (o importar) modelos de todo tipo: construcción de muebles, creación de videojuegos, impresión 3D o diseño de interiores, entre otros. Además de ser fácil de usar, tiene una extensa base de datos de modelos creados por usuarios disponibles para descargar.

Descarga e instalación.

Como primer paso para descargar SketchUp, debemos ingresar a la página oficial y crear una cuenta o accedemos con una cuenta existente a Trimble, luego nos dirigimos hacia donde están todas las descargas disponibles (<https://www.sketchup.com/products/all>).

En este apartado podremos ver todas las descargas disponibles de los tipos de SketchUp.

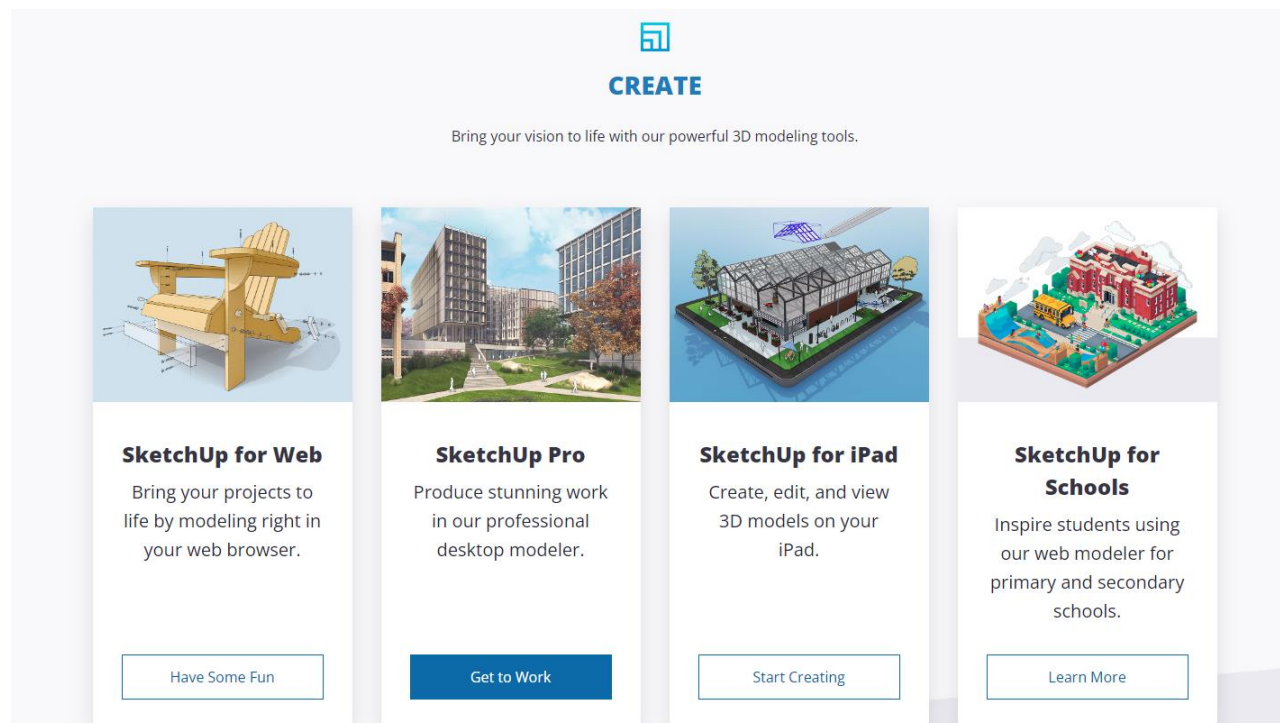


Figura 2.3: Interfaz de página web y selección de versión de SketchUp a Instalar.

A continuación, se selecciona la que se desea descargar. Cabe mencionar que, para realizar el levantamiento de las edificaciones, basta con descargar la versión gratis de SketchUp, pues las herramientas que se necesitan para hacer la geometría del edificio, se encuentran todas en esta versión. En este caso, se ha utilizado la versión pro de prueba (que es gratuita durante 30 días).

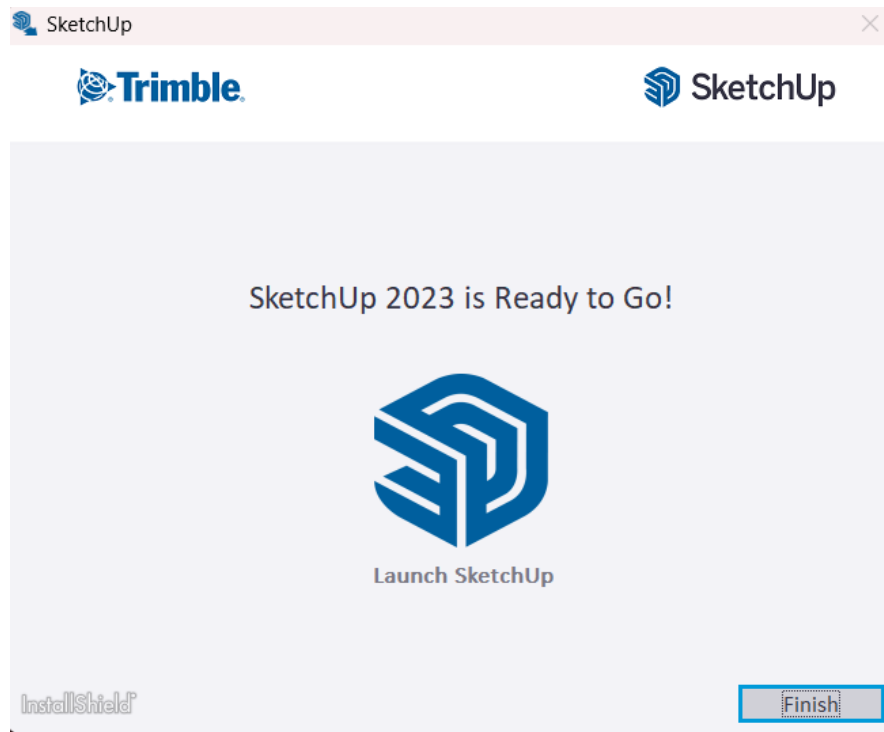


Figura 2.4: Instalacion de la versión de SketchUp Pro 2023 para Windows 64Bit en español.

Cuando ya se haya descargado el programa, se procede a ejecutarlo para que empiece la instalación. En caso de descargar la versión gratuita, una vez instalado el programa, basta con entrar y empezar a trabajar. Mientras que, si se descarga la versión pro, luego de instalar el programa, al abrirlo pedirá la licencia que previamente el usuario tuvo que adquirir (al ser la versión de prueba, el programa proporciona la licencia durante un mes). Se validan los datos y a continuación inicia el programa con su respectiva licencia.

Luego de haber hecho lo anterior, aparecerá la pantalla inicial que se muestra en la figura 2.5. En la ventana emergente se mostrarán varias opciones, de entre ellas estará la selección de la plantilla con la que queremos trabajar.

Es importante saber que SketchUp cuenta con diferentes modelos de plantillas en función de las unidades de longitud que se desea utilizar (Pies, pulgadas, centímetros, metros, etc.).

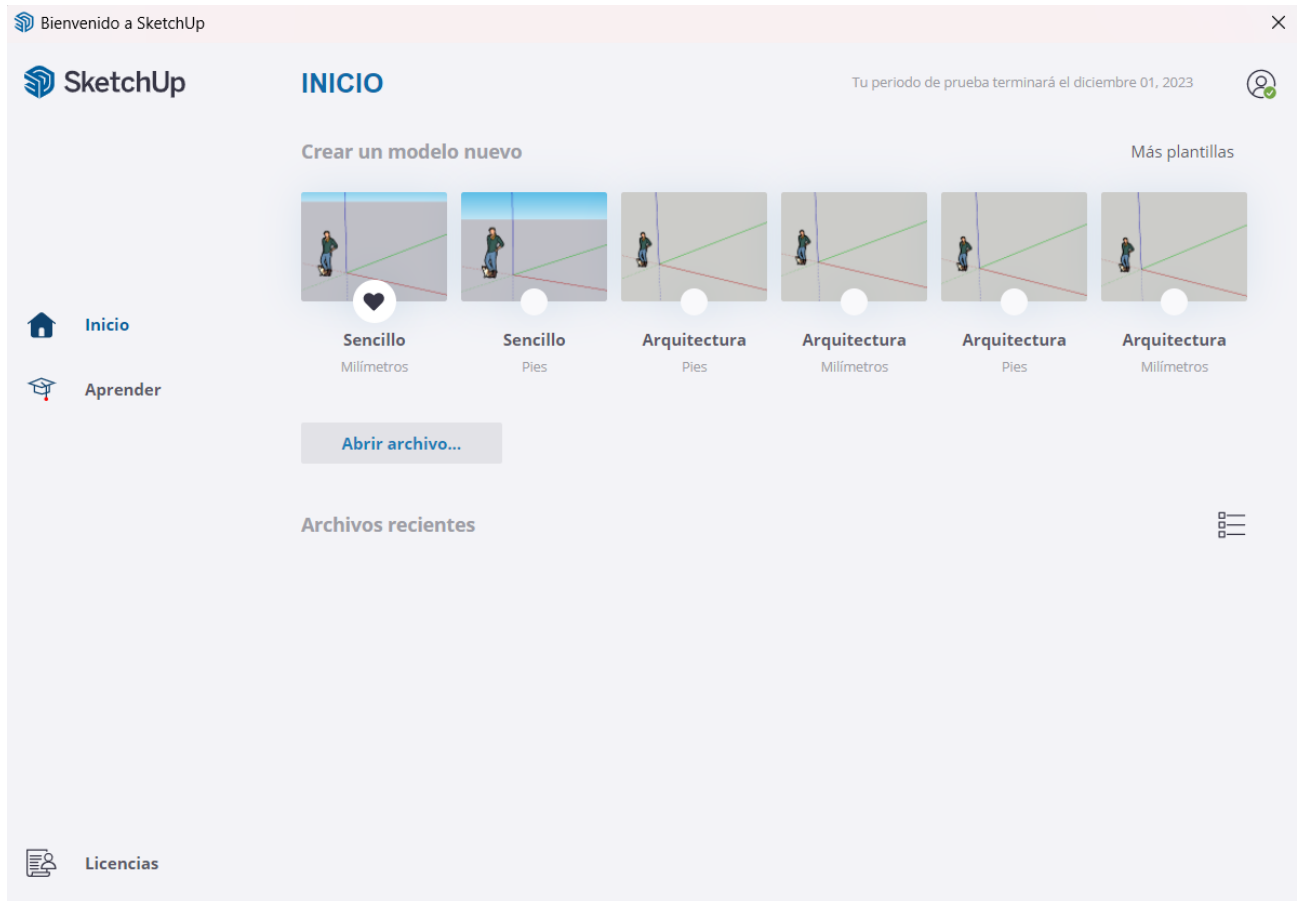


Figura 2.5: Pantalla inicial y ventana de selección de plantilla.

En el caso de un nuevo archivo de dibujo, se debe seleccionar la unidad de medida bajo la que se desea trabajar; seguido a esto, el programa lo detecta y permite empezar a modelar. Si por el contrario, se busca visualizar y trabajar un archivo existente, basta con dar click en la opción "Abrir archivo" y seleccionarlo en la ventana emergente que se abre a continuación.

Entorno de trabajo de SketchUp.

SketchUp se utiliza como un entorno de modelación en 3D para diferentes programas, entre ellos OpenStudio y EnergyPlus. Es por eso que en la misma barra de herramientas y menús se pueden encontrar elementos tanto de SketchUp (geometría), como el Plug-in de OpenStudio (modelación).

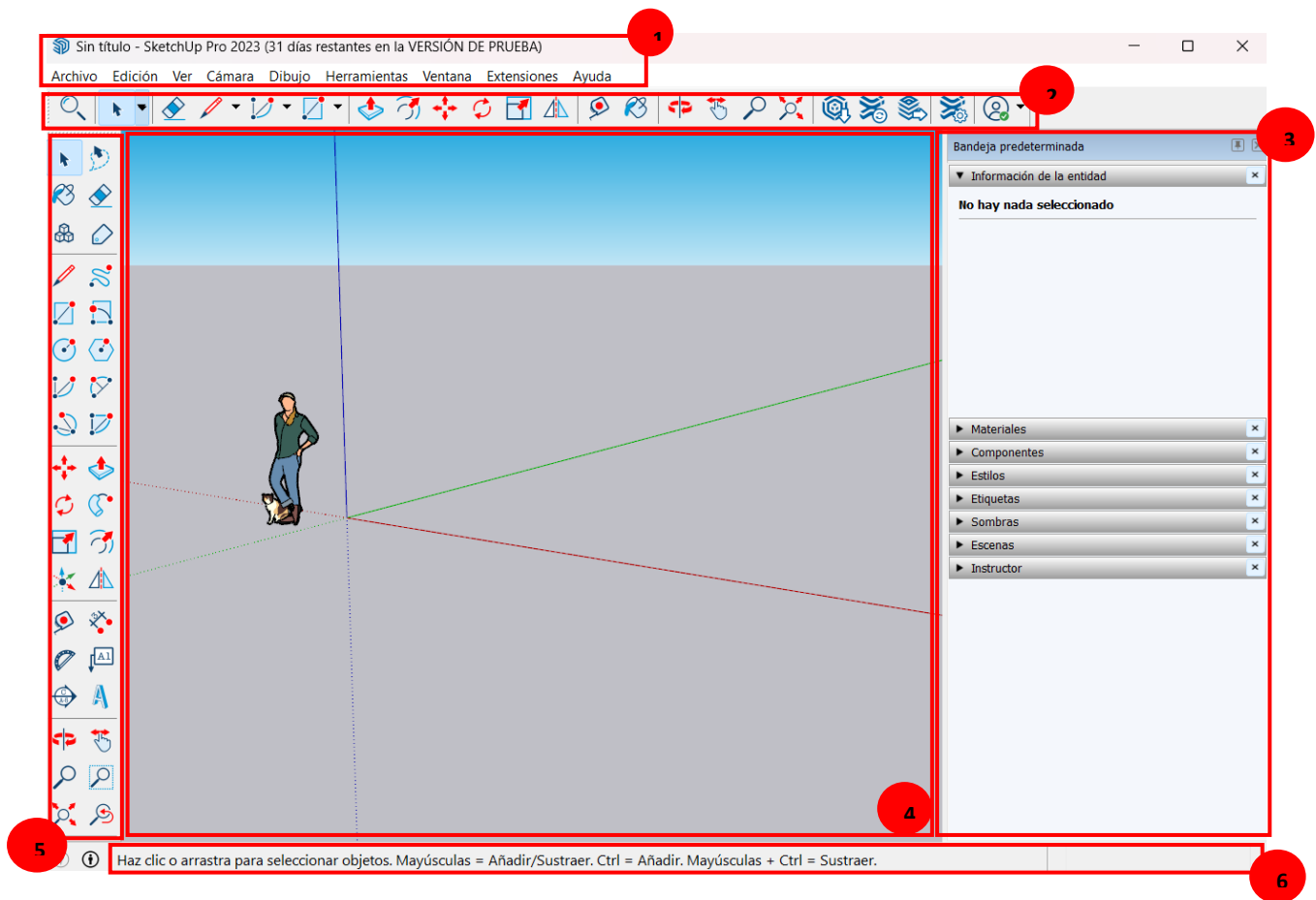


Figura 2.6: Interfaz de usuario y herramientas de trabajo de SketchUp.

1. **Barra de menú (Menu bar):** Es donde se encuentra la mayoría de herramientas que se usa en el entorno Sketchup, junto con los diferentes comandos y configuraciones disponibles.
2. **Barra de herramientas (tool bar):** Situadas en la parte superior de la interfaz, debajo de la barra de menú, es donde aparecen las distintas funciones y opciones necesarias para crear los objetos en 3D y manejar SketchUp con facilidad.
3. **Bandeja predeterminada:** Nos da las opciones de renderizar, utilizar capas o un instructor que puede ayudar a utilizar el programa las primeras veces.
4. **Área de dibujo (drawing area):** Es el espacio en donde se crea el modelo. El espacio 3D del área se identifica visualmente mediante los ejes de dibujo, que son tres líneas de colores perpendiculares entre sí. Estos ejes pueden ser de ayuda para dar un sentido de la dirección en el espacio 3D mientras se está trabajando. En el área de dibujo, nos encontramos con tres ejes, un eje vertical (azul), un eje horizontal (rojo), y un eje de

profundidad (verde). El sistema de coordenadas en 3D que utiliza SketchUp sirve para identificar los puntos en el espacio mediante la posición en la que se encuentran respecto a cada eje, asignando el valor X al eje horizontal, el valor Y al eje vertical, y el valor Z al eje de profundidad.

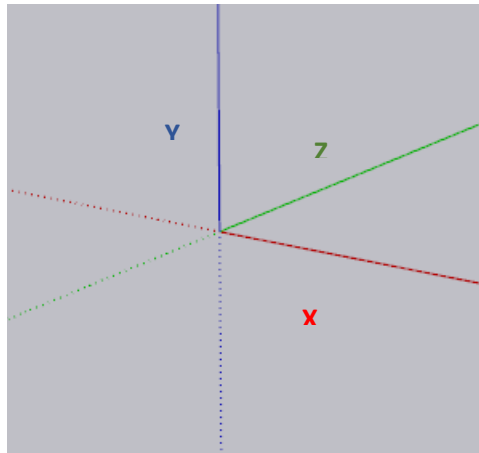


Figura 2.7: Ejes de trabajo en SketchUp.

Las líneas rectas de los ejes significan que el sentido del eje es positivo, mientras que las líneas punteadas significan el sentido negativo de cada eje.

5. **Barra de herramientas (tool bar):** para poder ver dicha barra seleccionaremos en la barra de menú >Ver>Barra de herramientas>Conjunto grande de herramientas. En esta barra tendrás los componentes de seleccionar, pintar, rectángulo, círculo, polígono, mover, rotar, escala, medir, ejes, zoom, borrar, arco, mano alzada, pajar /tirar, texto, texto 3d etc.
6. **Barra de estado (status bar):** Situada en la parte inferior del área de dibujo. En la zona izquierda de la misma aparecen indicaciones sobre las herramientas de trabajo que se están utilizando, mientras que en la parte de inferior derecha está el cuadro de control de valores (CCV).

OpenStudio.

OpenStudio es un conjunto de aplicaciones que permiten modelar edificios y simularlos en conjunto con EnergyPlus, disponible para plataformas como Windows, Mac y Linux. Permite desarrollar un modelo del edificio a través de una interfaz gráfica, como es en este caso SketchUp. Están desarrolladas por NREL (Laboratorio Nacional de Energías renovables de EEUU) y son accesibles en Código Abierto.

OpenStudio es un Plug-in de SketchUp, sirviendo de interfaz entre SketchUp y EnergyPlus. Así pues, mediante este Plug-in se aprovecha la capacidad de generar geometrías en el entorno de SketchUp para definir el modelo térmico del edificio, mediante geometrías y zonificaciones simplificadas. También nos permite configurar otros detalles del modelo como horarios, envolvente del edificio, etc., mediante las herramientas de OpenStudio disponibles en el entorno de SketchUp o accediendo a OpenStudio Application.

OpenStudio Application: Es un programa independiente que permite seguir trabajando en el modelo que se ha generado en el entorno de SketchUp e incorporar más elementos que configuran el modelo de simulación como: datos climáticos, materiales y cerramientos, acristalamiento, horarios, cargas internas, consignas, ventilación, iluminación, etc., para después generar los resultados y simulaciones apropiados.

Descarga e instalacion.

El programa OpenStudio es un Plug-in gratuito cuya instalacion se realiza entrando a la pagina oficial (<https://www.openstudio.net/downloads>).

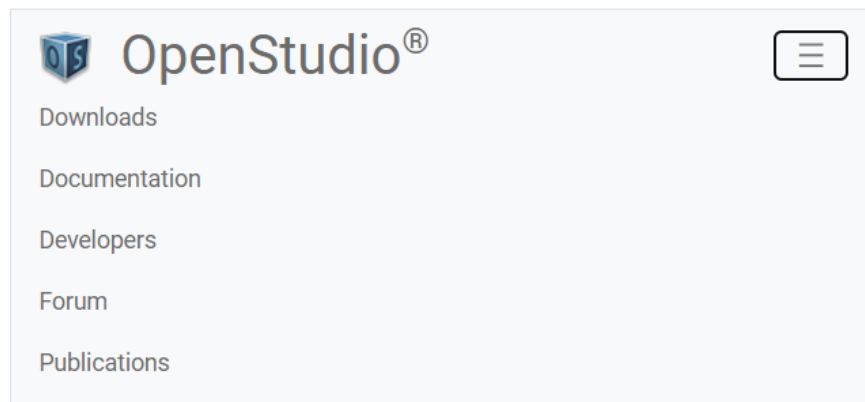


Figura 2.8: Interfaz de pagina web de OpenStudio.

En la pestaña de selección “Downloads” encontraremos la versión más reciente compatible con el equipo. En caso de que se desee instalar alguna de las versiones anteriores, se debe dar click en la pestaña “Releases” y seleccionar manualmente la versión a instalar.

Existe una manera alternativa para instalar el programa, esto es desde la pagina oficial GitHub (<https://github.com/NREL/OpenStudio/releases/tag/v3.6.0>). Esta página es bastante útil debido

a que presenta información detallada acerca de las versiones disponibles y su compatibilidad con los otros programas a utilizar; ya que muestra con qué versión de SketchUp y de EnergyPlus es compatible cada versión que se desee.

▼ Assets 19

| | | |
|---|---------|--------|
| md5sums.txt | 1.15 KB | May 12 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-CentOS-7.9.2009-x86_64.rpm | 197 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-CentOS-7.9.2009-x86_64.tar.gz | 271 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Darwin-arm64.dmg | 182 MB | May 10 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Darwin-arm64.tar.gz | 251 MB | May 10 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Darwin-x86_64.dmg | 195 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Darwin-x86_64.tar.gz | 267 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-20.04-x86_64.deb | 296 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-20.04-x86_64.tar.gz | 296 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-22.04-arm64.deb | 278 MB | May 10 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-22.04-arm64.tar.gz | 278 MB | May 10 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-22.04-x86_64.deb | 295 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Ubuntu-22.04-x86_64.tar.gz | 295 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Windows.exe | 186 MB | May 9 |
| OpenStudio-3.6.0+860f5de185-Windows.tar.gz | 246 MB | May 9 |
| OpenStudio.3.6.0.nupkg | 163 MB | May 19 |

Figura 2.9: Selección y descarga de versión de archivo a Instalar de OpenStudio.

En este caso, la versión de OpenStudio a instalar es la versión 3.6.0, la cual es compatible con SketchUp 2023 y EnergyPlus versión 23.1.0 (no admite otras versiones de EnergyPlus), dicha versión se incluye directamente con el instalador de OpenStudio, por lo que ya no es necesario descargar e instalar EnergyPlus por separado.

| SketchUp Version | Ruby | OpenStudio Application | OpenStudio SketchUp Plug-in |
|-------------------------|-------|------------------------|-----------------------------|
| SU Pro/Studio 2021-2023 | 2.7.1 | v1.2.0 or higher | v1.2.0 or higher |
| SU Pro/Studio 2019-2020 | 2.5.5 | v1.1.0 (v1.1.1 on Mac) | v1.1.0 or higher |

Figura 2.10: Compatibilidad entre versiones de SketchUp y OpenStudio.

Una vez descargada la versión deseada, se ejecuta para iniciar la instalación. Al terminar, se abre SketchUp para verificar si el Plug-in de OpenStudio ya se encuentra dentro del entorno de trabajo de SketchUp. Si el complemento fue activado correctamente, ya se puede dar inicio al modelado.

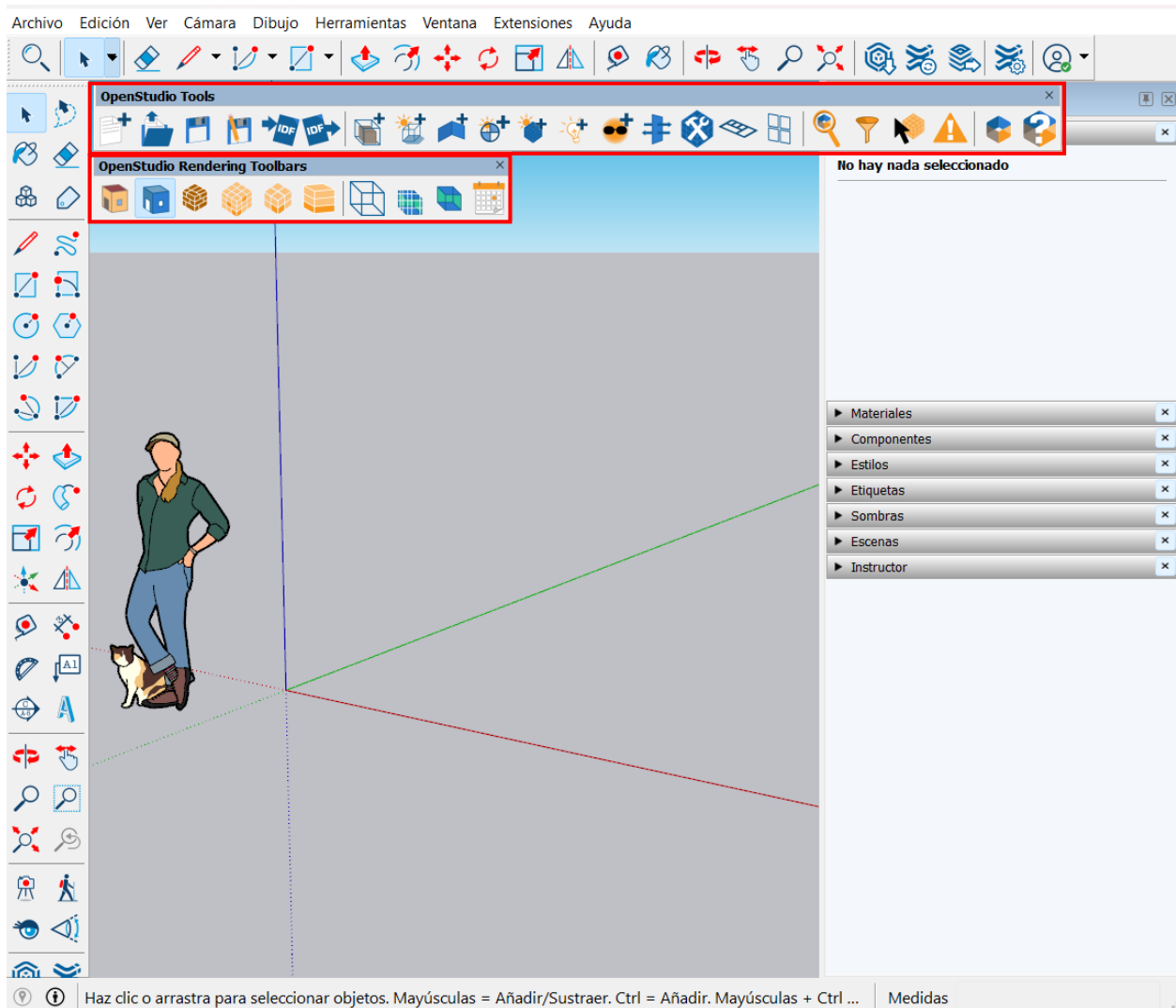


Figura 2.11: Interfaz de usuario de SketchUp con el Plug-in de OpenStudio instalado.

Entorno de trabajo del Plug-in de OpenStudio.

Haciendo uso de la pestaña llamada “Extensiones” ubicada en la misma barra de menú de SketchUp, se puede acceder a una lista donde se encuentran distintos comandos únicamente relacionados con OpenStudio, denominados OpenStudio y OpenStudio User Scripts respectivamente.

OpenStudio: En esta primera opción se abre una lista desplegable que contiene utensilios clasificados en función de su utilidad. Es decir, la lista está formada por grupos. El primer grupo incorpora herramientas como ayuda, actualizaciones, información sobre el programa instalado y preferencias. De forma independiente aparece una herramienta para acceder a la aplicación de OpenStudio. El siguiente grupo está compuesto por opciones de gestión del fichero osm (Nuevo, Abrir, Guardar, importar, exportar). Después se encuentran opciones relacionadas con la creación de diferentes objetos (Espacios, Sombras, Particiones Interiores, Iluminación), la creación o modificación del modelo, y una serie de opciones relacionadas con tipos de renderizado. La última opción de la lista sirve para acceder a algunas herramientas de SketchUp.

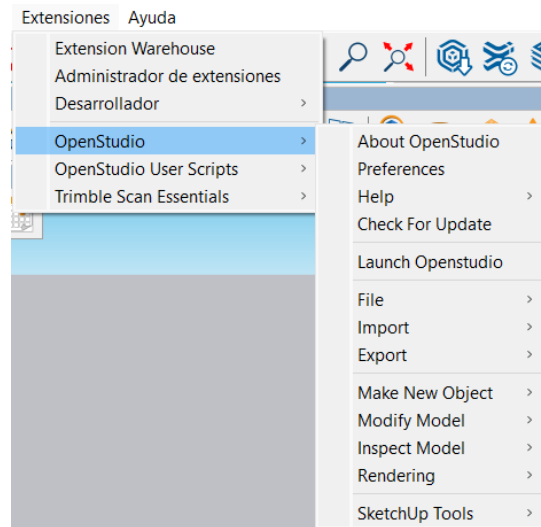


Figura 2.12: Extensión de OpenStudio.

OpenStudio User Scripts: En la segunda opción de la ventana Extensiones aparece esta herramienta. Cuando se accede a OpenStudio User Scripts, se abre una ventana con una lista desplegable. Una de las opciones más usadas es la opción para Alterar o modificar elementos, en ella se encuentran herramientas útiles como: Añadir zonas térmicas para espacios que no las tienen, añadir control de sombreado, asignar nuevos espacios en zonas construidas, renombrar zonas térmicas a base de los nombres de los espacios, entre otras. Una segunda opción de la lista de User Scripts sirve para reconducir directamente a la biblioteca de componentes. La siguiente herramienta más usada, On Demand Template Generators, se usa para añadir nuevas plantillas, como espacios o construcciones. Finalmente, están las opciones menos frecuentes como Visualización, Reporte y creación de formas de vivienda estándar.

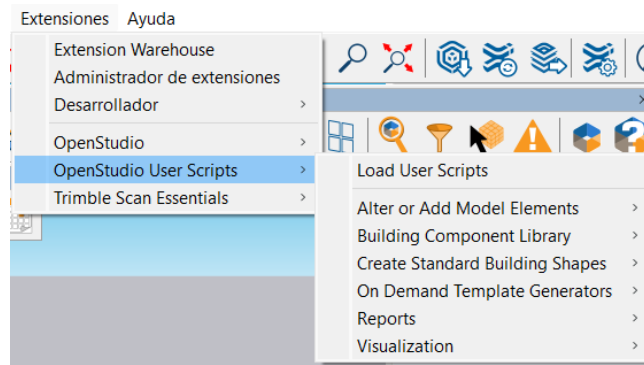


Figura 2.13: Extensión de OpenStudio User Scripts.

Barra de OpenStudio Tools: Contiene las herramientas relacionadas con opciones de gestión de ficheros OpenStudio (.osm), modelado e información de objetos.



Figura 2.14: Barra de Herramientas de OpenStudio.

Siguiendo un orden de izquierda a derecha, las opciones que se muestran en la barra de OpenStudio Tools son:

- Nuevo modelo de OpenStudio .osm
- Abrir modelo de OpenStudio .osm
- Guardar modelo de OpenStudio .osm
- Guardar modelo de OpenStudio como .osm
- Importar .idf
- Exportar .idf
- Crear recinto nuevo
- Crear sombra nueva
- Crear una nueva partición interior
- Crear un sensor de iluminación
- Crear un mapa de iluminación
- Crear un sensor de deslumbramiento
- Combinación de superficies
- Asignar atributos
- Crear espacios desde plantas
- Proyectar geometría

- Inspector
- Buscar superficies
- Información de superficies
- Mostrar errores
- Acceso a OpenStudio
- Ayuda de OpenStudio.

Las herramientas para la gestión de archivos se encuentran presentes en la primera sección de la figura 2.14. A continuación, se explicará brevemente para qué sirve cada una de estas herramientas.

Nuevo modelo de OpenStudio (New OpenStudio model): Con esta herramienta se puede crear un nuevo archivo modelo de OpenStudio, y si ya tiene creado uno y le da a esa pestaña, el modelo actual se cierra y crea uno nuevo.

Abrir modelo de OpenStudio (Open OpenStudio model): Con esta herramienta, se abre un modelo de OpenStudio que ya hayamos creado anteriormente y lo tengamos guardado. Algo que hay que tener en cuenta es que los archivos de OpenStudio tienen que ser de la misma versión del OpenStudio instalado; si es otra versión, el archivo no abrirá.

Guardar modelo de OpenStudio (Save OpenStudio model): Esta herramienta guarda el modelo de OpenStudio como un archivo OpenStudio que tendrá la extensión .osm. Si nosotros guardamos el archivo .osm y luego guardamos el modelo SketchUp con extensión .skp, el modelo SketchUp mantendrá un enlace con el modelo de OpenStudio .osm. Todo el contenido energético del modelo se guarda en el archivo .osm, ya que SketchUp solo sirve para la geometría de la edificación.

Guardar modelo de OpenStudio como (Save OpenStudio model as): Esta herramienta guarda el modelo OpenStudio como un nuevo archivo .osm. Para ello, se puede guardar con otro nombre en la misma ubicación donde ya ha estado el archivo o en una nueva ubicación con el mismo nombre. Es necesario que el archivo del modelo OpenStudio tenga una extensión finalizada en .osm, sino no se guardará, aunque se pueda modificar manualmente la extensión.

Importar archivo idf de EnergyPlus (Import EnergyPlus idf): La extensión .idf hace referencia a los archivos de datos de entrada de EnergyPlus. Cuando se importa un modelo .idf, el modelo .osm actual se cierra y se crea uno nuevo de .idf. Cuando se guarda el modelo .idf después de haberlo importado, se pide que sea guardado como un archivo .osm.

Exportar archivo idf de EnergyPlus (Export EnergyPlus idf): Esta herramienta sirve para exportar un archivo .idf desde un modelo creado de .osm. Como se ha mencionado en el apartado anterior, algunos datos del modelo se pueden perder al exportarlo a .idf porque el formato del

archivo .osm admite muchos objetos que no están disponibles en EnergyPlus. En el caso de exportar de un modelo .osm a un archivo .idf y luego le damos reimportar en OpenStudio, los elementos no admitidos desaparecerán. Para un buen funcionamiento mejor se recomienda trabajar siempre sobre un archivo .osm y simularlo en EnergyPlus desde OpenStudio Application.

OpenStudio Application

Una vez se ha creado el modelo del edificio con sus atributos, el siguiente paso es acceder a OpenStudio Application. En este entorno se añaden nuevos parámetros relacionados con el edificio. Se suele usar para agregar cargas internas, materiales, conjuntos de construcciones, sistemas térmicos y más. La aplicación se puede abrir directamente desde el complemento SketchUp mediante el icono de Launch OpenStudio situado en la barra de herramientas de OpenStudio o bien abriendo el archivo desde la propia aplicación.

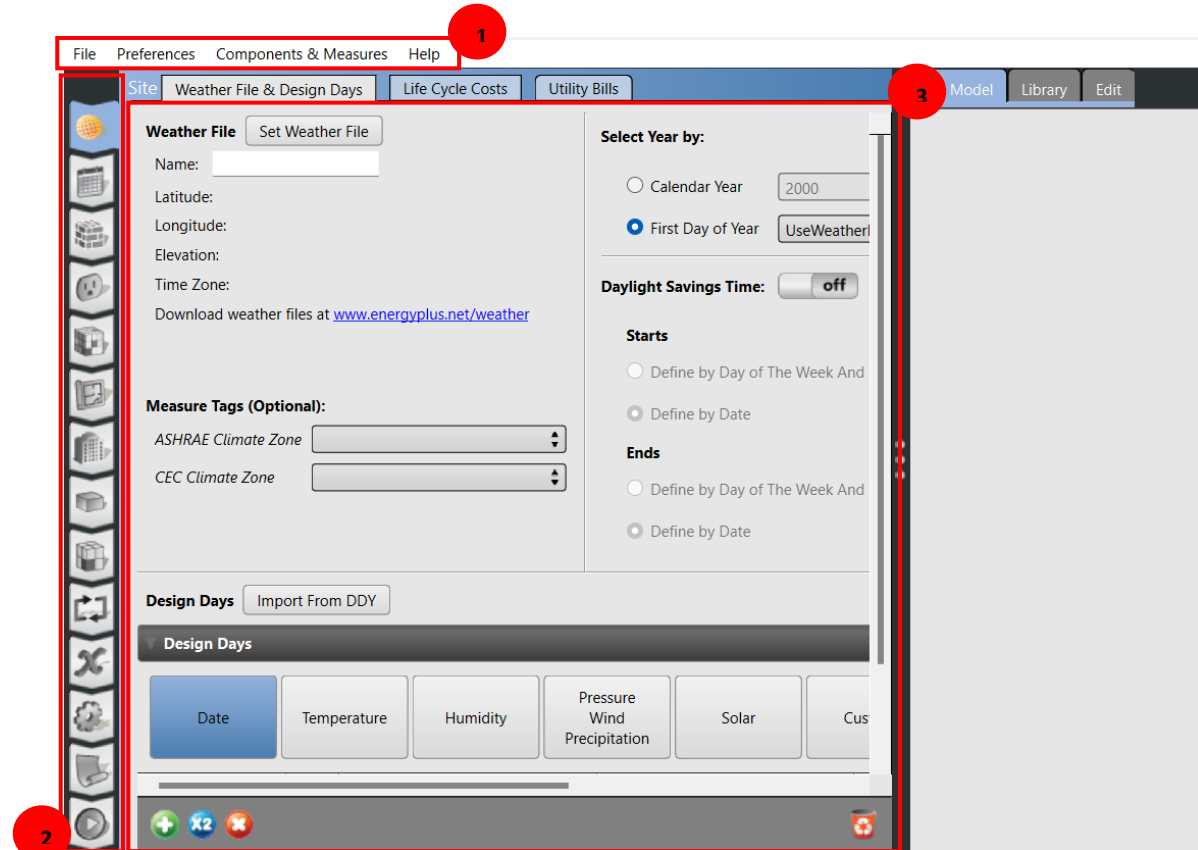


Figura 2.15: Interfaz de usuario de OpenStudio Application donde se encuentra: 1) Barra de herramientas, 2) Categorías y 3) Detalles y elementos de cada categoría.

EnergyPlus.

EnergyPlus es un programa de simulación diseñado para modelar edificios con sus respectivos sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Este motor de simulación fue diseñado para ser un elemento dentro de un sistema de programas que incluiría una gráfica interfaz de usuario para describir el edificio, como en este caso SketchUp y OpenStudio.

Está desarrollado por el Departamento de Energía (DOE) del gobierno de EEUU, siendo uno de los programas más reconocidos en el ámbito de la simulación energética. Tiene sus raíces en los programas BLAST y DOE-2. BLAST (Construcción de Análisis de cargas y Termodinámica del Sistema). Es un programa muy utilizado por ingenieros de diseño o arquitectos a nivel internacional que busca dimensionar equipos con sistemas HVAC, generar simulaciones con las características y datos del edificio, optimizar los rendimientos energéticos, etc., preocupaciones que se generaron a raíz de la crisis energética de los años 70 y se intentaron resolver mediante esos dos programas. Así pues, como se ha mencionado, EnergyPlus es un programa utilizado para el análisis energético y la simulación de cargas de un edificio descrito por el usuario, teniendo en cuenta su construcción, los sistemas asociados, etc. Este calculará las cargas caloríficas y frigoríficas para mantener las condiciones térmicas definidas por los controles termostáticos, los consumos de los equipos de cada planta, como también otros muchos detalles que son necesarios para verificar que la simulación está actuando como el edificio original.

A continuación, se presentan algunas de las características más importantes de dicho programa:

- Solución integrada y simultánea de las condiciones de la zona térmica y del sistema HVAC.
- Solución basada en el equilibrio térmico de efectos radiantes y convectivos que producen temperaturas superficiales, confort térmico y cálculos de condensación.
- Posibilidad de introducir archivos meteorológicos de la zona en la que se encuentra.
- Archivos de texto de entrada, salida y tiempo basados en código ASCII.
- La solución de balances térmicos permite el cálculo simultáneo de efectos radiantes y convectivos, tanto en el interior como en el exterior de una superficie.
- Permite la conducción de calor a través de elementos de construcción como paredes, techos, pisos, etc., utilizando funciones de transferencia de calor.
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa que explica el movimiento del aire entre las zonas.
- Modelos de confort térmico basados en actividad, bulbo seco, humedad, etc.
- Sistemas HVAC configurables basados en bucle (convencionales y radiantes) que permiten a los usuarios modelar sistemas típicos.

- Resumen estándar e informes de salida detallados, así como informes definidos por el usuario con resolución de tiempo seleccionable de anual a subhorario.

Descarga e instalación.

El programa se puede descargar desde la página oficial de EnergyPlus (<https://energyplus.net/downloads>)

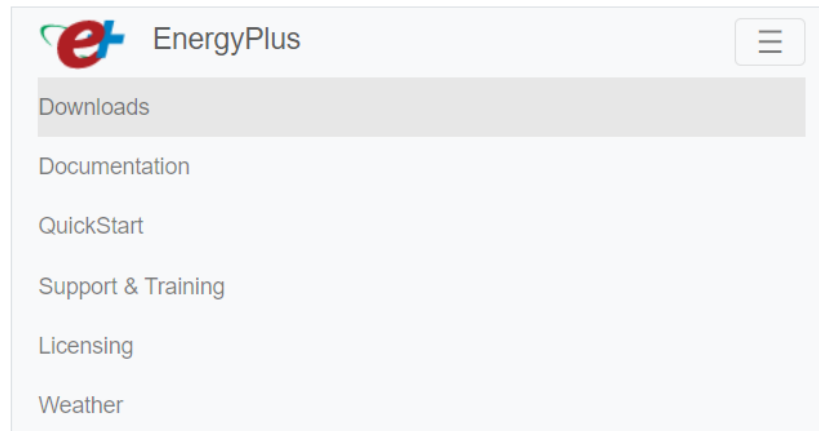


Figura 2.16: Interfaz de página web de EnergyPlus.

En la pestaña de selección “Downloads” encontraremos la versión más reciente compatible con el equipo. En caso de que se desee instalar alguna de las versiones anteriores, se debe dar click en la pestaña “Releases” y seleccionar manualmente la versión a instalar en función del sistema operativo del que se disponga (Windows, Linux o Mac). En este caso, la versión a instalar es la 23.1.0, la cual es compatible con las versiones ya instaladas tanto de SketchUp como de OpenStudio.

Además de esto, en la página oficial de EnergyPlus, es necesario entrar en el apartado de “Weather” y seleccionar los datos meteorológicos necesarios en función de la zona de análisis. En este caso, se selecciona “North and Central América” y a continuación, se presentan los datos meteorológicos de los países de dicha zona. Basta con seleccionar “SLV-El Salvador” y descargar el o los archivos necesarios para el análisis.

Weather Data by Country

All Regions - North and Central America (WMO Region 4) - El Salvador

Select a location.

| |
|--------------------------------------|
| Acajutla 786500 (SWERA) |
| San Salvador-Ilopango 786630 (SWERA) |

Figura 2.17: Descarga de archivos meteorológicos para la región de análisis (El Salvador).

Entorno de trabajo de EnergyPlus.

Es importante entender que no siempre hubo softwares complementarios para el programa de EnergyPlus, por esto, hace unos años, la única forma de introducir datos y realizar simulaciones era mediante EP-Launch (Dicha herramienta sigue siendo de utilidad en caso que no se desee interactuar con otros programas).

EP-Launch: Es un componente opcional de la instalación especialmente diseñado para los usuarios que quieran una forma fácil de seleccionar archivos y ejecutarlos con EnergyPlus. Desde EPLaunch se introducirán el fichero IDF con los datos de entrada y el fichero de datos meteorológicos mediante la pestaña Browse situada abajo de Input File y Weather File. Además, EP-Launch puede ayudar a abrir un editor de texto (IDF Editor) para los archivos de entrada y salida, abrir una hoja de cálculo una vez procesados los resultados, un explorador web para la visualización de archivos en formato de tablas, e iniciar un visor para archivo de dibujo, entre otros.

En el apartado View Results de EP-Launch se encuentran distintos tipos de ficheros para la visualización de los resultados. Algunos de ellos son:

Variable: Resultados tabulados de forma variable en formato delimitado por comas, tabulaciones o espacios.

ESO: Salida variable de informe sin procesar.

RDD: Lista de variables de salida disponibles desde la ejecución.

MDD: Lista de medidores de salida disponibles desde la ejecución.

EIO: Resultados EnergyPlus adicionales.

MTD: Lista de variables del componente del medidor.

Meters: Informe del medidor tabulado en formato delimitado por comas, tabulaciones o espacios.

SVG: Diagrama de HVAC.

DXF: Archivo de dibujo en formato AutoCAD DXF.

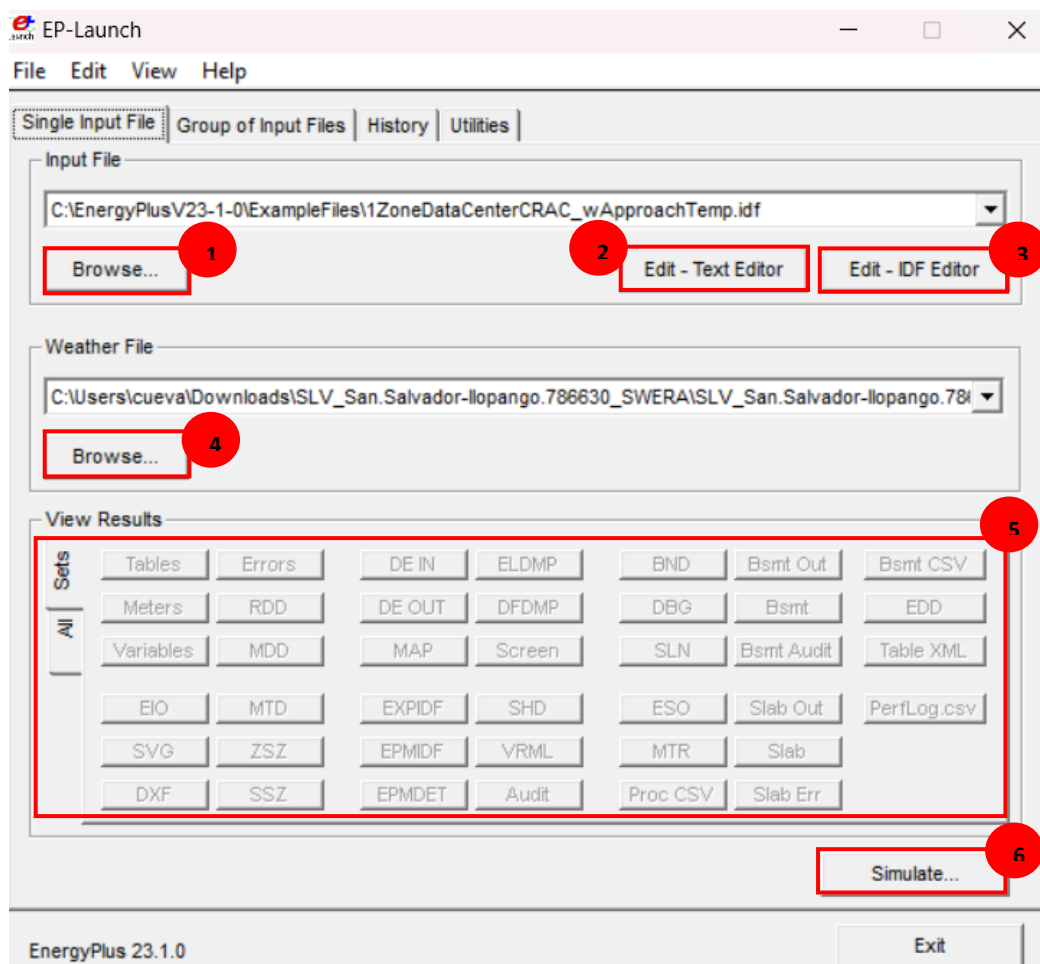


Figura 2.18: Ventana principal de EP-Launch donde se encuentra: 1) Selección de archivo IDF de entrada para iniciar la simulación, 2) Editor de texto, 3) Editor del archivo IDF, 4) Selección del archivo de zona climática, 5) Archivos de resultados y 6) Iniciar simulación.

CAPITULO III: LEVANTAMIENTO ARQUITECTONICO

Luego de haber descargado e instalado los programas, así como también entender su funcionamiento y entorno de trabajo, es posible dar inicio a la creación de la geometría en general para el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en Mejicanos.

Es importante recalcar que hubo limitaciones a la hora de llevar a cabo el proyecto, no se pudo llegar a un acuerdo entre las instituciones para permitir la autorización de uso de equipos de medición dentro de las instalaciones, además de inhabilitar el acceso a documentos importantes como los planos arquitectónicos del lugar. Dichos planos eran necesarios para realizar el modelado del edificio. Debido a esto, fue necesario hacer uso de programas y herramientas para obtener datos de manera empírica, es decir, solo con la observación del lugar en base al acceso permitido a cualquier persona particular.



Figura 3.1: Vista desde el exterior del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en Mejicanos.

Para obtener las medidas del lugar, inicialmente se realizaron visitas y toma de mediciones, además de hacer uso del programa de Google Earth Pro. Adicional a esto, para la suerte del caso, mientras se desarrollaba esta tesis fue publicada otra tesis que su caso de estudio era en otro

Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades llamada: “ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO)”.

En este documento, se muestra cómo se llevaron a cabo mediciones precisas utilizando una cinta métrica Toolcraft, tal como se ilustra en la Figura 3.2, con el objetivo de obtener las dimensiones exactas de 11 metros por 15 metros. Estas mediciones fueron cruciales para determinar con precisión el área total de la estructura, que se calculó como 165 m².



Figura 3.2: Proceso de medición del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO).

Creación de modelo en Sketchup.

Como primer paso, es posible descargar alguna plantilla de OpenStudio de internet para obtener datos sobre construcciones, cargas, zonas climáticas, equipos eléctricos, entre otros. Las plantillas pueden ser útiles para obtener valores para la simulación energética ya prescritos y normalizados, que de otra manera deberíamos escribir nosotros mismos. Simplemente, se ha de elegir el modelo que más se asemeje al edificio de estudio.

Como en este ejemplo puede ser un edificio de escuela de menores, se escogerá de todas las opciones que aparecen en la lista Space Types, la definición de Primary School. Cuando se acepta esa plantilla, se descargan datos relacionados con una escuela predefinida, con lo que se obtendrán valores ya definidos de horarios, construcciones, cargas internas, etc. Con la plantilla se puede simplificar el trabajo, pero no quiere decir que el edificio real se comporte como dicha plantilla, por lo que en algunos aspectos puede que sea importante describir los parámetros propios y únicos del edificio.

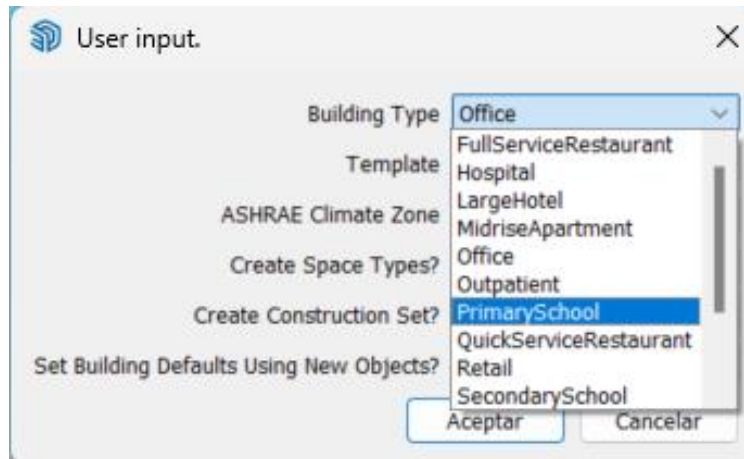


Figura 3.3: Selección de plantilla.

Una vez seleccionada la plantilla, se puede iniciar con el levantamiento. Como primer paso, se debe crear un nuevo grupo de espacio por medio de la herramienta **New Space** siguiendo estos pasos:

1. Con la herramienta New Space activada, se hace clic en el punto donde se quiera crear el nuevo espacio.
2. Para poder editar ese nuevo espacio, se ha de hacer doble clic en él.
3. Se procede a dibujar la base y la geometría del nuevo espacio.

Una vez que, dentro de un espacio, se puede dibujar cualquier superficie, también se pueden agregar grupos de sombreados, particiones interiores, etc. También se pueden generar nuevos espacios copiando y pegando a otros espacios previamente creados.

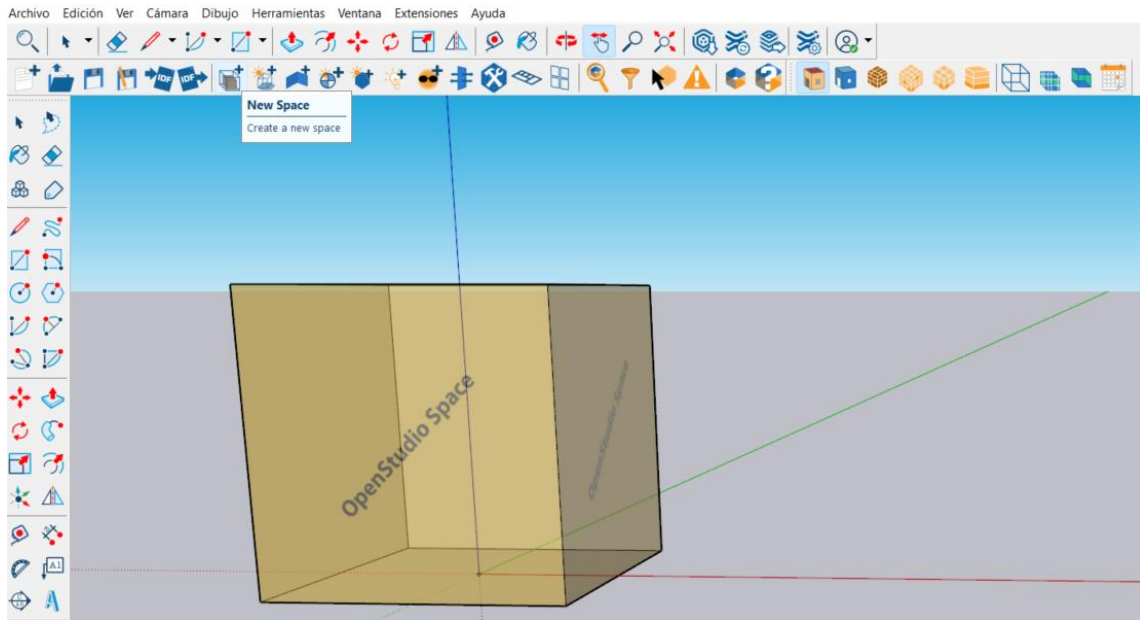


Figura 3.4: Creación del nuevo espacio.

Ahora con la herramienta rectángulo, se puede hacer el edificio haciendo uso de la herramienta **lápiz** dándole las medidas adecuadas según lo obtenido tras las visitas al lugar.

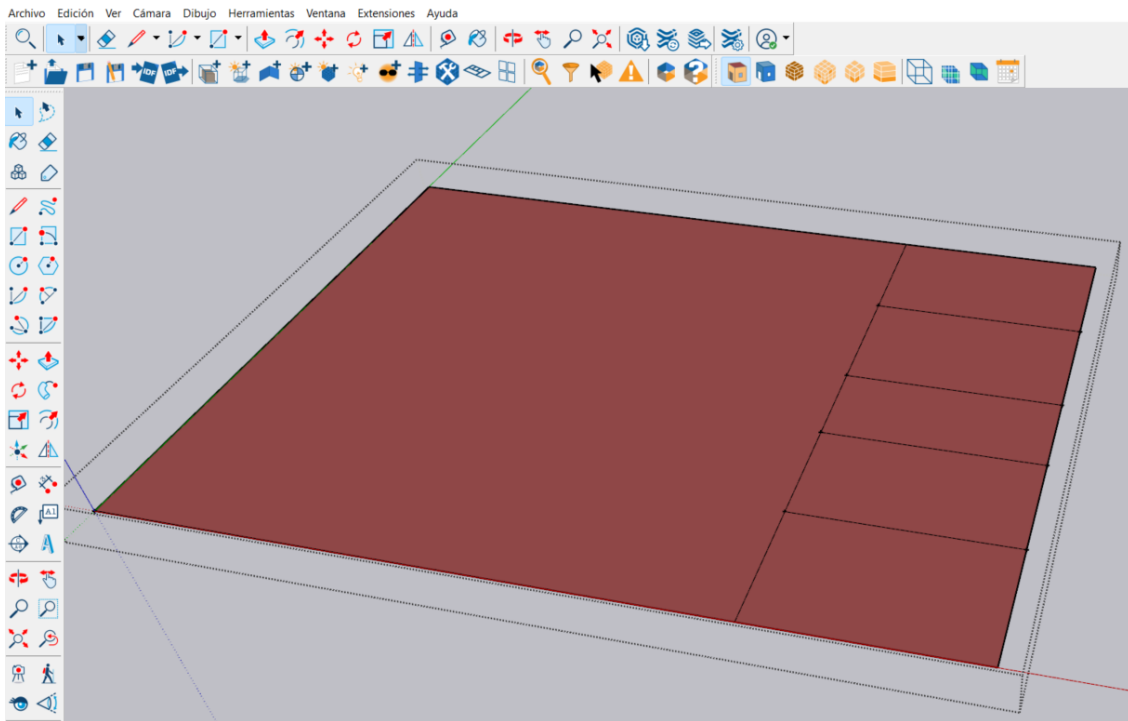


Figura 3.5: Líneas de división hechas con la herramienta Lápiz.

Una vez hecho esto, se selecciona todo el dibujo y con la herramienta **Create Spaces From Diagram**, se hace el levantamiento del edificio dándole la altura correspondiente a cada nivel según los datos obtenidos tras las visitas, además, se indica si el edificio de estudio cuenta con uno, dos, tres o más niveles. Para este caso, el CUBO de Mejicanos cuenta con una altura de 3m y dos niveles.

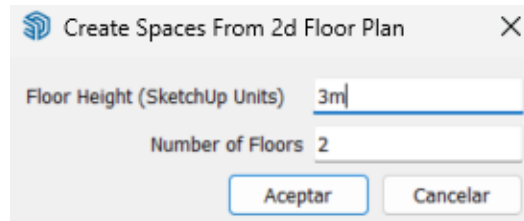


Figura 3.6: Introducción de número de pisos y altura del techo.

Al terminar esto, es importante hacer uso de la herramienta **Surface Matching**. Esta herramienta se utiliza para identificar las intersecciones entre los diferentes espacios, de forma que cada espacio reconoce sus recintos adyacentes, así los elementos quedan interseccionados. Tras usar la herramienta, se abrirá un cuadro de diálogo y se deberá aplicar de forma sucesiva las opciones de Intersect in Entire Model y Match in Entire Model que se muestran en la figura 3.7.

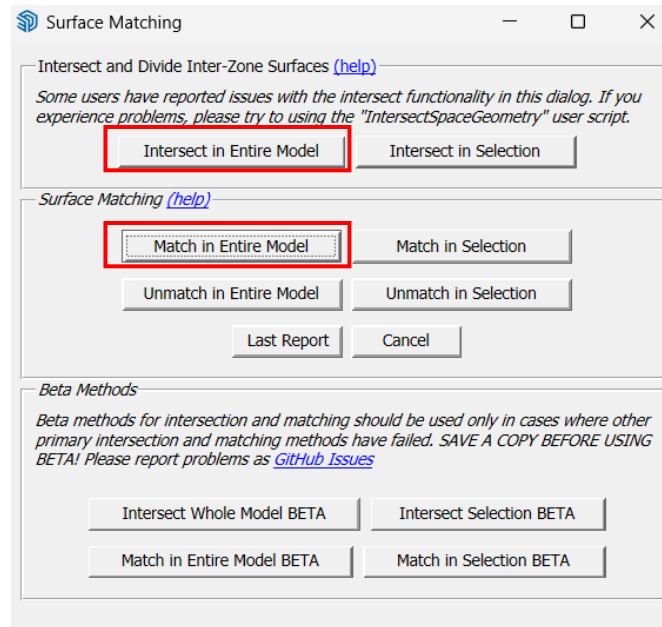


Figura 3.7: Ventana emergente de surface Matching.

La creación de las ventanas y puertas se hace por medio de las líneas de referencia y del uso de la herramienta rectángulo. Es necesario dar doble clic sobre el bloque de interés y luego dibujar la ventana o puerta para que el programa los detecte como tal.

Se debe repetir este procedimiento para todas las puertas y ventanas que tenga el edificio. La manera más fácil de hacerlo es por medio de la herramienta **Ocultar Resto del Modelo**, ya que esto nos permite enfocarnos únicamente en el bloque de interés, evitando así posibles errores a la hora de dibujarlas.

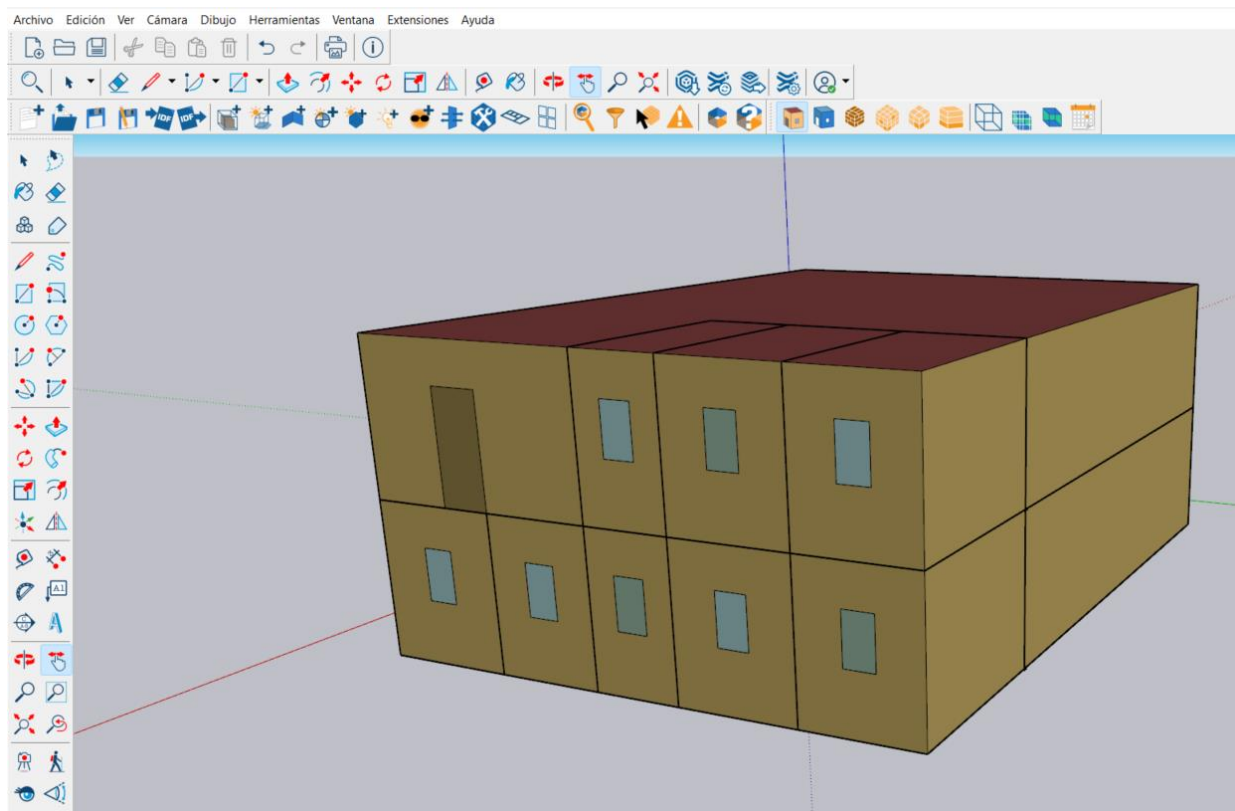


Figura 3.8: Puertas y ventanas creadas.

En caso de que el edificio tenga sombras, estas se crean por medio de la herramienta **New Shading Surface Group**. Una vez seleccionada esta herramienta, se hace el mismo procedimiento que con las paredes, creando líneas de referencia y posicionándolas sobre las paredes, techos, puertas o ventanas que deben estar. Para verificar si las sombras fueron creadas con éxito, estas deben aparecer de color morado tal como se muestra en la Figura 3.9.

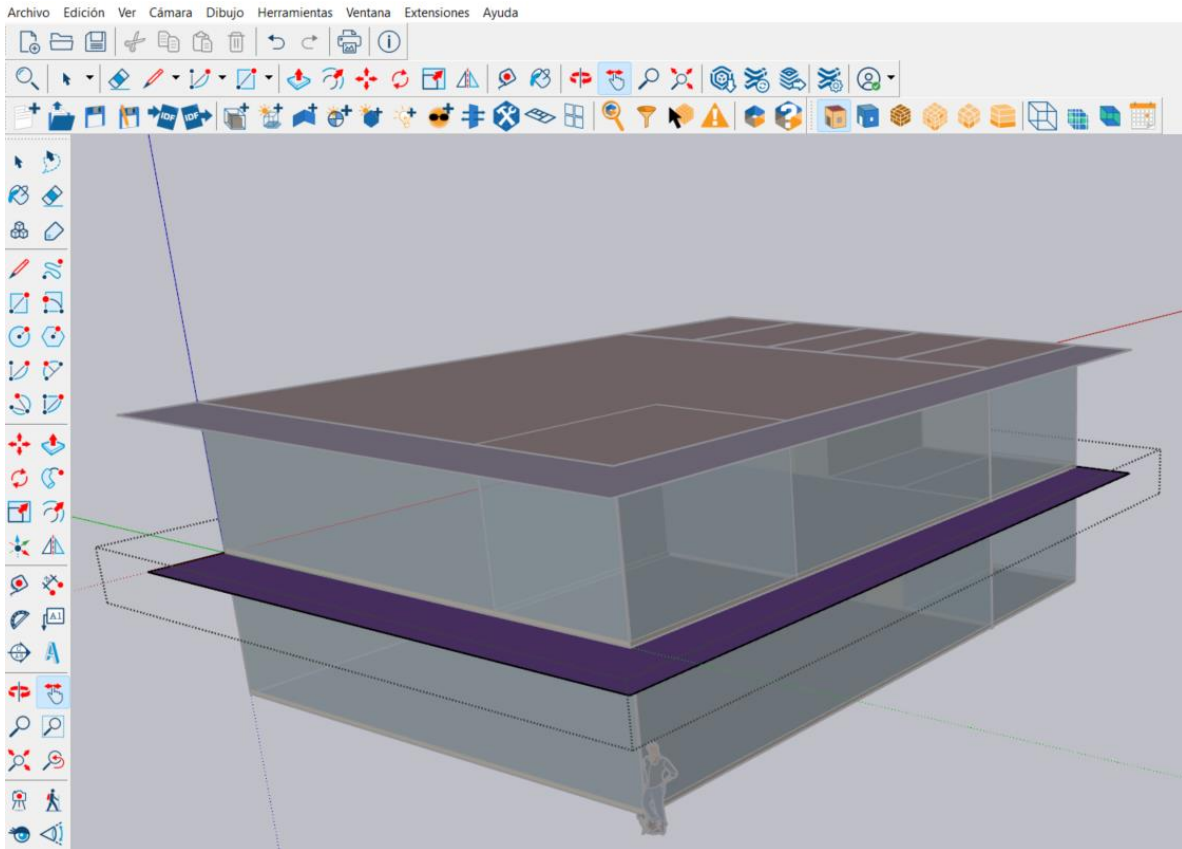


Figura 3.9: Creación de Sombras.

A continuación, es momento de introducirle información al programa respecto a qué nombre, ubicación y orientación tendrá cada muro, techo, puerta, ventana, y cada elemento del modelo.

Para esto, se hace uso de la herramienta **Open Studio Inspector**, y determinaremos el nombre de la zona en la que nos encontramos donde dice Space Name. Escribimos un nombre que haga alusión a lo que representa en el modelo. Por ejemplo, en la Figura 3.10, se selecciona el muro que pertenece a la sección norte del salón de usos múltiples. Por tanto, en el apartado de Space Name se le asignó el nombre de “Muro salón norte”.

Adicionalmente a esto, con la herramienta **Open Studio Inspector**, también se pueden modificar apartados como si el bloque seleccionado está expuesto al sol, expuesto al viento, etc. Además de poder editar, en caso que el programa detectara mal, si el bloque es una superficie como piso, pared o techo.

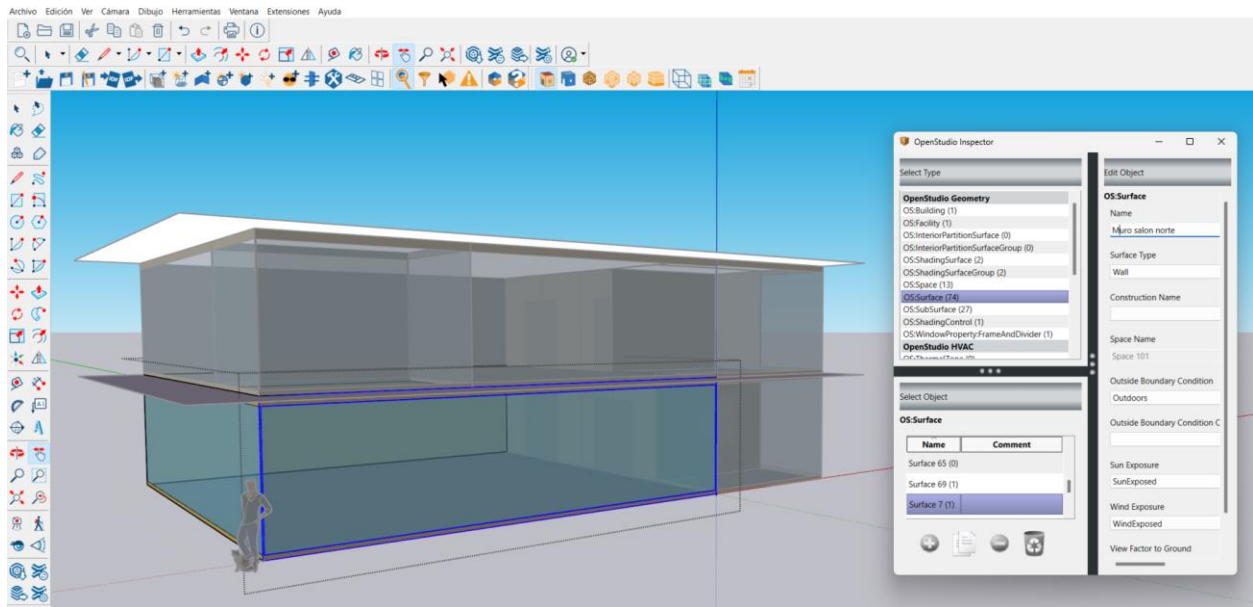


Figura 3.10: Asignación de nombres y espacios.

Para que el programa sepa en qué zona estará ubicado el modelo creado, se hace uso de la herramienta **Geolocalización**; para esto, se selecciona la opción Ver>Animación>Ajustes. Luego se selecciona Geolocalización y damos en definir localización manual como se muestra en la figura 3.11.

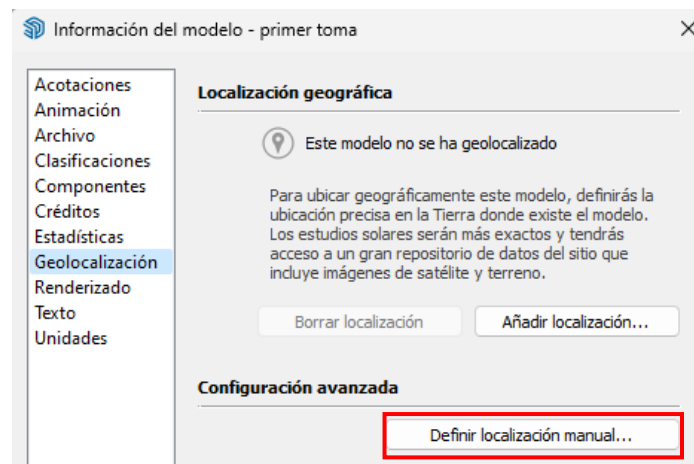


Figura 3.11: Definición de localización del modelo manualmente.

A continuación, se introducen los valores de altitud y latitud de la zona y el programa automáticamente detectará la ubicación del edificio.

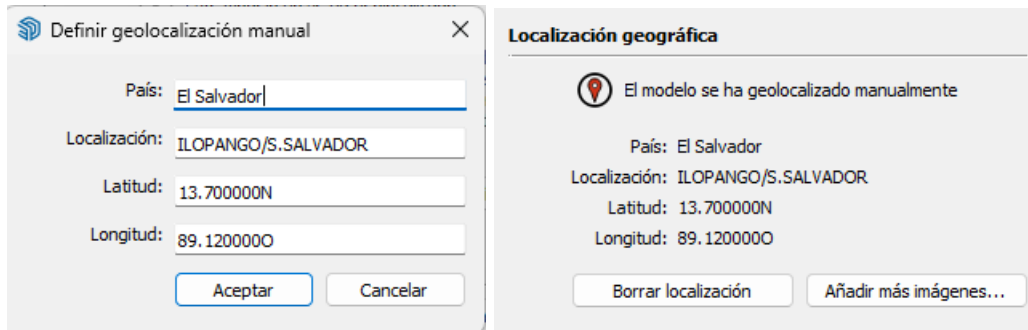


Figura 3.12: Introducción de valores de altitud y latitud de la ubicación del edificio.

OpenStudio.

Este programa tiene muchas herramientas. A continuación, se verán las características principales y su utilidad aplicada al modelo del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades.

Sitio (Site): Sirve para ver la información general sobre datos. En ella se encuentra un ícono que dice Weather file, en el cual se introduce el archivo del clima con extensión .epw (energyplusweather) que fue descargado desde la página oficial de EnergyPlus anteriormente.

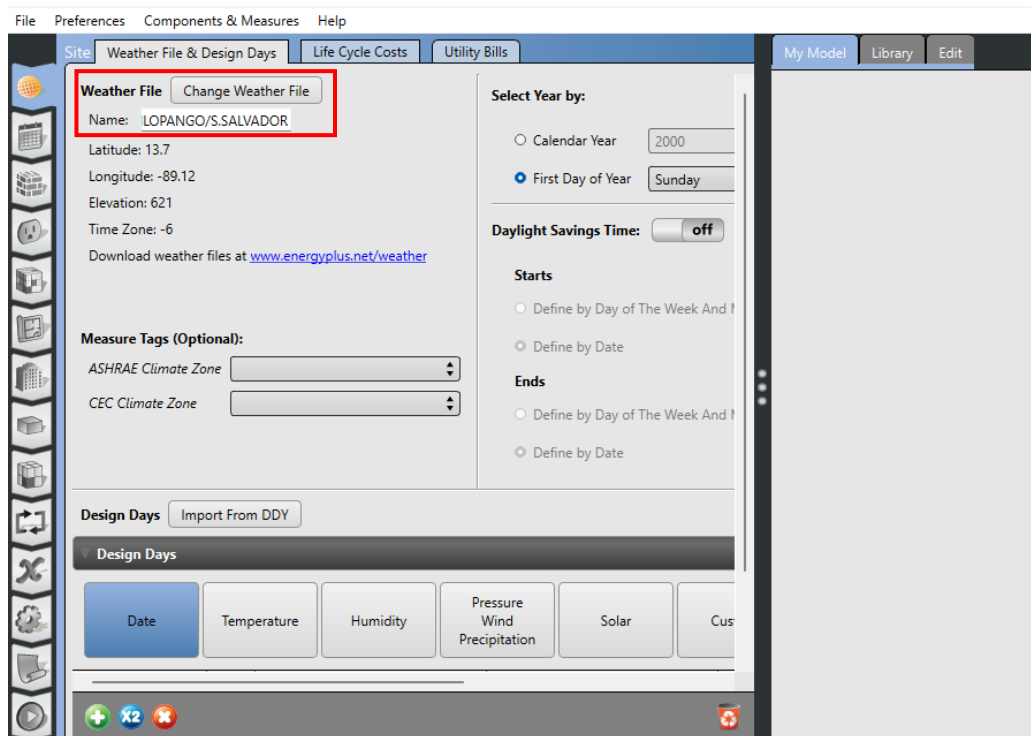


Figura 3.13: Información general e introducción del archivo de clima de la zona de interés.

Horarios (Schedules): En este, se podrán crear los horarios de la actividad de cada persona y de cada aparato eléctrico que se encuentre en la edificación, poniéndole prioridad de los días en que estarán encendidos. Se muestra cuántas personas y cuántas horas van a laborar en ciertas zonas del edificio, además de esto se muestra cuáles aparatos se utilizarán y las horas que estarán en uso.

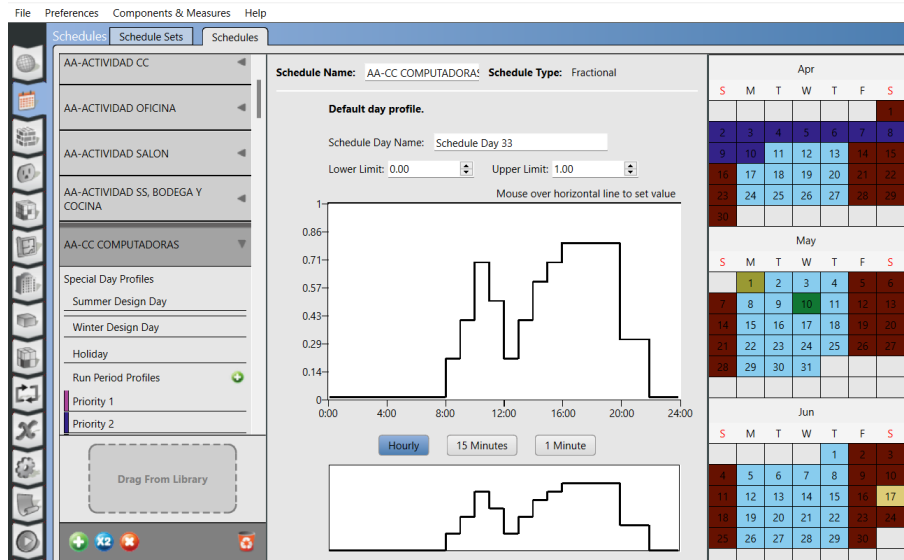


Figura 3.14: Creación de horarios de trabajo tanto para personal como equipos eléctricos.

Construcciones (Constructions): Esta opción contiene todo lo relacionado con los materiales de la construcción de cada una de las superficies creadas, tales como paredes, puertas, ventanas, techos, etc. si se escogió una plantilla del modelo, estas serán seleccionadas por defecto y pueden ser editadas para definir de qué materiales se desea cada superficie.

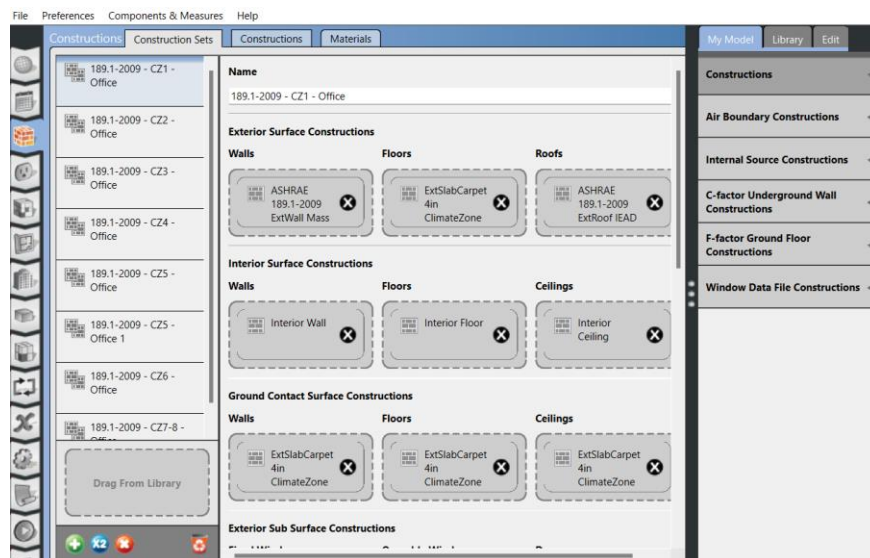


Figura 3.15: Tipos de materiales de los que estará hecha la construcción del edificio.

Luego de establecer de qué material estará construida cada parte del edificio, haciendo uso de la herramienta **Render By Construction** en Sketchup o directamente en OpenStudio, es posible visualizar cómo cada objeto de sombra, pared, puerta, techo, etc. tiene un color distinto.

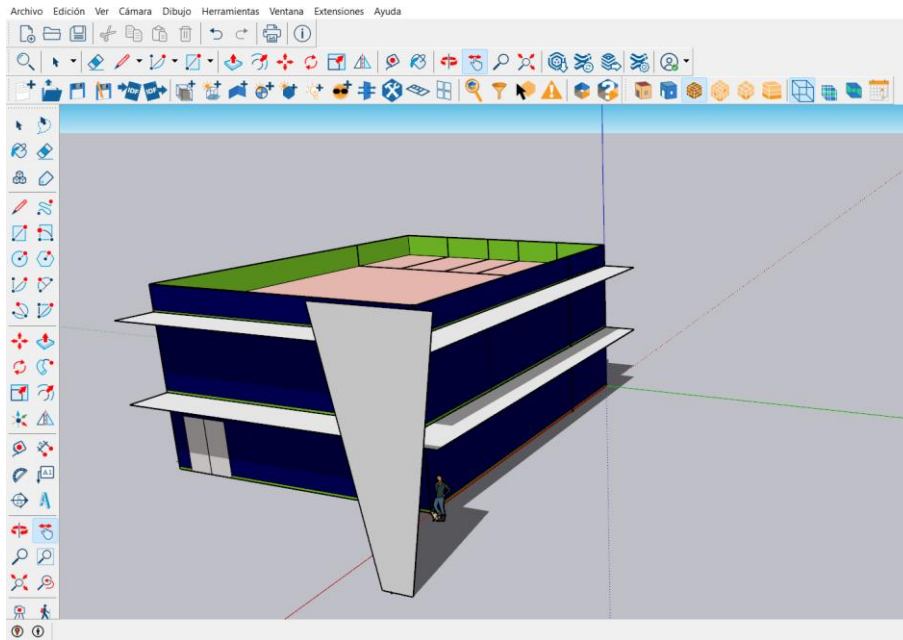


Figura 3.16: Visualización del CUBO por medio del renderizado por construcción.

Cargas (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.

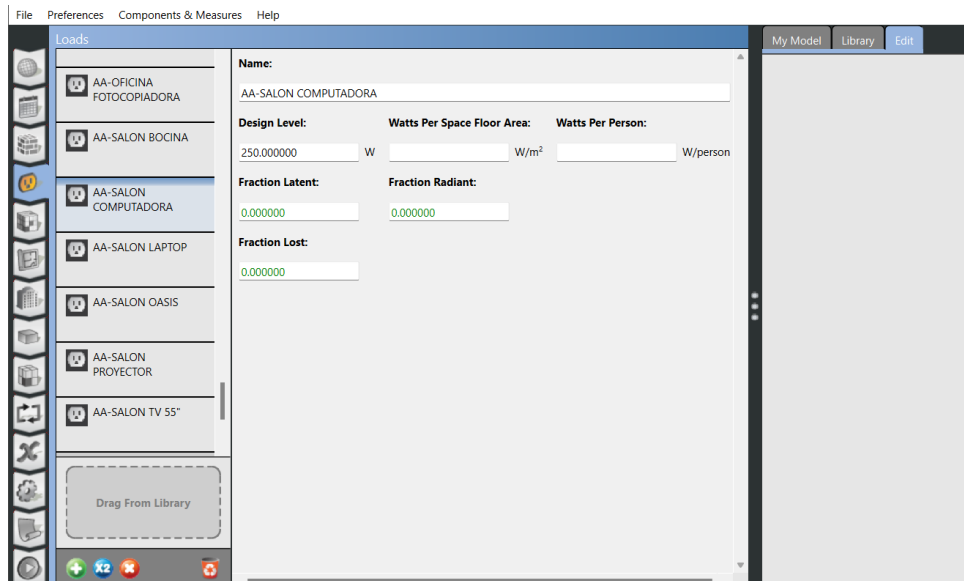


Figura 3.17: Creación de cargas de personas, equipos y luminarias.

Tipos de Espacio (Space Types): Esta pestaña 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, es necesario agregar cada uno de los diferentes tipos de espacio que se considere tendrá el edificio.

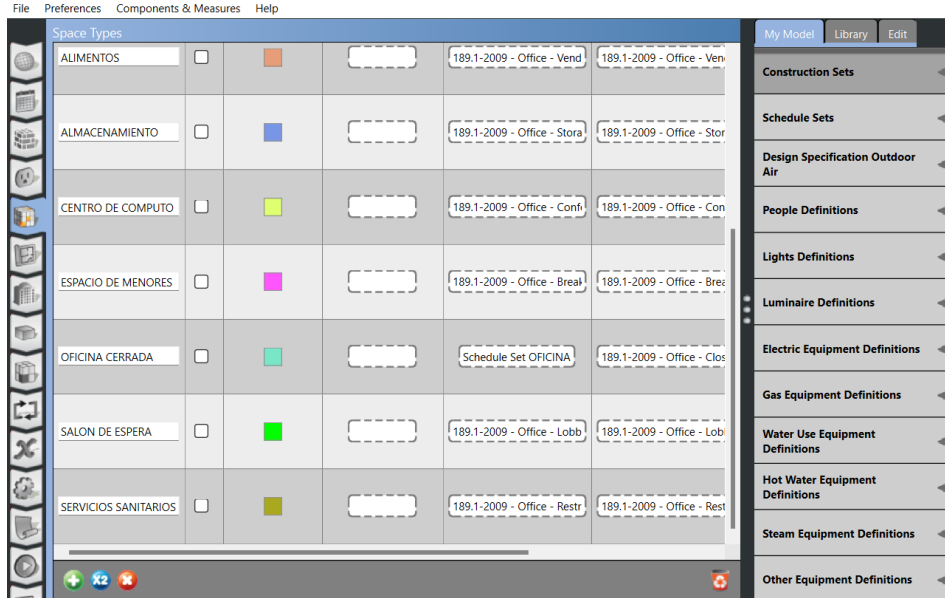


Figura 3.18: Tipos de Espacios que hay en el Edificio.

haciendo uso de la herramienta **Render By Space Type** en Sketchup o directamente en OpenStudio, es posible visualizar como cada espacio asignado tiene un color distinto.

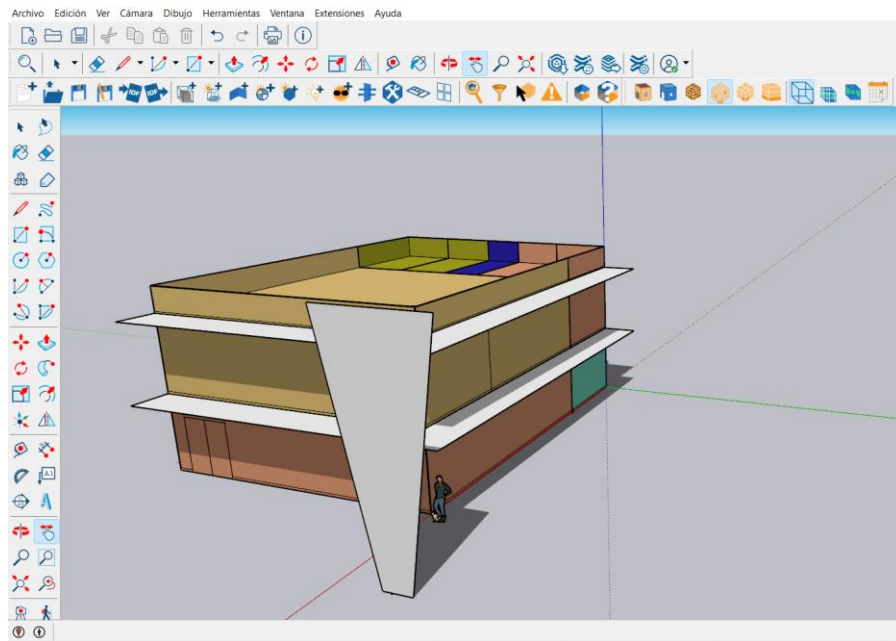


Figura 3.19: Visualización del CUBO por medio del renderizado por tipo de espacio.

Geometría (Geometry): Haciendo uso de esta herramienta, se puede observar la edificación que se ha creado en SketchUp, además de poder editarla desde ahí. Sin embargo, por la interfaz, es más fácil hacerlo desde el Plug-in de OpenStudio en SketchUp.

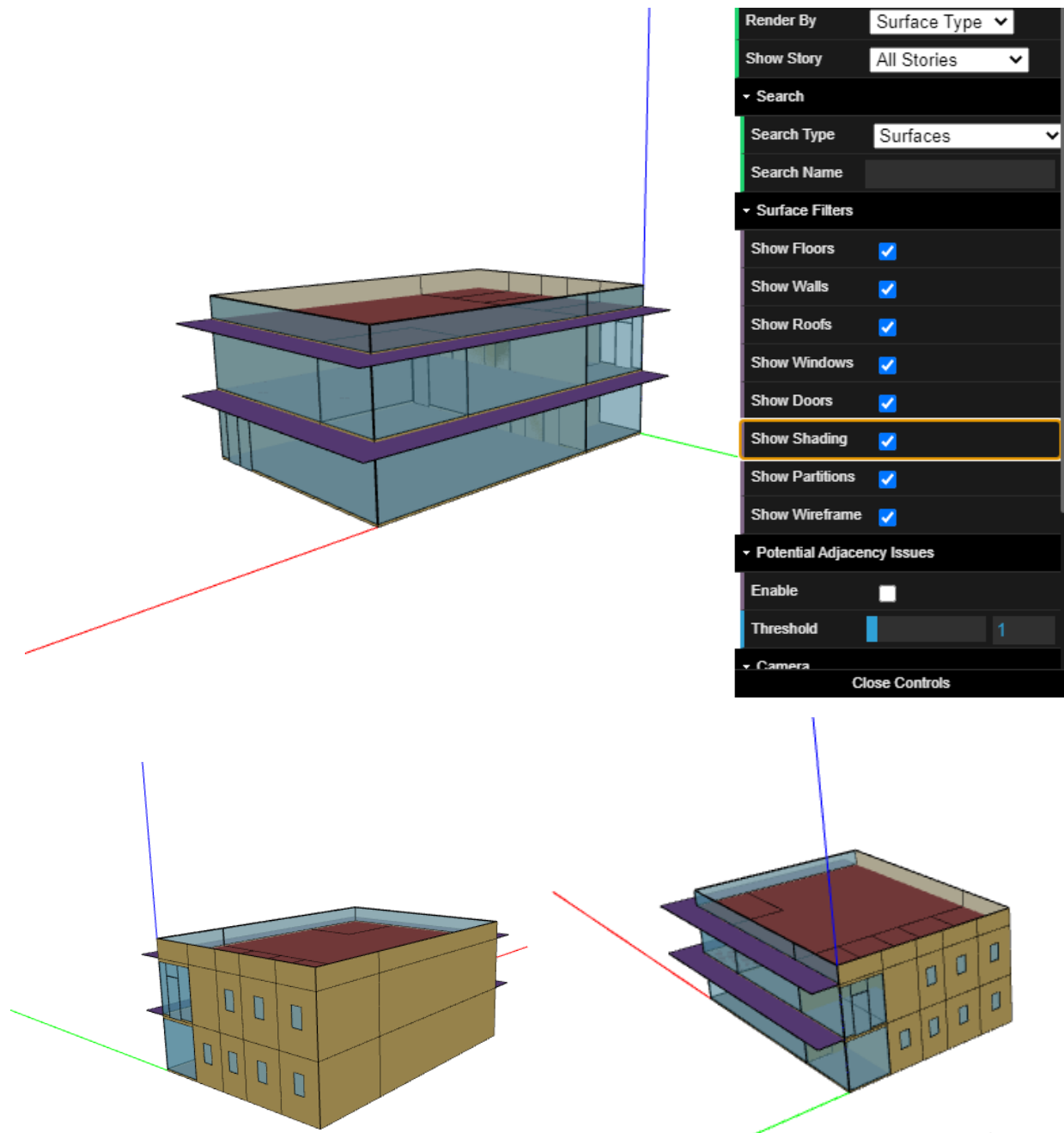


Figura 3.20: Visualización de la geometría del Edificio creado en SketchUp.

Instalaciones (Facility): Aquí se podrá observar aspectos relacionados al edificio y lo que influya en renderizado de los pisos, si existen sombras hacia el edificio, el equipamiento exterior, etc.

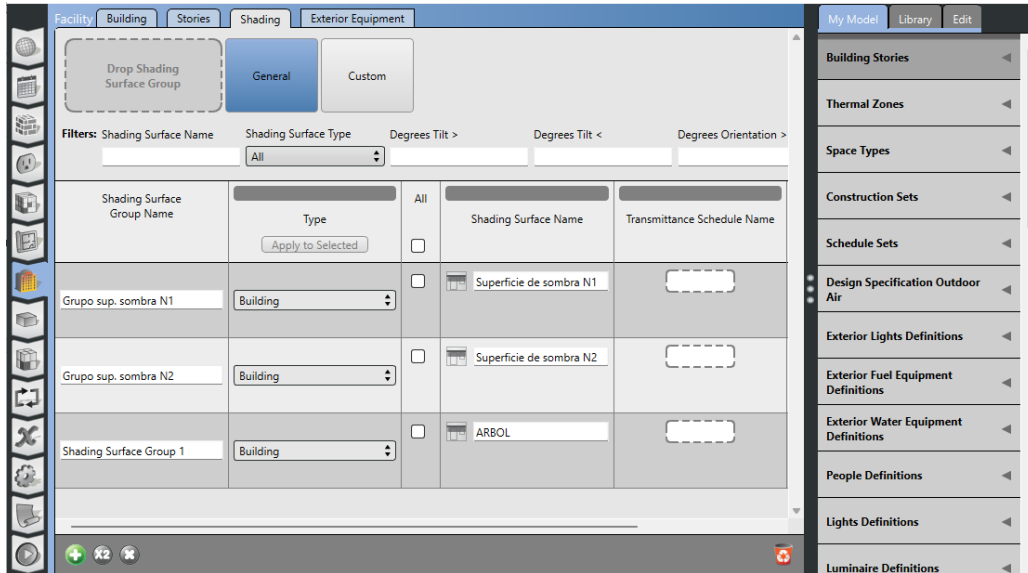


Figura 3.21: Visualización de las sombras influyentes en las instalaciones.

haciendo uso de la herramienta **Render By Building Story** se puede renderizar el edificio en función de la planta asignada. Es decir, los espacios tendrán un color determinado en función de la planta en la que estén. Los que se encuentran en la primera planta son de un color, mientras que los que están en la segunda planta tienen otro distinto.

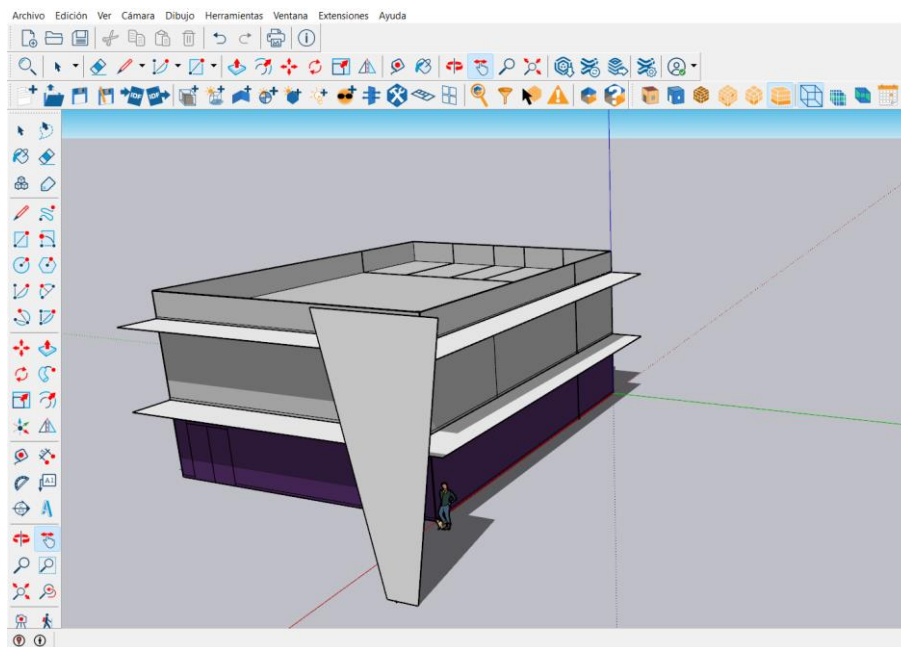


Figura 3.22: Visualización del CUBO por medio del renderizado por nivel de piso.

Espacios (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.

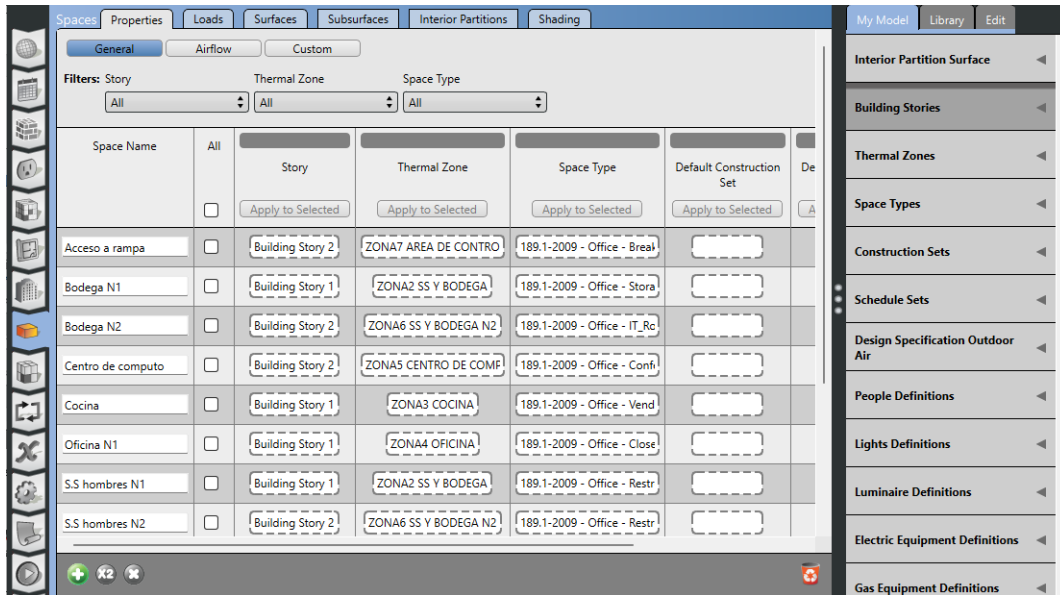


Figura 3.23: Tipos de espacios del CUBO.

Zonas Térmicas (Thermal Zones): En esta pestaña se visualizan las zonas térmicas y se puede poner el color que tendrá cada zona y también si la zona estará climatizada o no, para que el programa al momento de hacer el cálculo diferencie entre las zonas.

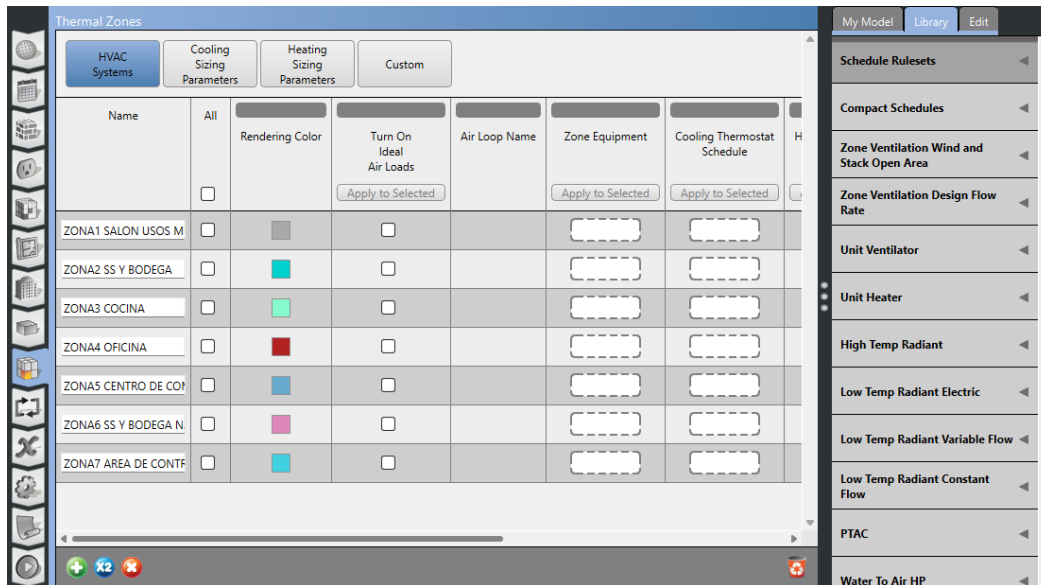


Figura 3.24: Introducción de las zonas térmicas.

haciendo uso de la herramienta **Render By Thermal Zone** en Sketchup o directamente en OpenStudio, es posible visualizar como cada zona térmica asignada tiene un color distinto.

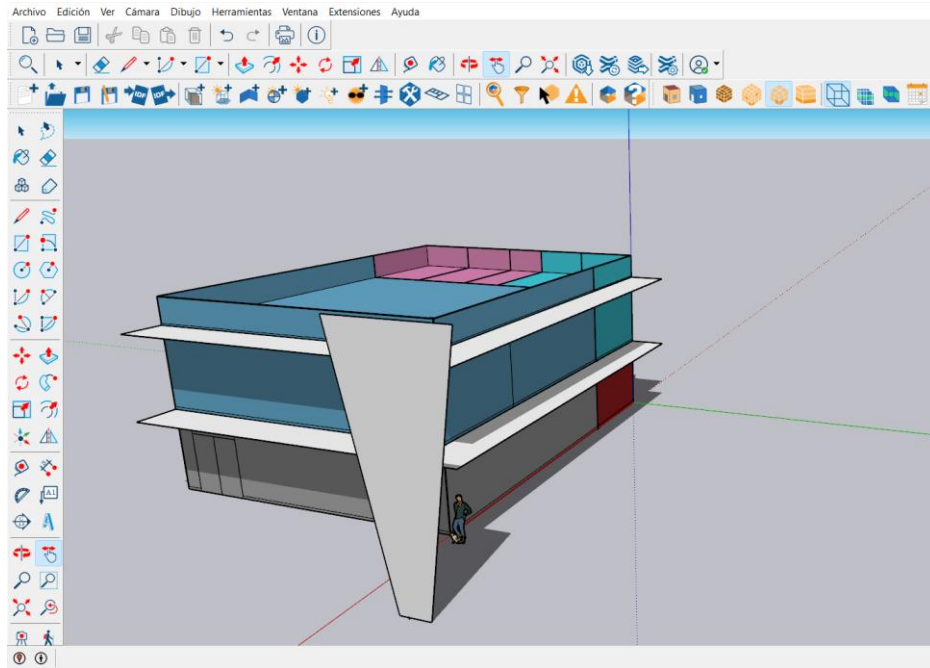


Figura 3.25: Visualización del CUBO por medio del renderizado por zona térmica.

Sistemas HVAC (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.

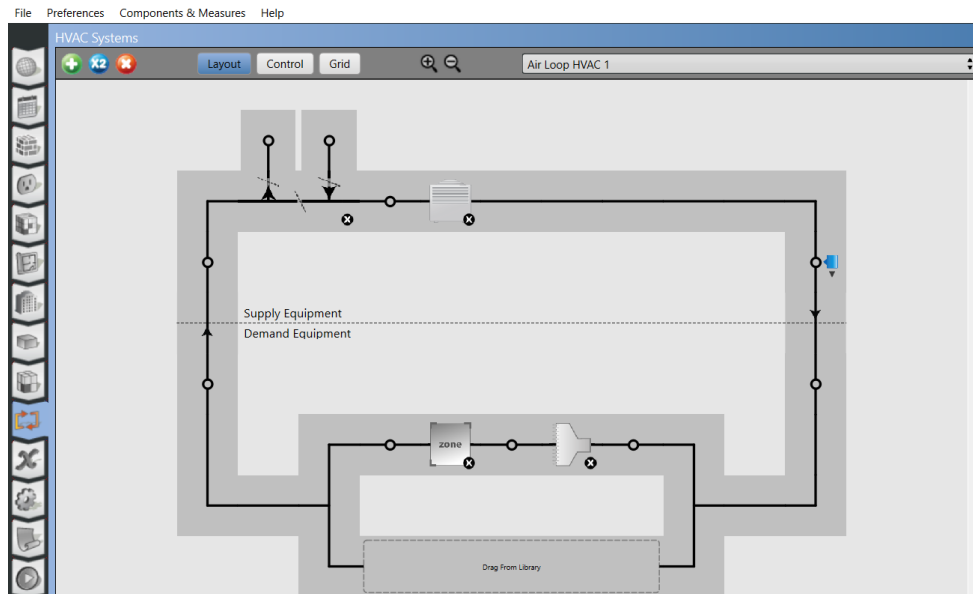


Figura 3.26: Introducción de los sistemas HVAC del Edificio.

Variables de Salida (Output Variables): En esta pestaña se pueden elegir todas las posibles variables de salida para su respectivo análisis. Cabe recalcar que, 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.



Figura 3.27: Selección de variables de interés.

Ajuste de Simulación (Simulation Settings): En esta pestaña se pueden ajustar los datos de simulación para que se simulen de acuerdo a como nosotros lo necesitamos.

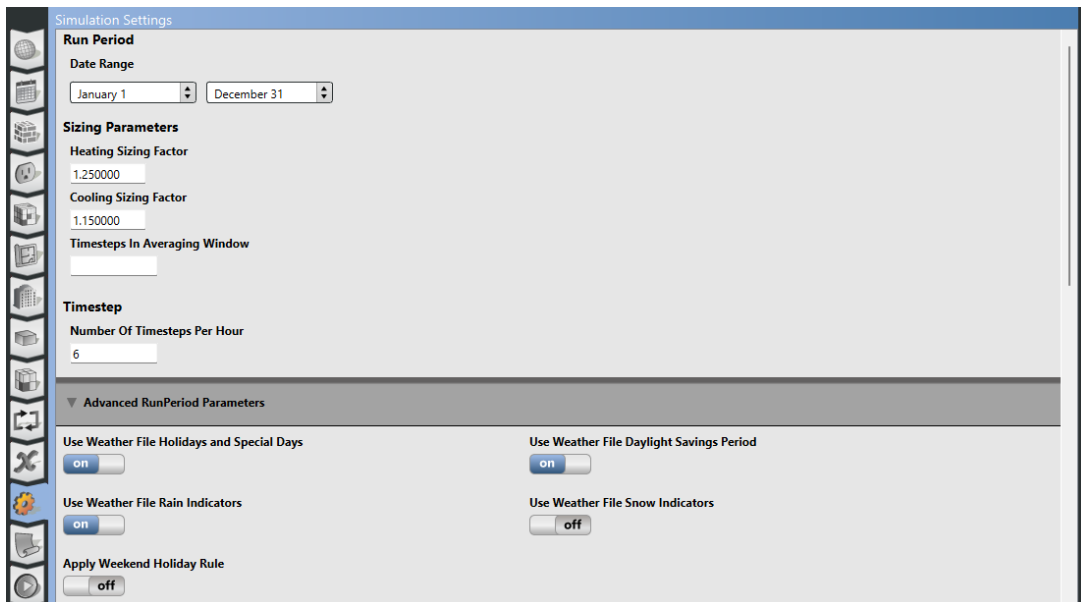


Figura 3.28: Introducción de ajustes para la simulación.

Ejecutar la Simulación (Run Simulation): Esta pestaña sirve para ejecutar la simulación del modelo creado en OpenStudio y visualizar el árbol de variables de archivos de salida de EnergyPlus.

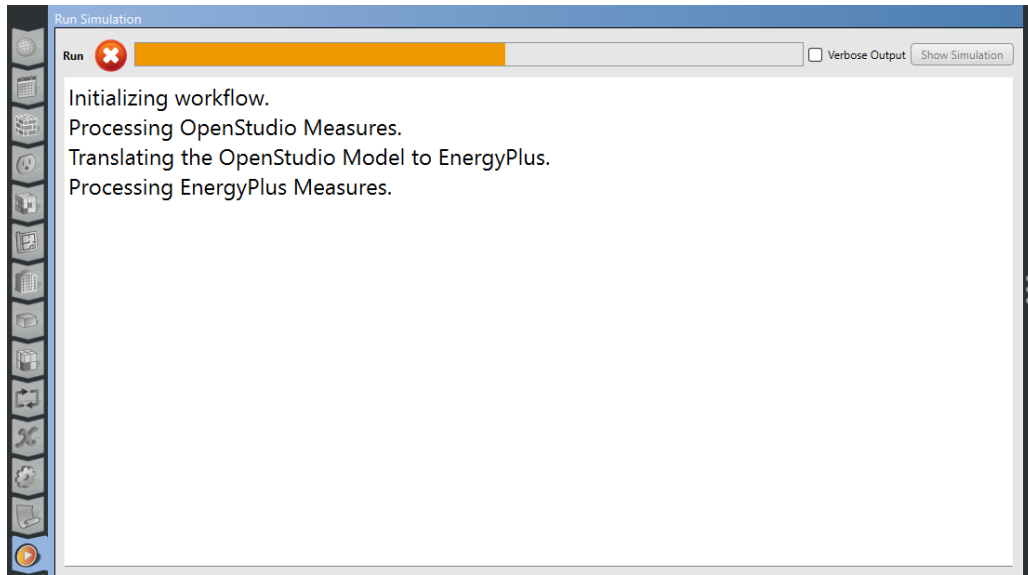


Figura 3.29: Simulación del CUBO de Mejicanos en proceso.

Resumen de Resultados (Results Summary): Aquí se podrán visualizar los resultados de la Simulación mediante tablas y gráficos generados, y ver los reportes de resultados ya sea por OpenStudio o por EnergyPlus.

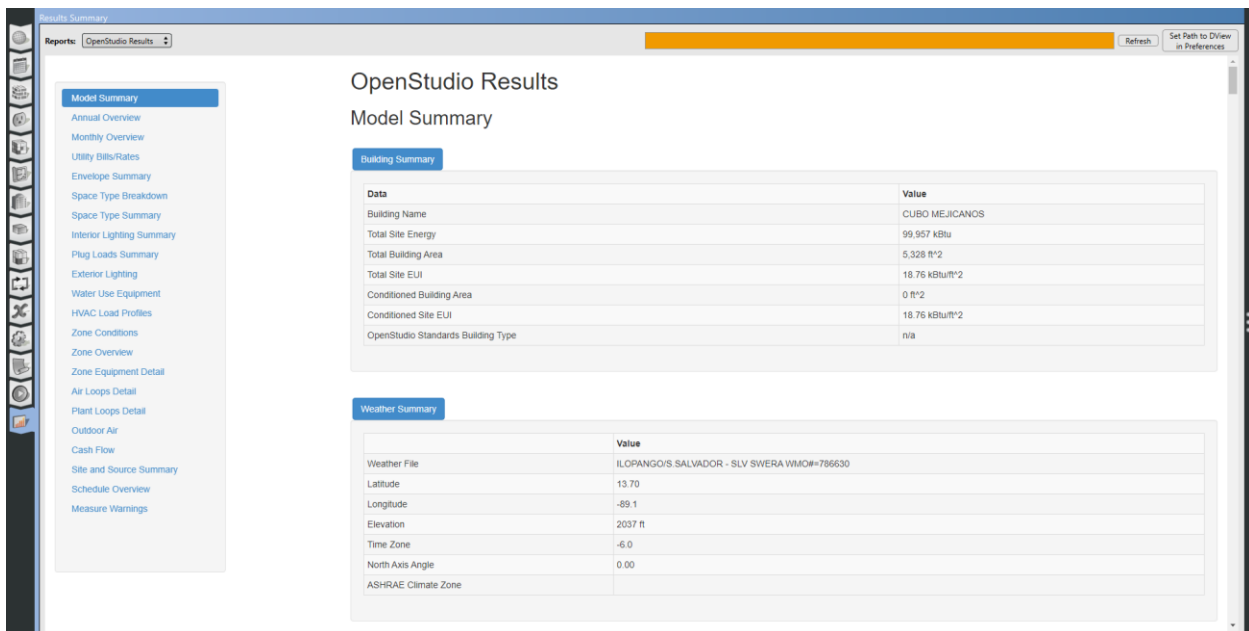


Figura 3.30: Resultados de Simulación Anual generados con el motor OpenStudio Results.

CAPITULO IV: SIMULACION Y ANALISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA DEL CUBO MEJICANOS.

Implementación de la metodología general para análisis de eficiencia energética en el CUBO Mejicanos.

El primer paso es solicitar la información necesaria tras identificar el edificio o las instalaciones a las que se desea aplicarle un estudio de EE.

Solicitud de información del CUBO Mejicanos.

Para facilitar la ejecución de un estudio de EE, es útil que toda empresa, institución, organización, etc., tengan en su poder información de valor como:

- Inventariado de los equipos eléctricos que se tienen en las instalaciones.
- Sondeo de personal que labora en el edificio, clasificándolas por áreas según la actividad laboral que se ejerza en las diferentes zonas.
- Registro de los materiales utilizados en la construcción del edificio, estos pueden ser: materiales de las paredes, tipos de ventanas, puertas, pisos y techos, etc.
- Inventariado de los equipos de climatización, esta información es crucial a la hora de la creación del diseño para simular el consumo del edificio.
- Planos arquitectónicos y eléctricos.
- Almacenamiento del historial de facturación del consumo eléctrico del edificio.

Este paso es importante, ya que marca el punto de partida para lo que viene a continuación; sin embargo, desafortunadamente para el caso, a pesar de hacer el trámite con las autoridades correspondientes para la solicitud de dicha información, no se obtuvo una respuesta favorable. A pesar de esto, se siguió adelante con el estudio, tomando como punto de partida la información obtenida de forma visual.

Inspección visual del CUBO Mejicanos.

Tras hablar con el encargado del lugar y exponerle el caso, se pudo tener acceso controlado para la ejecución de la inspección visual de una forma más tranquila.

Durante la inspección visual en las instalaciones, se buscó cumplir con lo siguiente:

- Observar las condiciones de la fachada y posibles deficiencias en la envolvente del edificio.
- Documentar el flujo de personas a lo largo de una jornada en las diferentes áreas que componen el CUBO.
- Recolectar la información de todo equipo eléctrico que se encuentre en cada una de las áreas del CUBO (computadoras, fotocopiadoras, oasis, televisores, microondas, equipos de sonido, etc.).
- Documentar información acerca del uso de las luminarias a lo largo de una jornada en las diferentes áreas que componen el CUBO.
- Entrevistar al personal del edificio respecto al uso de los equipos eléctricos y las luminarias para tener claro los puntos de mejora en cuanto al ahorro de energía se refiere.

Condiciones del edificio.

Los Centros Urbanos de Bienestar y Oportunidades se destacan por su particular diseño, el cual se basa en dos paredes de concreto y dos paredes expuestas, únicamente cubiertas por lo que se conoce como “Muro cortina”, el cual es un sistema de fachada ligera y acristalada que se construye de forma continua por delante de la estructura del edificio. Desde el punto de vista energético, esto hace del edificio un lugar caliente, debido a que no permite el flujo de aire hacia el interior del edificio, obligando a los aires acondicionados a trabajar más para poder llegar a la temperatura fijada.

Cargas por iluminación.

El sistema de iluminación del CUBO está formado únicamente por dos tipos de luminarias las cuales se escriben en la tabla 4.1 además de los parámetros necesarios para su simulación.

| CUBO MEJICANOS | | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| TIPO DE LUMINARIA | MONTAJE | POTENCIA [W] | FRACCION RADIANTE | FRACCION VISIBLE | FRACCION RETORNO DE AIRE |
| FOCO DE TECHO LED | SUSPENDIDA | 10 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |
| LUMINARIA LED 2X18W | SUSPENDIDA | 36 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |

Tabla 4.1: Tipos de luminarias.

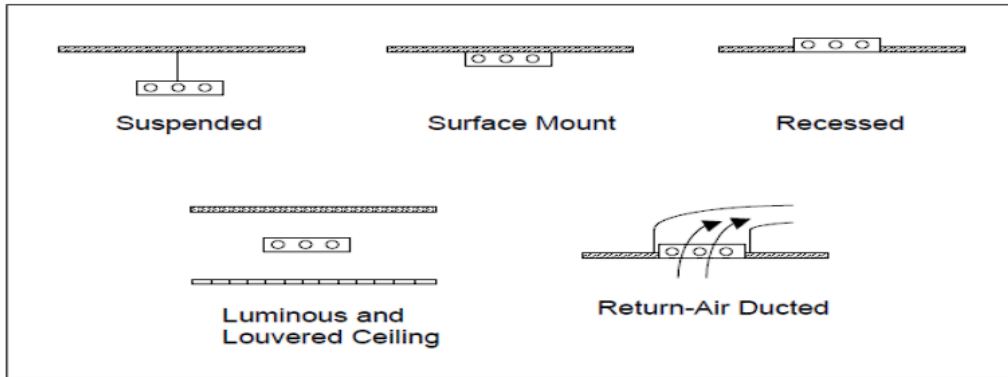


Figura 4.1: Tipos de montaje de luminarias.

Cargas por equipos eléctricos.

Todo equipo eléctrico representa una carga térmica para el equipo encargado de climatizar la zona en la que se encuentren. El Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades cuenta con distintos tipos de equipos eléctricos, desde equipos de oficina, hasta aparatos de cocina. Dichos equipos y su respectivo consumo se detallan en la tabla 4.2.

| CUBO MEJICANOS | | | | |
|-------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| UBICACION | ITEM | CANTIDAD | POTENCIA POR CADA ITEM (W) | POTENCIA ESTIMADA (W) |
| NIVEL 1 | | | | |
| SALA DE USOS MULTIPLES | PROYECTOR | 1 | 600 | 600 |
| | OASIS | 1 | 550 | 550 |
| | TELEVISOR DE 55" | 2 | 180 | 360 |
| | COMPUTADORA | 1 | 280 | 280 |
| | LAPTOP | 3 | 120 | 360 |
| | CAJA DE CABLE TV | 1 | 10 | 10 |
| | BOCINA | 1 | 175 | 175 |
| COCINA | MICROONDAS | 1 | 1200 | 1200 |
| | CAFETERA | 1 | 900 | 900 |
| OFICINA | COMPUTADORA | 1 | 280 | 280 |
| | FOTOCOPIADORA | 1 | 740 | 740 |
| NIVEL 2 | | | | |
| CENTRO DE COMPUTO | COMPUTADORA | 16 | 280 | 4480 |
| | TELEVISOR DE 55" | 2 | 180 | 360 |
| | PS4 | 1 | 110 | 110 |
| AREA DE CONTROL | COMPUTADORA | 1 | 280 | 280 |
| | TELEVISOR DE 32" | 1 | 90 | 90 |

Tabla 4.2: Equipo eléctrico en el CUBO según ubicación.

Personal por área.

Se debe definir la actividad metabólica de las personas para determinar la ganancia de calor interno que se transmite a partir de ellas. EnergyPlus define que los valores para el nivel de actividad pueden variar desde aproximadamente 100-150 vatios por persona para la mayoría de las actividades de oficina, mientras que los valores más altos son asignados a la ejecución de actividades físicas.

| DESCRIPCION | ACTIVIDAD [W/PERSONA] |
|---|-----------------------|
| ACTIVIDAD DE OFICINA | 115 |
| ACTIVIDAD DE CAMINAR 2KM/H | 198 |
| ACTIVIDAD DE ESTAR SENTADO EN REPOSO | 108 |
| ACTIVIDAD DE PIE CON ACTIVIDAD MODERADA | 167 |

Tabla 4.3. Tipo de actividad de las personas en distintos recintos del edificio en [W/persona].

Resumen cargas eléctricas y térmicas por cada espacio declarado.

| CUBO MEJICANOS | | | |
|-------------------------------|------------------|---|----------|
| ESPACIO | TIPO DE CARGA | DESCRIPCION | CANTIDAD |
| NIVEL 1 | | | |
| SALA DE USOS MULTIPLES | PERSONAL | ACTIVIDAD DE CAMINAR 2KM/H | 15 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 22 |
| | EQUIPO ELECTRICO | PROYECTOR | 1 |
| | | OASIS | 1 |
| | | TELEVISOR DE 55" | 2 |
| | | COMPUTADORA | 1 |
| | | LAPTOP | 3 |
| | | CAJA DE CABLE TV | 1 |
| | BOCINA | 1 | |
| BODEGA N1 | PERSONAL | ACTIVIDAD DE PIE CON ACTIVIDAD MODERADA | 1 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 1 |
| COCINA | PERSONAL | ACTIVIDAD DE PIE CON ACTIVIDAD MODERADA | 1 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 2 |
| | EQUIPO ELECTRICO | MICROONDAS | 1 |
| | | CAFETERA | 1 |
| OFICINA | PERSONAL | ACTIVIDAD DE OFICINA | 1 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 2 |
| | EQUIPO ELECTRICO | COMPUTADORA | 1 |
| | | FOTOCOPIADORA | 1 |

Tabla 4.4: Cargas eléctricas y térmicas por espacios del nivel 1.

| CUBO MEJICANOS | | | |
|--------------------------|----------------------|---|-----------------|
| ESPACIO | TIPO DE CARGA | DESCRIPCION | CANTIDAD |
| NIVEL 2 | | | |
| CENTRO DE COMPUTO | PERSONAL | ACTIVIDAD DE OFICINA | 20 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 12 |
| | | FOCO DE TECHO LED | 23 |
| | EQUIPO ELECTRICO | COMPUTADORA | 16 |
| | | TELEVISOR DE 55" | 2 |
| | | PS4 | 1 |
| BODEGA N2 | PERSONAL | ACTIVIDAD DE PIE CON ACTIVIDAD MODERADA | 1 |
| | ILUMINACION | LUMINARIA LED 2X18W | 1 |
| AREA DE CONTROL | PERSONAL | ACTIVIDAD DE PIE CON ACTIVIDAD MODERADA | 4 |
| | ILUMINACION | FOCO DE TECHO LED | 30 |
| | EQUIPO ELECTRICO | COMPUTADORA | 1 |
| | | TELEVISOR DE 32" | 1 |

Tabla 4.5: Cargas eléctricas y térmicas por espacios del nivel 2.

Equipos HVAC.

En todo edificio, gran parte del consumo total de energía se debe a los equipos de aire acondicionado. Dentro del CUBO actualmente se encuentran en funcionamiento 2 tipos de sistemas de A/C con diferentes capacidades de enfriamiento. En la tabla 4.3 se describen los equipos de aire acondicionado y su respectiva ubicación.

| CUBO MEJICANOS | | | | |
|-----------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| ZONA TERMICA | TIPO A/C | CAPACIDAD NOMINAL [BTU] | TEMPERATURA DE TRABAJO | SISTEMA HVAC |
| SALON USOS MULTIPLES | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 1 |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 2 |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 3 |
| CENTRO DE COMPUTO | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 4 |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 5 |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 6 |
| | PISO TECHO | 36,000 | 20 °C | PACKAGED ROOFTOP AIR CONTIONER 7 |
| OFICINA | MINI SPLIT | 12,000 | 20 °C | DIFUSER |
| AREA DE INFANTES | MINI SPLIT | 12,000 | 20 °C | DIFUSER 1 |

Tabla 4.6: Sistemas HVAC instalados en el CUBO según ubicación.

Es este apartado, se entrevistó al personal que labora en el edificio para conocer el uso que les dan a los equipos de A/C durante la jornada laboral. La respuesta fue que para las zonas concurridas, como lo son el salón de usos múltiples y el centro de cómputo, zonas que cuentan con 4 A/C cada una, se encienden 2 equipos desde las 8am y se apagan a las 2pm, hora a la cual se encienden los otros 2 equipos y se apagan hasta terminar la jornada laboral, es decir, estos equipos están encendidos un total de 14 horas diarias.

Además, para los equipos de tipo mini split, el que se encuentra en la oficina lo enciende alrededor de 5 horas diarias, aunque se hizo énfasis en que dicha oficina solo pasa ocupada en promedio 2 horas diarias. Mientras que el ubicado en el área de infantiles trabaja alrededor de 8 horas diarias, recalcando que el área solo pasa ocupada en promedio 4 horas diarias y que siempre olvidan apagarlo mientras no hay nadie.

Modelo de línea base de consumo de energía del CUBO Mejicanos.

En esta etapa se tiene como objetivo estimar, a base de simulaciones en programas informáticos, el comportamiento “real” del edificio en cuanto a consumo energético se refiere. Todos los datos recolectados en las etapas anteriores fijan la base para que la creación y modelado del edificio se asemeje a la realidad. En la figura 4.2 se presenta el modelo final creado para realizar el estudio energético en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades de Mejicanos.

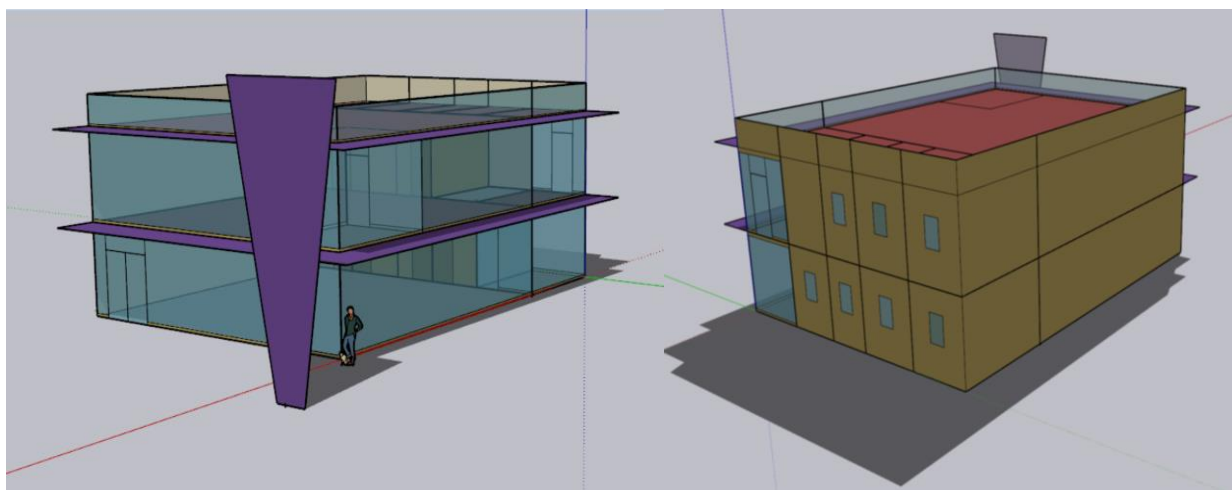


Figura 4.2: Modelo final del CUBO para estudio energético.

Consumo de energía simulado para el CUBO.

La simulación se realizó para el año 2023, obteniendo valores de consumo eléctrico para los diferentes meses de dicho año, además de la demanda de potencia y el consumo anual por cada tipo de demanda.

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Heating | | | | | | | | | | | | | |
| Cooling | 1466.64 | 1482.31 | 1882.19 | 1406.74 | 1845.91 | 1711.86 | 1905.03 | 1544.41 | 1661.08 | 1794.89 | 1575.18 | 1463.39 | 19739.63 |
| Interior Lighting | 322.9 | 291.65 | 322.9 | 312.48 | 322.9 | 312.48 | 322.9 | 322.9 | 312.48 | 322.9 | 312.48 | 322.9 | 3801.85 |
| Exterior Lighting | | | | | | | | | | | | | |
| Interior Equipment | 1661.57 | 1564.3 | 1729.57 | 1383.38 | 1661.39 | 1639.2 | 1737.74 | 1517.39 | 1647.38 | 1729.57 | 1639.03 | 1707.91 | 19618.42 |
| Exterior Equipment | | | | | | | | | | | | | |
| Fans | 1051.13 | 1014.94 | 1124.72 | 801.15 | 1052.8 | 1051.98 | 1124.59 | 908.58 | 1050.97 | 1123.32 | 1112.26 | 1086.44 | 12502.88 |
| Pumps | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Rejection | | | | | | | | | | | | | |
| Humidification | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Recovery | | | | | | | | | | | | | |
| Water Systems | | | | | | | | | | | | | |
| Refrigeration | | | | | | | | | | | | | |
| Generators | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 4502.23 | 4353.2 | 5059.37 | 3903.74 | 4883.0 | 4715.53 | 5090.26 | 4293.29 | 4671.91 | 4970.67 | 4638.95 | 4580.64 | 55662.78 |

Tabla 4.7: Consumo eléctrico en kWh mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

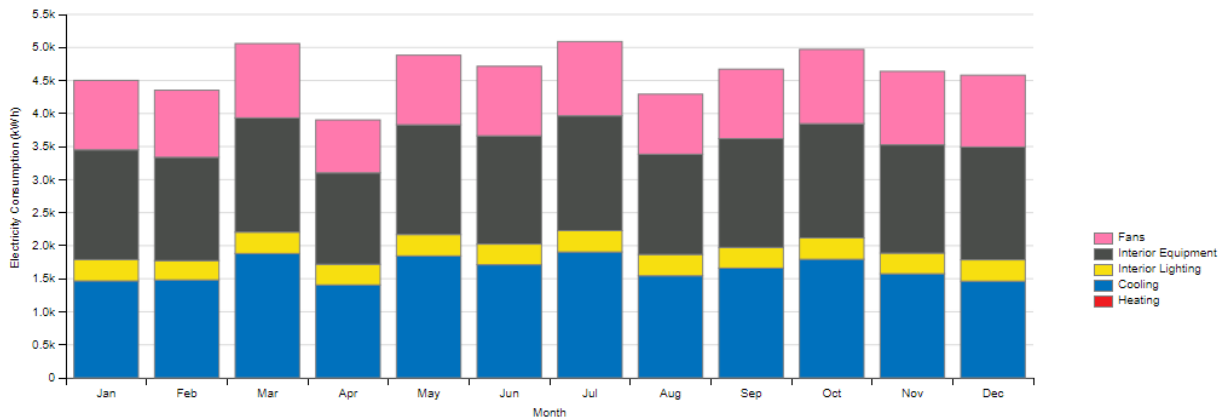


Gráfico 4.1: Consumo eléctrico en kWh mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

Los meses de marzo, julio y octubre son los meses que presentan un mayor consumo eléctrico. Esto se debe a que son los únicos tres meses de 31 días cada uno que no cuentan con al menos un día de asueto que implique cierre de las instalaciones. Mientras que abril y agosto son los meses con menor consumo eléctrico en el año, debido a que en estos meses generalmente existe un periodo largo de vacaciones de los trabajadores.

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Heating | | | | | | | | | | | | |
| Cooling | 6.7953 | 6.2964 | 6.7203 | 7.028 | 6.5406 | 7.4094 | 8.0964 | 7.3059 | 6.4393 | 8.2986 | 6.4275 | 6.5953 |
| Interior Lighting | 1.88 | 1.88 | 1.88 | 1.88 | 1.88 | 1.736 | 1.736 | 1.736 | 1.88 | | 1.88 | 1.88 |
| Exterior Lighting | | | | | | | | | | | | |
| Interior Equipment | 6.665 | 6.404 | 6.404 | 6.404 | 6.665 | 5.975 | 5.975 | 5.975 | 6.665 | 6.69 | 6.665 | 6.665 |
| Exterior Equipment | | | | | | | | | | | | |
| Fans | 2.6869 | 2.6869 | 2.6869 | 2.6869 | 2.6869 | 2.782 | 2.7904 | 2.7548 | 2.6869 | 2.8106 | 2.6869 | 2.6869 |
| Pumps | | | | | | | | | | | | |
| Heat Rejection | | | | | | | | | | | | |
| Humidification | | | | | | | | | | | | |
| Heat Recovery | | | | | | | | | | | | |
| Water Systems | | | | | | | | | | | | |
| Refrigeration | | | | | | | | | | | | |
| Generators | | | | | | | | | | | | |
| Total | 18.03 | 17.27 | 17.69 | 18.0 | 17.77 | 17.9 | 18.6 | 17.77 | 17.67 | 17.8 | 17.66 | 17.83 |

Tabla 4.8: Demanda de potencia en kW mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

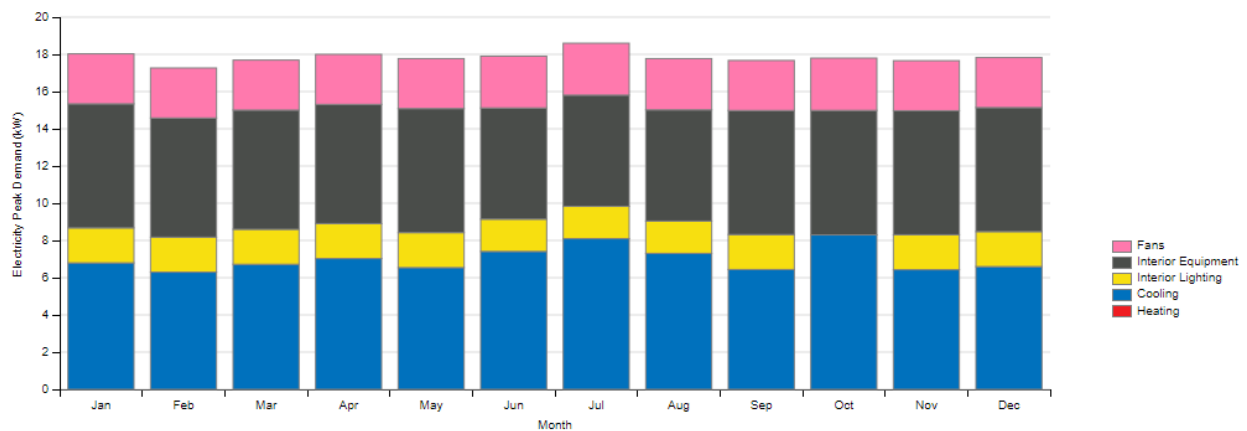


Gráfico 4.2: Demanda de potencia en kW mensual simulado para el año 2023 del CUBO.

Se puede observar que se obtuvieron valores de potencia por cada tipo de demanda para todos los meses, a excepción del mes de octubre en el cual no se genera una demanda de potencia por parte de las luminarias. Ese consumo parece haber sido agregado al apartado de consumo de climatización, lo cual es un error en la simulación. Esto se puede deber a diferentes razones. En este caso, como lo muestra la figura 4.3, dicho error se genera a partir del archivo meteorológico que se está utilizando (ILOPANGO/S.SALVADOR) el cual parece estar dañado o incompleto. Es decir, carece de algunos datos en el archivo epw y por esto Energy Plus simplemente lo omite.

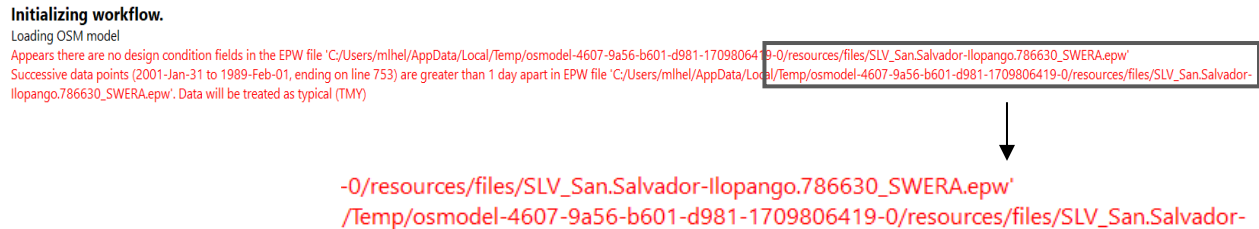


Figura 4.3: Error por falta de datos en archivo meteorológico (ILOPANGO/S.SALVADOR).

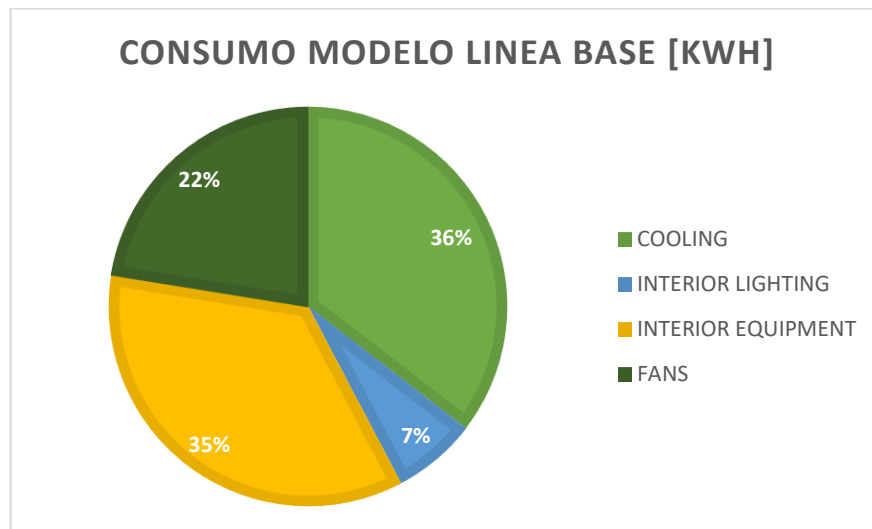


Gráfico 4.3: Distribución de consumo eléctrico en kWh anual simulado para el año 2023 del CUBO.

Los equipos encargados de la climatización comprendidos por los aires acondicionados y los fans tienen un consumo anual del 58% de todo el CUBO de Mejicanos. El siguiente apartado con mayor consumo es el de equipo eléctrico, el cual representa un consumo anual del 35% y, por último, se encuentran las luminarias con un consumo anual del 7%.

Consumo de energía real y demanda de potencia del CUBO.

Los resultados de la sección anterior deben ser comparados con los valores reales de facturación de consumo de energía para demostrar que la simulación cumple con la función de modelar el comportamiento energético del edificio y así dichos resultados podrán ser considerados como el modelo de línea base.

Como se mencionó anteriormente, no se obtuvo acceso al historial de facturaciones ni tampoco fue posible la toma de mediciones para estimar el consumo de los equipos. Sin embargo, la misma tesis que se utilizó para validar las medidas del CUBO cuenta con dos facturas del año 2023 correspondientes al mes de enero y febrero, por lo que se hizo una visita al CUBO IVU para hacer un sondeo en cuanto equipo eléctrico y luminarias se refiere, como se muestra en el anexo [B]. Tras esto, se observó que son muy similares en todo, la misma cantidad de computadoras, oasis, televisores, etc. Lo que puede variar, y seguramente sea diferente, deben ser las costumbres de los trabajadores y el uso que le den a cada equipo, temperatura de operación de los A/C, etc.

Por consiguiente, considerando que son dos edificios dedicados a lo mismo, con las mismas dimensiones y distribuciones, además del mismo horario, se tomarán estas facturas como base para el consumo real del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades de Mejicanos y así ser comparados con los resultados de la simulación.

DELSUR Grupo-epm
DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DEL SUR
S.A. DE C.V.

NC: 60526500 Medidor: 1105573 Mult. x60 Marca: lauris
Tipo: E650 Nombre Cliente: ministerio de Justicia
MRU: 78-7 Tarifa:

| CODIGO | CONCEPTOS | LECTURA |
|--------|--|--------------|
| 1 | FECHA DE LECTURA A FACTURAR | 13 / 01 / 23 |
| 2 | HORA DE TOMA DE LECTURA MEDIDOR | 7.:32: |
| 3 | LECTURA ENERGIA PUNTA | 00239.9 |
| 4 | LECTURA ENERGIA VALLE | 0066.0 |
| 5 | LECTURA ENERGIA RESTO | 00636.1 |
| 6 | POTENCIA REGISTRADA (MAX. DEMANDA) | 600.247 |
| 7 | FECHA DE REGISTRO DE POTENCIA | 21 / 12 / 22 |
| 8 | HORA DE REGISTRO DE POTENCIA | 15.:30: |
| 9 | FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO O KWH TOTALES (F.P.) | 1.000 |

Figura 4.4: Resultados de lecturas realizadas el 13 de enero de 2023. Tomado de “ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO)”.

DELSUR Grupo-epm
DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DEL SUR
 S.A. DE C.V.

NC: 60520500 Medidor: 105573 Mult. 60 Marca: Lanchis 16yr
 Tipo: 1650 Nombre Cliente: municipio de Luján
 MRU: 11-7 Tarifa:

| CODIGO | CONCEPTOS | LECTURA |
|--------|--|----------|
| 1 | FECHA DE LECTURA A FACTURAR | 13/02/23 |
| 2 | HORA DE TOMA DE LECTURA MEDIDOR | 7:47 |
| 3 | LECTURA ENERGIA PUNTA | 0025.88 |
| 4 | LECTURA ENERGIA VALLE | 00070.1 |
| 5 | LECTURA ENERGIA RESTO | 00635.2 |
| 6 | POTENCIA REGISTRADA (MAX. DEMANDA) | 0007.88 |
| 7 | FECHA DE REGISTRO DE POTENCIA | 09/02/23 |
| 8 | HORA DE REGISTRO DE POTENCIA | 15:30 |
| 9 | FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO O KWH TOTALES (F.P.) | 1.000 |

Figura 4.5: Resultados de lecturas realizadas el 13 de febrero de 2023. Tomado de “ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO)”.

A partir de estas dos facturas, se puede calcular el consumo mensual estimado y la máxima demanda de potencia, tomando en cuenta que se debe usar el multiplicador de 60 según lo anotado en el contador instalado en la acometida del CUBO.

| | PUNTA | VALLE | RESTO | TOTAL |
|----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 13/01/2023 | 239.9 | 66 | 636.1 | 942 |
| 13/02/2023 | 258.8 | 70.1 | 685.2 | 1014.1 |
| CONSUMO TOTAL [KWH] | 18.9 | 4.1 | 49.1 | 72.1 |

Tabla 4.9: Resumen de resultados de lecturas de enero y febrero de 2023.

$$\text{Consumo mensual} = 72.1 \text{ kWh} * 60 = 4326 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo diario} = 4326 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{31 \text{ dias}} = 139.548 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

$$\text{Maxima demanda} = 0.288 \text{ kW} * 60 = 17.28 \text{ kW}$$

Dada la limitación de solo tener dos facturas para el análisis, lo que implica solo tener certeza de cuánto fue el consumo durante un periodo de 31 días, en la tabla 4.10 se presenta el consumo estimado por cada mes en base a la cantidad de días hábiles con la que cuenta cada uno, suprimiendo los días en los que el CUBO permaneció cerrado a causa de asueto/vacación.

| MES | CONSUMO DIARIO ESTIMADO [KWH] | DIAS HABILES | CONSUMO MENSUAL ESTIMADO [KWH] |
|------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|
| ENERO | 139.548 | 29 | 4,047 |
| FEBRERO | | 28 | 3,907 |
| MARZO | | 31 | 4,326 |
| ABRIL | | 24 | 3,349 |
| MAYO | | 29 | 4,047 |
| JUNIO | | 29 | 4,047 |
| JULIO | | 31 | 4,326 |
| AGOSTO | | 25 | 3,489 |
| SEPTIEMBRE | | 29 | 4,047 |
| OCTUBRE | | 31 | 4,326 |
| NOVIEMBRE | | 29 | 4,047 |
| DICIEMBRE | | 28 | 3,907 |

Tabla 4.10: Consumo de energía real estimado para el año 2023 en el CUBO de Mejicanos.

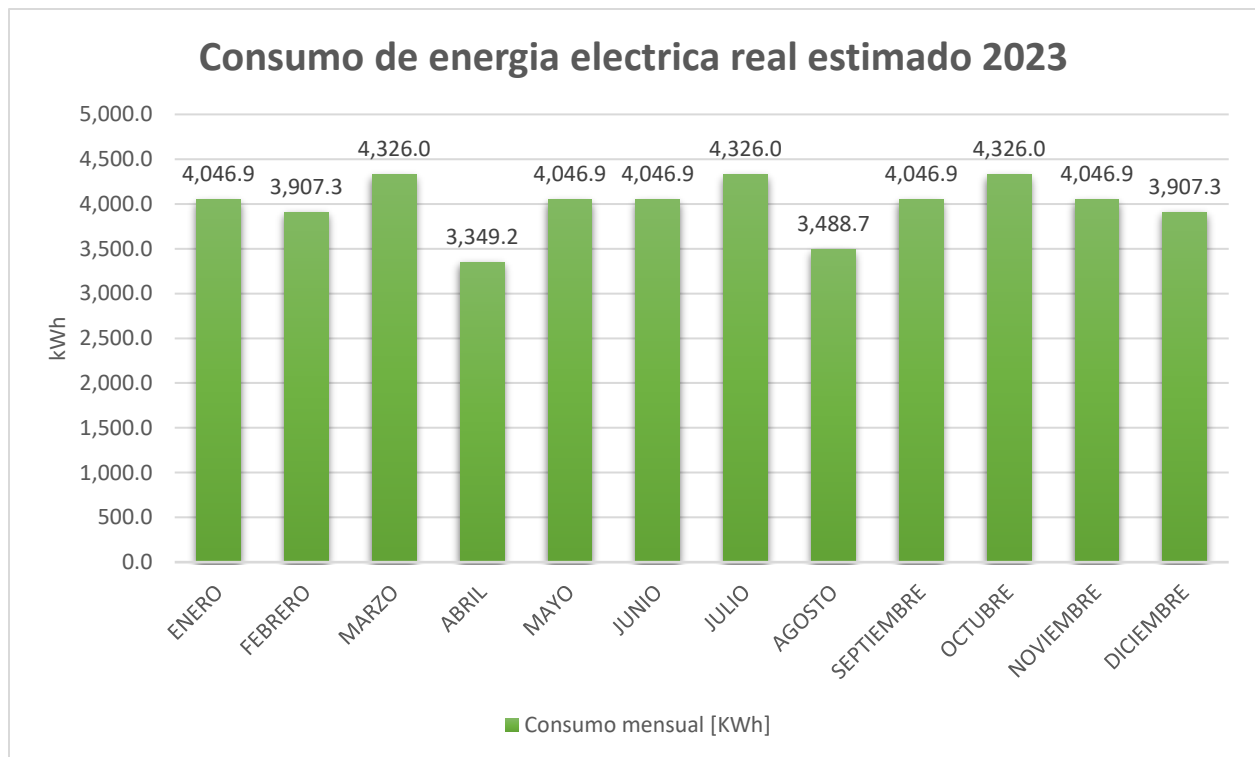


Gráfico 4.4: Consumo de energía real estimada para el año 2023 del CUBO.

Validación de resultados: Consumo de energía eléctrica real vs datos de simulación.

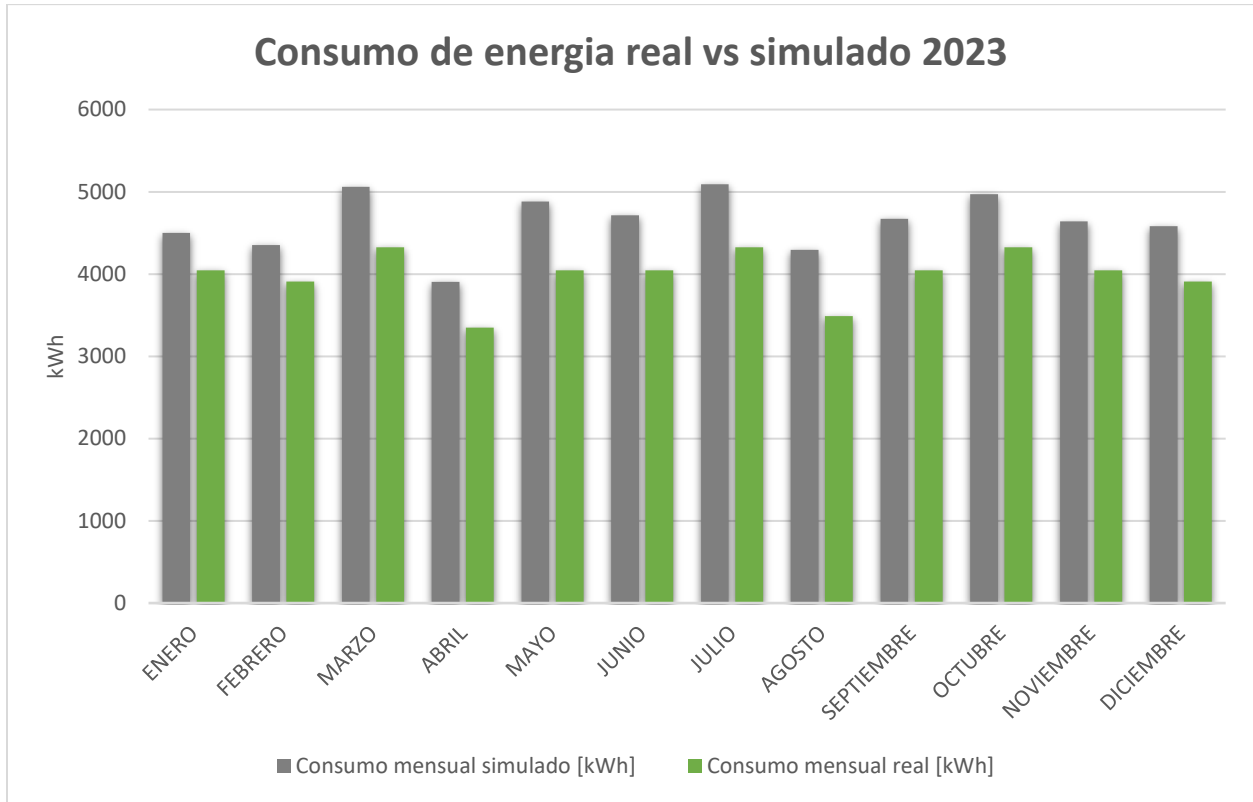


Gráfico 4.5: Consumo de energía real estimado vs simulado para el año 2023 del CUBO.

| MES | CONSUMO REAL ESTIMADO [KWH] | CONSUMO SIMULADO [KWH] | CALCULO DE ERROR [%] | PROMEDIO DE ERROR MENSUAL [%] |
|------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| ENERO | 4046.89 | 4502.23 | 10.11 | 13.99 |
| FEBRERO | 3907.34 | 4353.20 | 10.24 | |
| MARZO | 4325.99 | 5059.37 | 14.50 | |
| ABRIL | 3349.15 | 3903.74 | 14.21 | |
| MAYO | 4046.89 | 4883.00 | 17.12 | |
| JUNIO | 4046.89 | 4715.53 | 14.18 | |
| JULIO | 4325.99 | 5090.26 | 15.01 | |
| AGOSTO | 3488.70 | 4293.29 | 18.74 | |
| SEPTIEMBRE | 4046.89 | 4671.91 | 13.38 | |
| OCTUBRE | 4325.99 | 4970.67 | 12.97 | |
| NOVIEMBRE | 4046.89 | 4638.95 | 12.76 | |
| DICIEMBRE | 3907.34 | 4580.64 | 14.70 | |

Tabla 4.11: Porcentaje de error mensual y anual del consumo de energía real estimado vs simulado para el año 2023 del CUBO.

Una simulación busca modelar el comportamiento real de un edificio; su exactitud está sujeta a la cantidad de información y parámetros que se conozcan para ser introducidos al programa. EnergyPlus muestra los resultados en base al modelado energético por medio de continuas iteraciones. Considerando esto, es casi imposible simular el comportamiento energético del CUBO en su totalidad, es decir, con un porcentaje de error nulo, debido a la poca información y apoyo que se tuvo para realizar el estudio.

Consideraciones para la validación de los resultados:

- Las facturas que se usaron para la comparación pertenecen al CUBO IVU, pese a ser dos edificios con las mismas medidas, horarios de funcionamiento y demás. El comportamiento y costumbres de los empleados es algo que no se puede medir, es decir, el uso que le den a cada equipo, tiempos de encendido y apagado de los equipos de climatización, horario de encendido de las luminarias, temperatura de operación de los A/C, etc., es algo que varía entre cada edificio, lo cual abre paso a un porcentaje de error.
- El archivo de clima que fue cargado en OpenStudio para realizar la simulación pertenece a la zona de Ilopango; este es el único archivo climático disponible para El Salvador. Este cambio genera considerablemente un impacto en los cálculos térmicos en EnergyPlus, lo cual se convierte en un porcentaje de error en los resultados de simulación.

Indicadores de desempeño energético modelo base del CUBO.

El objetivo de este apartado es establecer los indicadores de desempeño energético (IDEn) actuales para el edificio. Se trata de seleccionar valores cuantificables que sirven para comprender, dar seguimiento, medir y analizar el desempeño energético antes, durante y después de la implementación de los planes de acción y otras acciones relacionadas con la gestión de la energía.

- **Indicador global de desempeño energético (IGDE).**

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energetico anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IGDE = \frac{55672.78 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 112.47 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año.**

Este indicador recoge los kilogramos de CO2 divididos por los metros cuadrados del edificio (kg CO2/m2 al año).

$$\frac{ICO2}{m^2} \text{ anual} = \frac{(0.5925 \text{ Kg de CO2}) * \text{Consumo energetico anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$\frac{ICO2}{m^2} \text{ anual} = \frac{(0.5925 \text{ Kg de CO2}) * 55672.78 \text{ kWh}}{495 m^2} = 66.62 \text{ kg de } \frac{CO2}{m^2}$$

La figura 4.6 permite comparar este resultado, clasificando al CUBO en la categoría "F". Dicho resultado significa que el CUBO de mejicanos no es lo suficientemente eficiente.



Figura 4.6: Clasificación de edificios en relación a la emisión de CO2 por metro cuadrado.

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

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energia anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

Se tomará las cuotas de DEL SUR vigentes a partir del 15 de enero de 2023 publicadas en los pliegos tarifarios de la SIGET.

| II. MEDIANA DEMANDA (10 < kW ≤ 50) | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BAJA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA | | | | | | | | | |
| | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO | |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Cargo Variable | US\$/kWh | 0.162993 | 0.149067 | 0.158561 | 0.153804 | 0.152683 | 0.137790 | 0.228015 | 0.137054 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia | US\$/kW-mes | 16.116777 | 24.566953 | 24.738299 | 29.488459 | 31.683909 | 38.277813 | 17.458443 | 21.144428 |
| MEDIA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA | | | | | | | | | |
| | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO | |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Cargo Variable | US\$/kWh | 0.151545 | 0.138402 | 0.144887 | 0.137400 | 0.138061 | 0.128451 | 0.216730 | 0.128212 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia | US\$/kW-mes | 8.044023 | 9.156741 | 14.151259 | 19.220377 | 20.870145 | 9.942488 | 10.688800 | 5.447846 |
| BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO | | | | | | | | | |
| | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO | |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Atención al Cliente | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Energía en Punta | US\$/kWh | 0.179506 | 0.170316 | 0.179087 | 0.172257 | 0.173915 | 0.156926 | 0.243749 | 0.140004 |
| Energía en Resto | US\$/kWh | 0.157714 | 0.144301 | 0.151861 | 0.148611 | 0.149923 | 0.133341 | 0.218159 | 0.128304 |
| Energía en Valle | US\$/kWh | 0.172748 | 0.160246 | 0.172371 | 0.162848 | 0.165195 | 0.140872 | 0.244079 | 0.131320 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia: | US\$/kW-mes | 16.116777 | 24.566953 | 24.738299 | 29.488459 | 31.683909 | 38.277813 | 17.458443 | 21.144428 |
| MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO | | | | | | | | | |
| | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO | |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Energía en Punta | US\$/kWh | 0.166294 | 0.155907 | 0.163329 | 0.153601 | 0.154150 | 0.146630 | 0.231685 | 0.123731 |
| Energía en Resto | US\$/kWh | 0.146106 | 0.132093 | 0.138499 | 0.132516 | 0.132884 | 0.124592 | 0.207362 | 0.113392 |
| Energía en Valle | US\$/kWh | 0.160034 | 0.146689 | 0.157204 | 0.145212 | 0.146421 | 0.131629 | 0.231999 | 0.116057 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia: | US\$/kW-mes | 8.044023 | 9.156741 | 14.151259 | 19.220377 | 20.870145 | 9.942488 | 10.688800 | 5.447846 |

Figura 4.7: Pliego tarifario vigente a partir de enero 2023.

En las tablas 4.12 y 4.13 se muestran los costos de energía y de potencia totales para el año base 2023. Los costos monetarios que se calculan incluyen el impuesto del IVA (13%), el cual no se refleja en las tarifas de los pliegos tarifarios.

$$ICEE = \frac{\$11,015.28 \text{ anual}}{495 \text{ m}^2} = 22.2531 \frac{\$}{\text{m}^2} \text{ anual}$$

COSTOS DE CONSUMO DE ENERGIA MODELO BASE 2023

| MES | PUNTA | VALLE | RESTO | COSTO TOTAL MENSUAL POR KWH |
|---------------------|-----------|----------|-----------|-----------------------------|
| ENERO | \$ 184.00 | \$ 40.97 | \$ 405.00 | \$ 629.97 |
| FEBRERO | \$ 177.91 | \$ 39.62 | \$ 391.59 | \$ 609.12 |
| MARZO | \$ 206.77 | \$ 46.04 | \$ 455.12 | \$ 707.93 |
| ABRIL | \$ 159.54 | \$ 35.53 | \$ 351.16 | \$ 546.23 |
| MAYO | \$ 199.56 | \$ 44.44 | \$ 439.25 | \$ 683.25 |
| JUNIO | \$ 192.72 | \$ 42.91 | \$ 424.19 | \$ 659.82 |
| JULIO | \$ 208.03 | \$ 46.32 | \$ 457.90 | \$ 712.25 |
| AGOSTO | \$ 175.46 | \$ 39.07 | \$ 386.20 | \$ 600.74 |
| SEPTIEMBRE | \$ 190.94 | \$ 42.52 | \$ 420.26 | \$ 653.71 |
| OCTUBRE | \$ 203.15 | \$ 45.24 | \$ 447.14 | \$ 695.52 |
| NOVIEMBRE | \$ 189.59 | \$ 42.22 | \$ 417.30 | \$ 649.10 |
| DICIEMBRE | \$ 187.21 | \$ 41.69 | \$ 412.05 | \$ 640.94 |
| TOTAL, ANUAL | | | | \$ 7,788.58 |

Tabla 4.12: Costos de consumo de energía modelo base 2023 CUBO Mejicanos.

| COSTOS DE POTENCIA MODELO BASE 2023 | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| MES | CONSUMO MENSUAL [KW] | COSTO DE POTENCIA \$/KW-MES | TOTAL \$ MENSUAL POR KW | COSTO TOTAL MENSUAL KWH + KW |
| ENERO | 18.03 | \$ 9.16 | \$ 165.10 | \$ 898.43 |
| FEBRERO | 17.27 | \$ 9.16 | \$ 158.14 | \$ 867.00 |
| MARZO | 17.69 | \$ 9.16 | \$ 161.98 | \$ 983.00 |
| ABRIL | 18 | \$ 9.16 | \$ 164.82 | \$ 803.49 |
| MAYO | 17.77 | \$ 9.16 | \$ 162.72 | \$ 955.94 |
| JUNIO | 17.9 | \$ 9.16 | \$ 163.91 | \$ 930.81 |
| JULIO | 18.6 | \$ 9.16 | \$ 170.32 | \$ 997.30 |
| AGOSTO | 17.77 | \$ 9.16 | \$ 162.72 | \$ 862.70 |
| SEPTIEMBRE | 17.67 | \$ 9.16 | \$ 161.80 | \$ 921.53 |
| OCTUBRE | 17.8 | \$ 9.16 | \$ 162.99 | \$ 970.11 |
| NOVIEMBRE | 17.66 | \$ 9.16 | \$ 161.71 | \$ 916.22 |
| DICIEMBRE | 17.83 | \$ 9.16 | \$ 163.26 | \$ 908.76 |
| TOTAL, ANUAL | | | \$ 1,959.45 | \$ 11,015.28 |

Tabla 4.13: Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo base 2023 CUBO Mejicanos.

- **Indicador de desempeño energético en refrigeración (IDER).**

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDER = \frac{32242.51 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 65.1364 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- *Indicador de desempeño energético en iluminación (IDEI).*

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDEI = \frac{3801.85 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 7.68051 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- *Indicador de desempeño energético en equipos eléctricos (IDEE).*

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDEE = \frac{19618 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 39.6332 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Modelo de bajo consumo de energía del CUBO Mejicanos.

Luego de tener validado el modelo de línea base, se debe crear un modelo de bajo consumo. Lo que pretende este modelo es aplicar una serie de medidas en el edificio para disminuir el consumo de energía eléctrica y demanda de potencia con respecto al modelo de línea base.

Implementación de medidas modelo de bajo consumo.

Sin la necesidad de hacer un gasto económico, es posible reducir el consumo de energía y gastos de facturación a través de un plan de concientización del ahorro de energía para cambiar las culturas del personal. Esto incluye capacitaciones a los trabajadores, elaboración de carteles para incentivar a las personas que hacen uso de las instalaciones a ser parte del ahorro energético, modificación del horario de uso de los diferentes equipos que se tienen en el CUBO, tales como luminarias, las computadoras del CC, los equipos de aire acondicionado, etc.

A continuación, se presenta la serie de medidas a corregir para el modelo de bajo consumo:

- Computadoras del CC: las 16 computadoras pasan encendidas todo el día, a pesar de que solo dos veces por semana se utilizan las 16 en simultáneo, los trabajadores comentaron que esto lo hacen por comodidad para evitar moverse cada vez que alguien quiere usar alguna. Por lo que se observó en las visitas, en promedio solo pasan en uso alrededor de 5 computadoras por hora durante la semana, por lo tanto, se propone mantener encendidas 5 computadoras y apagadas las demás, no obstante, hay ciertas horas en las que se usan de 8 a 12 computadoras a la vez, por lo que habría que encender las restantes.

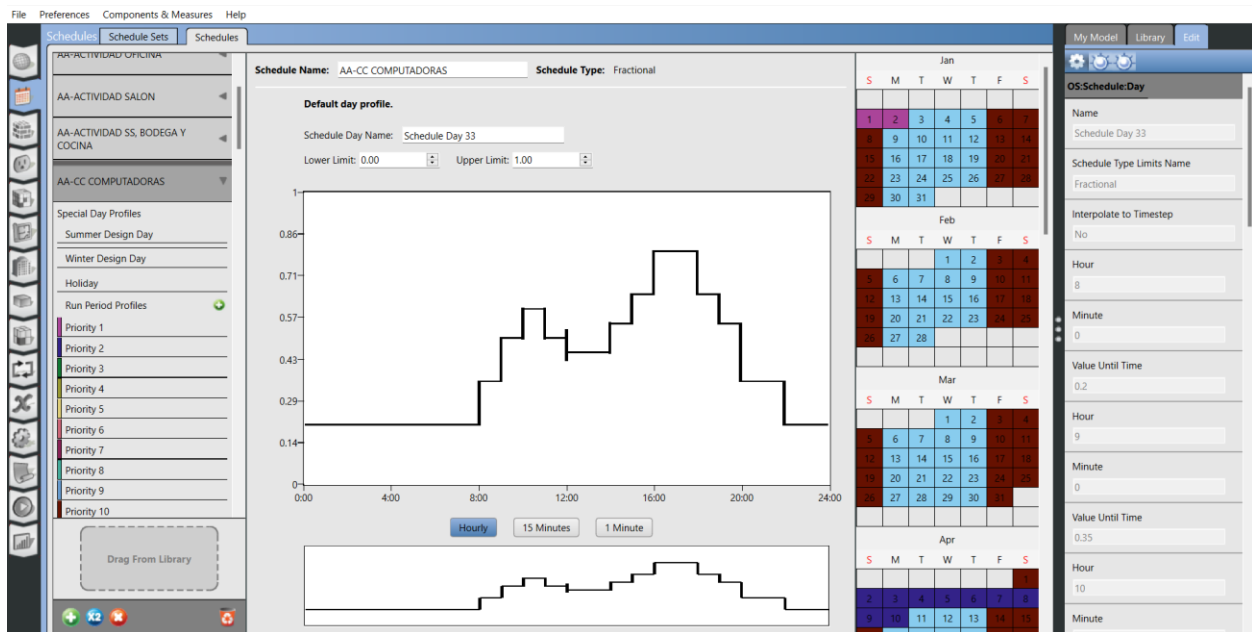


Figura 4.8: Modificación al horario de las computadoras del CC.

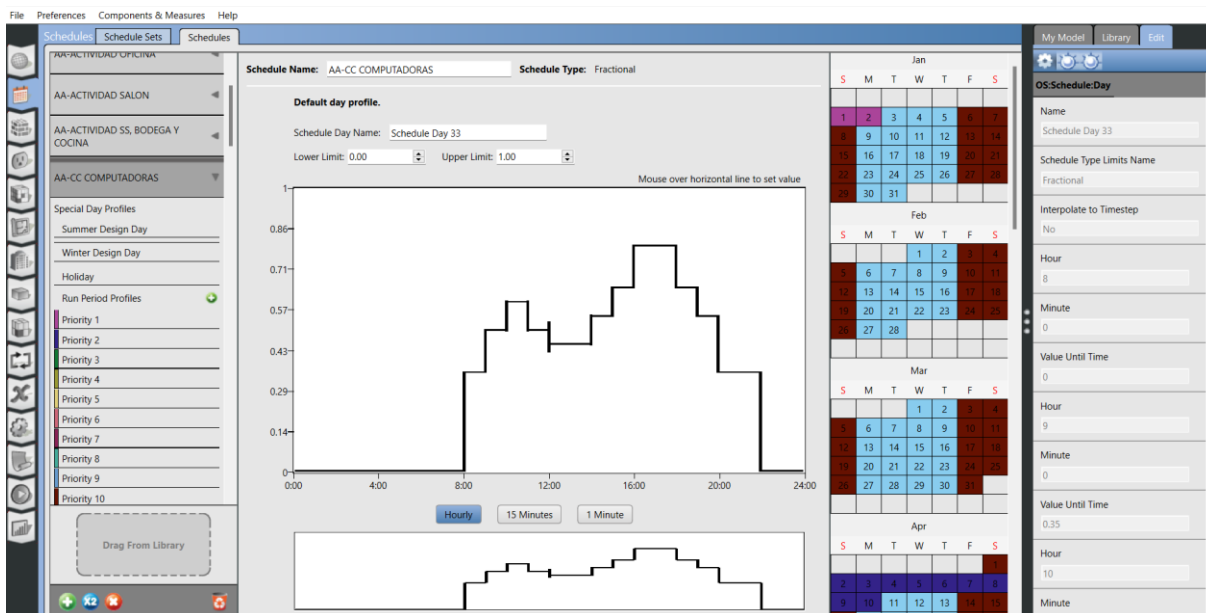


Figura 4.9: Horario de las computadoras del CC modificado más desconexión de UPS al final de la jornada laboral.

- El área de infantes: En las últimas horas de la noche, el movimiento de personas se da únicamente en el salón de usos múltiples y el centro de cómputo. Zonas como el área de infantes no son concurridas; a pesar de estos, el equipo de A/C y la iluminación pasan encendidos durante este periodo. Para eliminar este gasto innecesario, se pondrán en “off” ambos horarios a partir de las 8:30 pm.

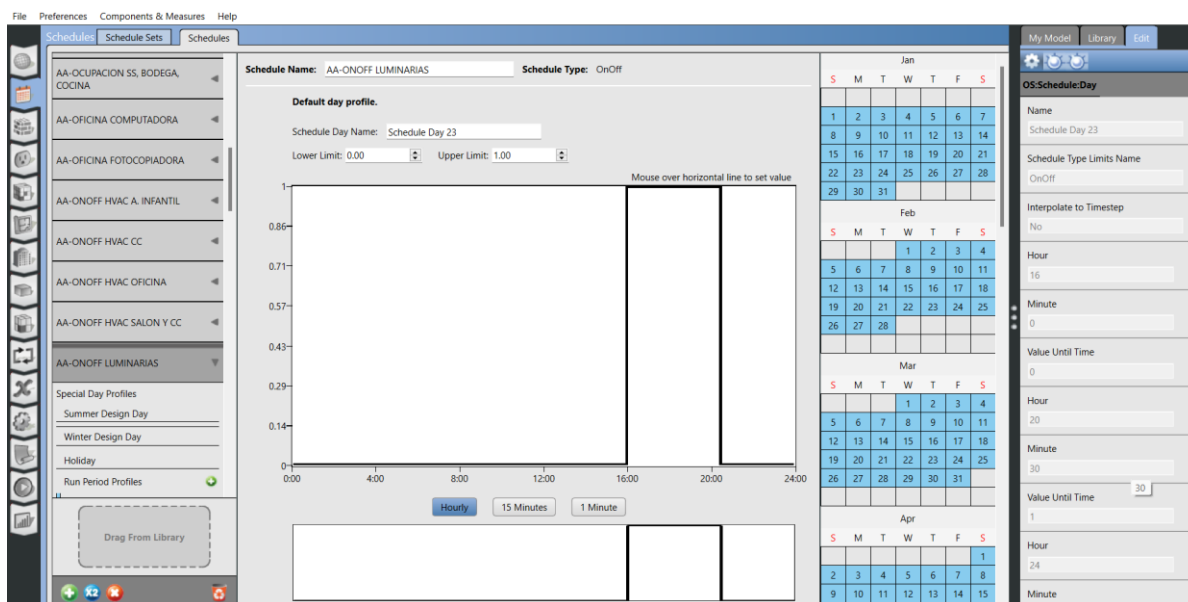


Figura 4.10: Modificación al horario de uso de luminarias del área de infantes.

- Oasis: Como primera observación, los trabajadores afirmaron que el oasis no es desconectado al terminar la jornada laboral. Además, actualmente el equipo tiene la opción de agua caliente y agua fría. Al consultarle al personal que frecuenta el uso de este equipo, dijeron que el uso de agua caliente no es común, ya que cuentan con una cafetera. En promedio, el oasis consume 550W para mantener el agua caliente y fría al mismo tiempo. Según el Boletín No. 16 sobre Eficiencia Energética presentado por ANDA, al deshabilitar el agua caliente en el ciclo de trabajo, el consumo se reduce 80%, por lo que el oasis pasaría de consumir 550W a consumir 110W.

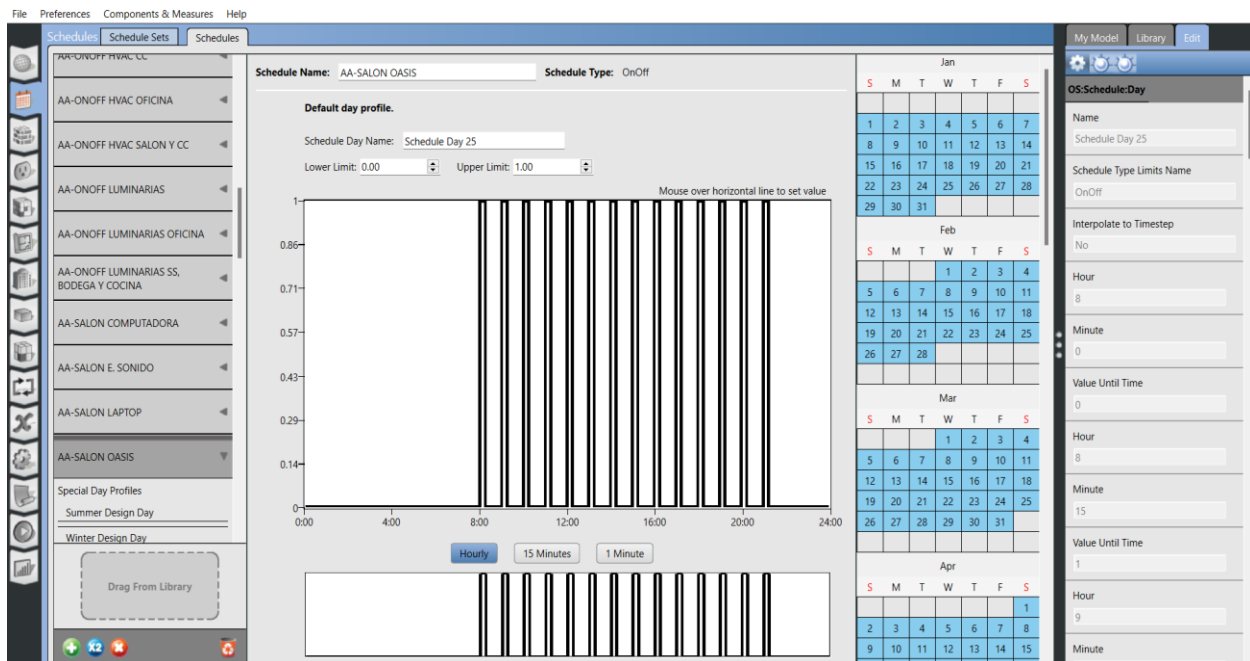


Figura 4.11: Modificación al horario de uso del oasis.

- Aires acondicionados del CC y salón de usos múltiples: El uso de estos equipos representa la mayor parte del consumo por refrigeración, debido a que trabajan durante toda la jornada laboral (8am-10pm). Dicho uso es excesivo, en las primeras horas de la mañana no es necesario encender los A/C para tener una temperatura agradable, al igual que en las últimas horas de la noche, donde el flujo de personas reduce considerablemente luego de las 7pm. Para reducir el gasto por refrigeración, dichos equipos se pondrán en “on” únicamente en el periodo de 10:00 am a 6:30 pm, a excepción de los equipos del CC, los cuales serían de 9:30 am a 7:30 pm.

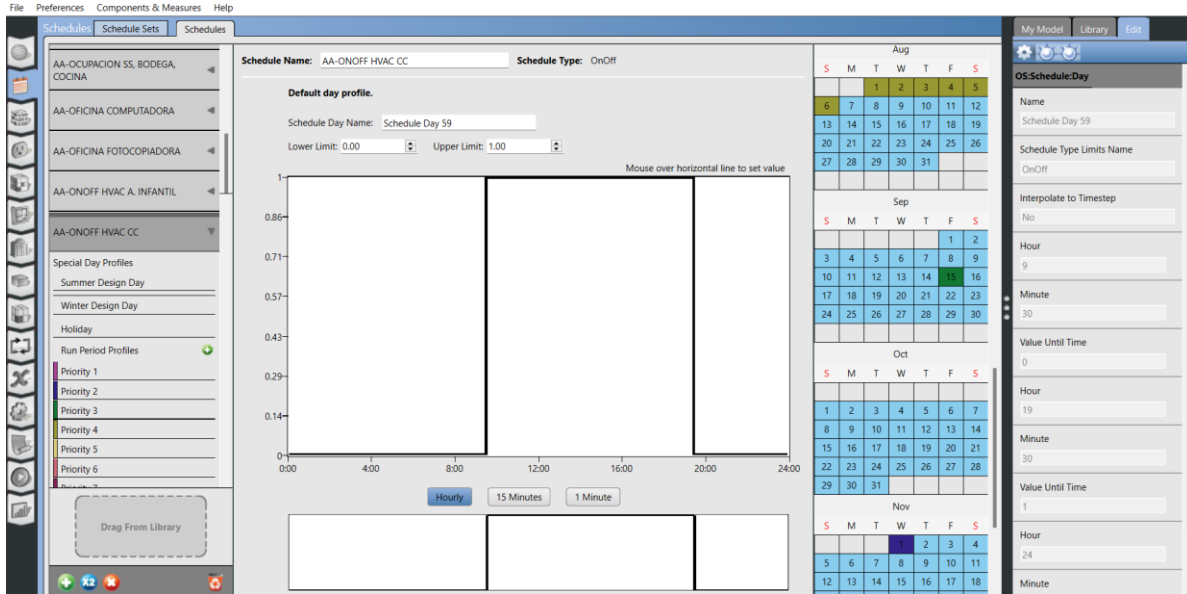


Figura 4.12: Modificación al horario de los A/C del CC y salón de usos múltiples.

- Temperatura de los termostatos: Actualmente, los trabajadores encienden todos los equipos de A/C a una temperatura de trabajo de 20 °C. Dicha temperatura es muy baja y no garantiza el confort para todas las personas que hacen uso de las instalaciones. En la figura 4.13 se muestra la temperatura de confort para El Salvador según la ASHRAE Std. 55, siendo la mínima de 22°C con ropa de invierno y máxima de 27°C con ropa de verano. Por lo que se propone estandarizar todos los termostatos a una temperatura de 24 °C.

EL SALVADOR –
SAN SALVADOR
13.699°S – 89.120°O



Comfort Zones show:
Summer clothing on right,
Winter clothing on left.

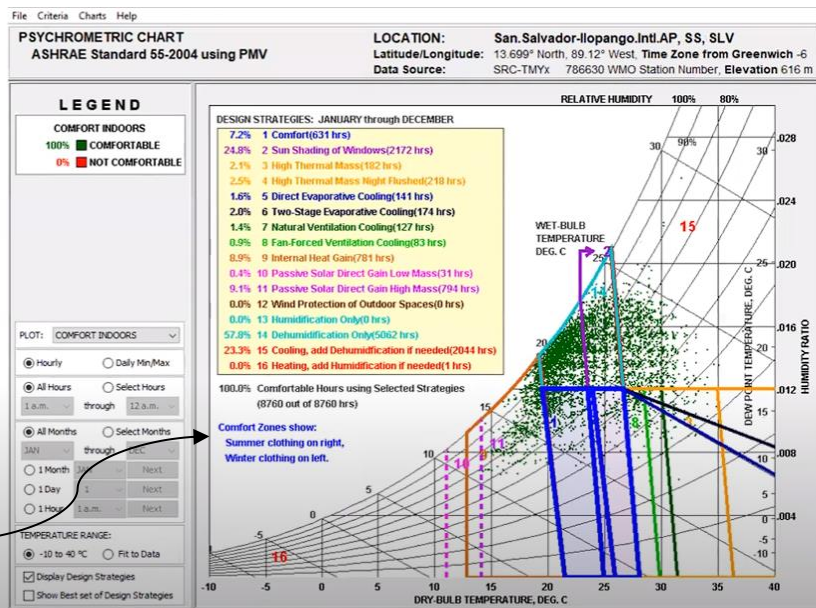


Figura 4.13: Temperaturas de confort para El Salvador según la ASHRAE Std. 55.

En las figuras 4.14 y 4.15 se observan las temperaturas del centro de cómputo y del salón de usos múltiples, respectivamente. Se puede notar cómo para el centro de cómputo la temperatura se mantiene en el rango de (20.13-21.48) a partir de las 10am, exceptuando el lapso de 1pm a 2pm, esto debido a la poca cantidad de gente que hay en las instalaciones en esa hora. Por último, a partir de las 6pm la temperatura empieza a bajar aún más de lo establecido en los equipos de A/C, entrando en el rango de (18.78-20.13).

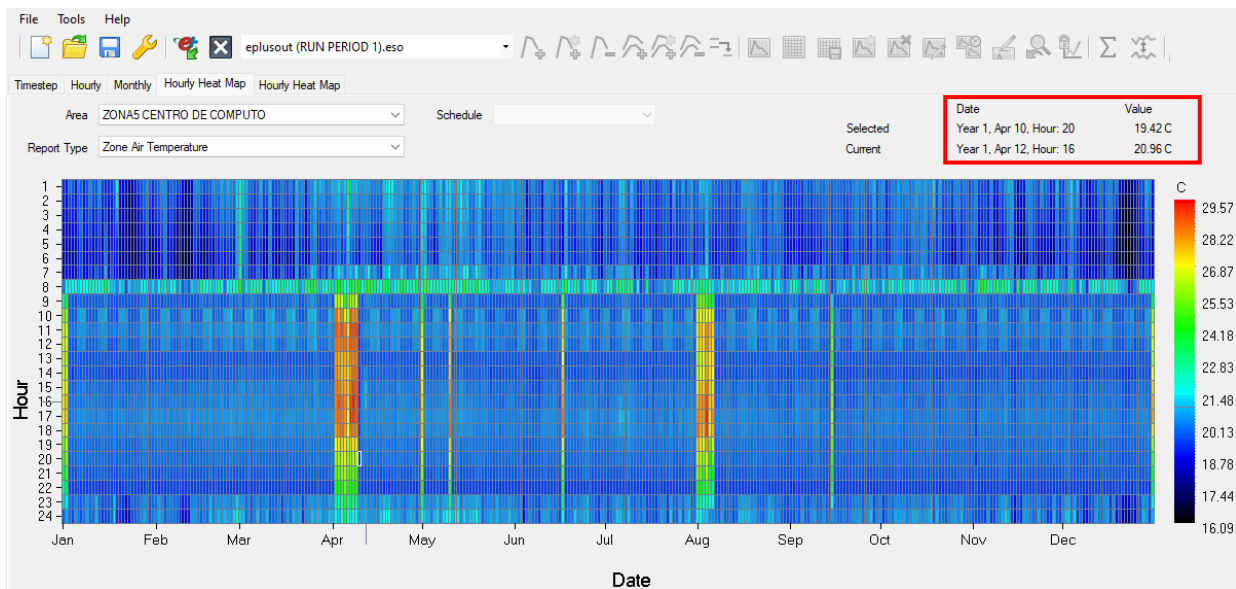


Figura 4.14: Temperatura del centro de cómputo en diferentes horas para cada día del modelo base (20 °C) generada partir del software DesignBuilder.

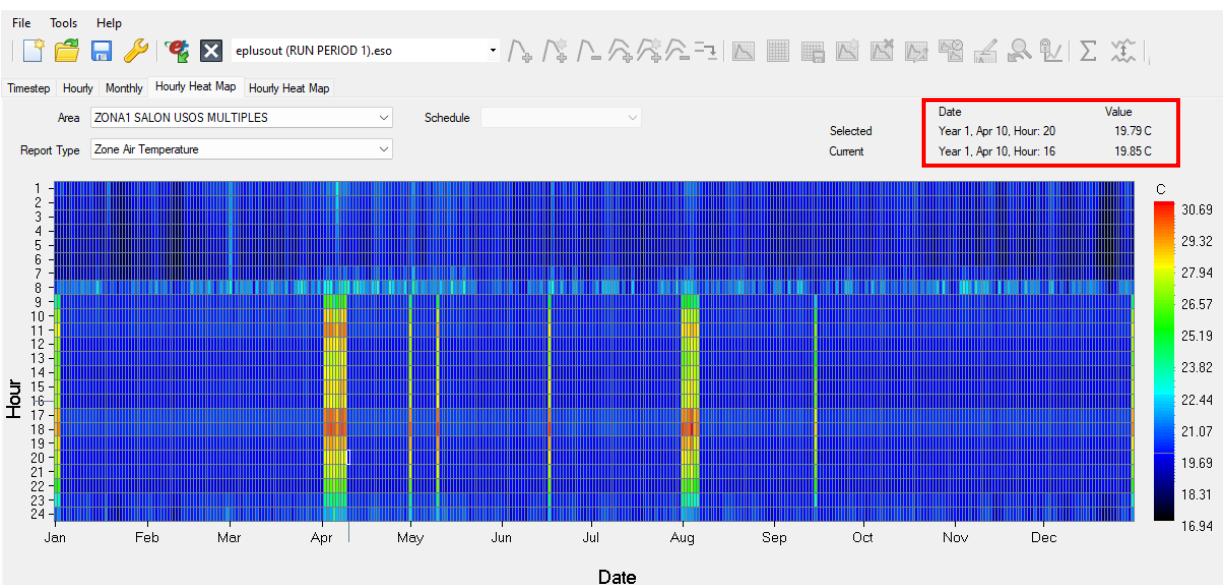


Figura 4.15: Temperatura del salón de usos múltiples en diferentes horas para cada día del modelo base (20 °C) generada partir del software DesignBuilder.

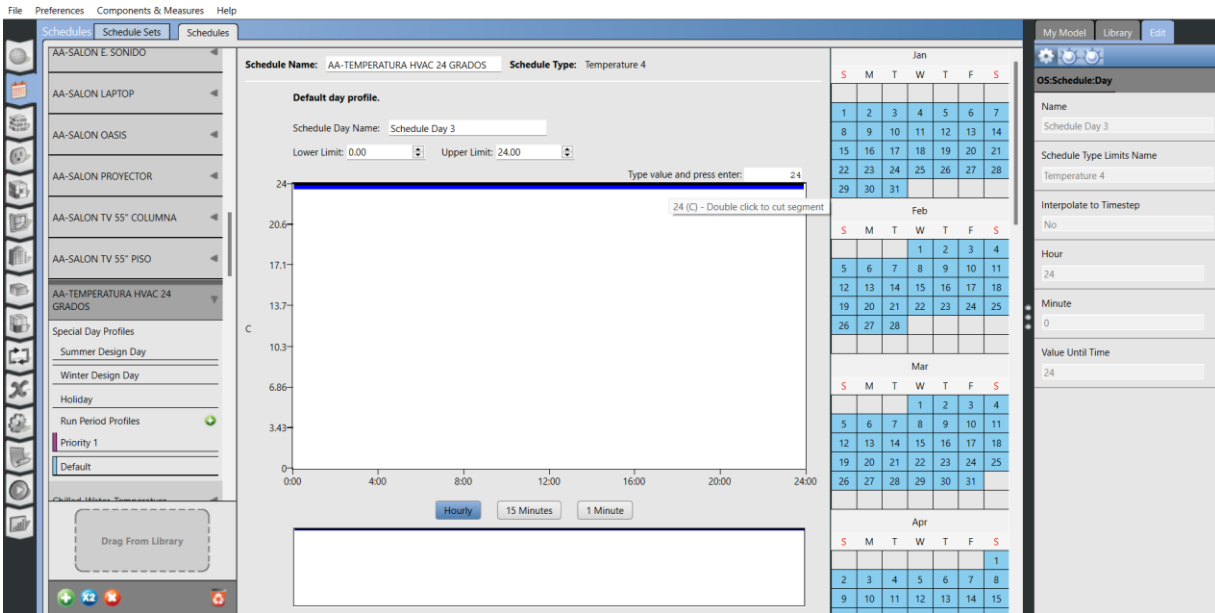


Figura 4.16: Modificación de la temperatura de los termostatos del CUBO a 24 °C .

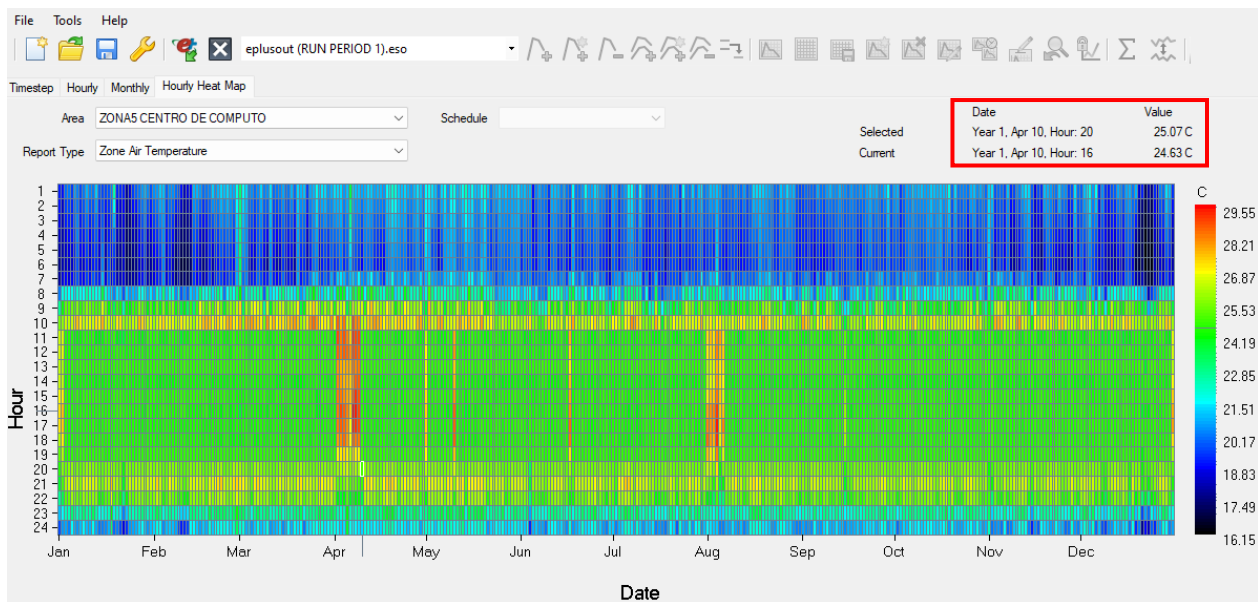


Figura 4.17: Temperatura del centro de cómputo en diferentes horas para cada día del modelo bajo consumo (24 °C) generada partir del software DesignBuilder.

Se puede observar que tras la modificación de la temperatura del termostato a 24 °C, durante las horas de operación de los equipos de A/C, la temperatura del CC se mantiene entre los 24.5 °C. Esto se debe a la generación de calor a causa del uso de las computadoras.

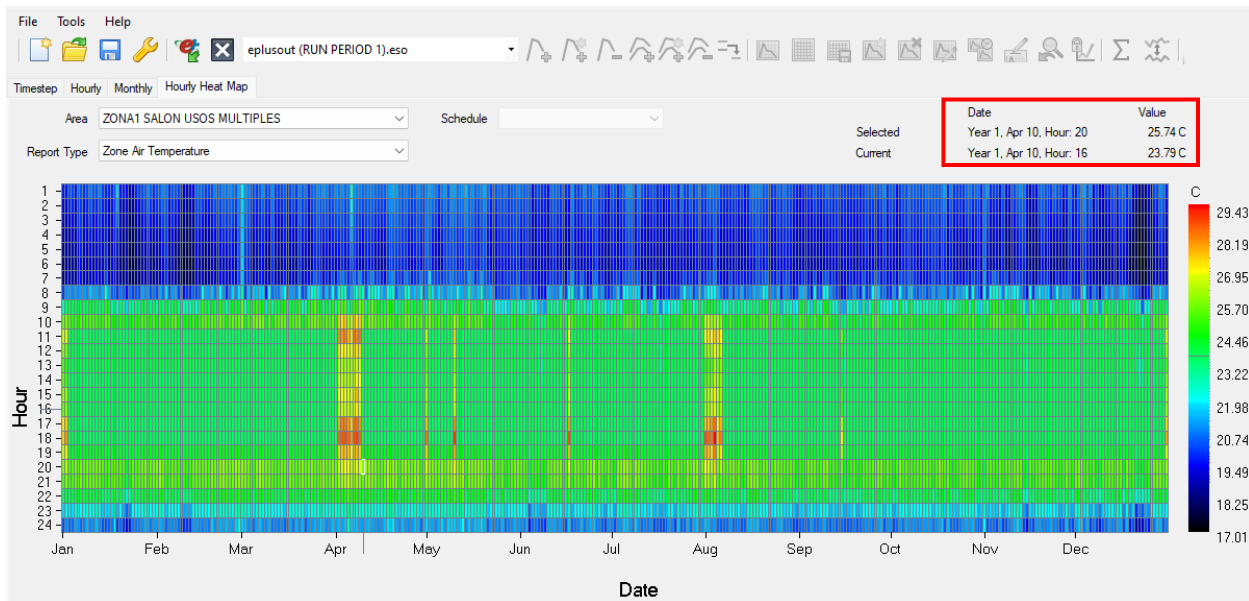


Figura 4.18: Temperatura del salón de usos múltiples en diferentes horas para cada día del modelo de bajo consumo (24 °C) generada partir del software DesignBuilder.

Por último, en el anexo [C] se presentan una serie de carteles que se recomienda ubicar a lo largo del CUBO para ayudar a garantizar que las medidas sugeridas sean implementadas.

Resultados de simulación: Modelo de bajo consumo.

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Heating | | | | | | | | | | | | | |
| Cooling | 836.84 | 862.19 | 1118.83 | 833.73 | 1073.2 | 981.06 | 1109.1 | 892.91 | 932.67 | 1004.67 | 887.34 | 819.43 | 11351.97 |
| Interior Lighting | 297.1 | 268.35 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 3498.15 |
| Exterior Lighting | | | | | | | | | | | | | |
| Interior Equipment | 1378.15 | 1305.06 | 1442.5 | 1122.36 | 1377.97 | 1363.2 | 1450.86 | 1241.08 | 1371.57 | 1442.5 | 1363.03 | 1422.96 | 16281.23 |
| Exterior Equipment | | | | | | | | | | | | | |
| Fans | 401.98 | 388.28 | 430.83 | 308.12 | 403.6 | 402.77 | 430.68 | 348.6 | 401.89 | 429.52 | 437.93 | 415.04 | 4799.24 |
| Pumps | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Rejection | | | | | | | | | | | | | |
| Humidification | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Recovery | | | | | | | | | | | | | |
| Water Systems | | | | | | | | | | | | | |
| Refrigeration | | | | | | | | | | | | | |
| Generators | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 2914.08 | 2823.88 | 3289.26 | 2551.72 | 3151.88 | 3034.55 | 3287.75 | 2779.69 | 2993.64 | 3173.79 | 2975.81 | 2954.53 | 35930.58 |

Tabla 4.14: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo para el año 2023.

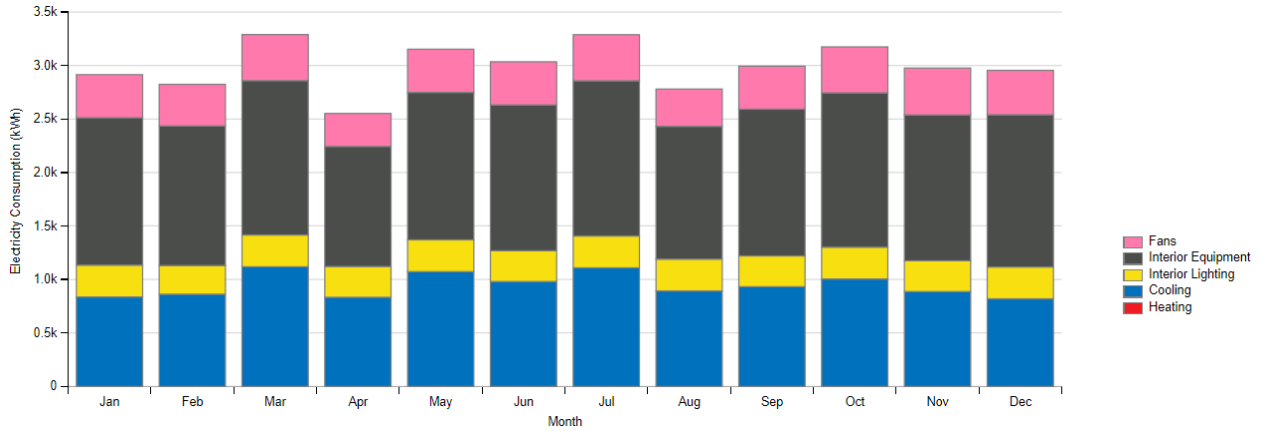


Gráfico 4.6: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo para el año 2023.

Los meses de marzo, julio y octubre son los meses que presentan un mayor consumo eléctrico. Esto se debe a que son los únicos tres meses de 31 días cada uno que no cuentan con al menos un día de asueto que implique cierre de las instalaciones. Mientras que abril y agosto son los meses con menor consumo eléctrico en el año, debido a que en estos meses generalmente existe un periodo largo de vacaciones de los trabajadores.

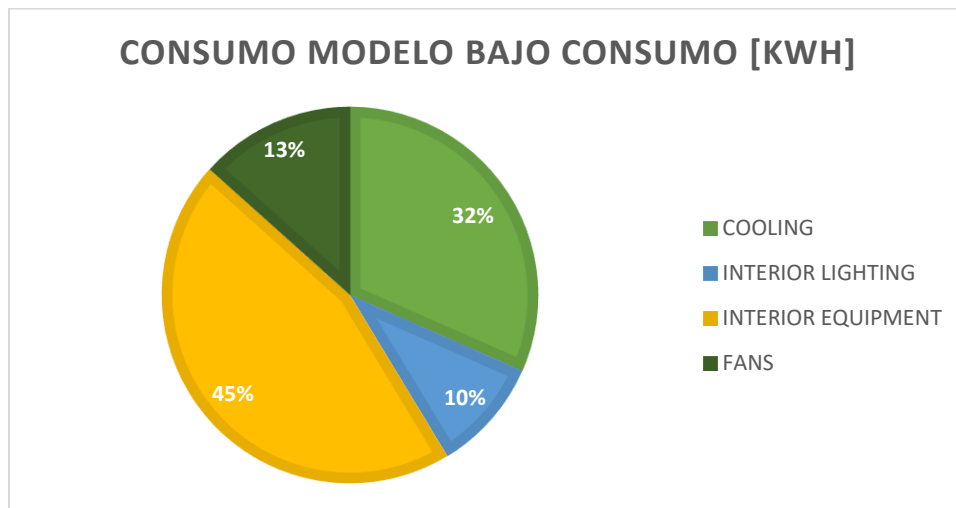


Gráfico 4.7: Distribución de consumo eléctrico en kWh anual del modelo de bajo consumo para el año 2023 del CUBO.

Los equipos encargados de la climatización comprendidos por los aires acondicionados y los fans tienen un consumo anual del 45% de todo el CUBO de Mejicanos. El siguiente apartado con mayor consumo es el de equipo eléctrico, el cual representa un consumo anual del 32% y, por último, se encuentran las luminarias con un consumo anual del 10%.

Indicadores de desempeño energético modelo de bajo consumo del CUBO.

El objetivo de este apartado es establecer los indicadores de desempeño energético (IDEn) actuales para el edificio. Se trata de valores cuantificables que sirven seleccionados para comprender, dar seguimiento, medir y analizar el desempeño energético antes, durante y después de la implementación de los planes de acción y otras acciones relacionadas con la gestión de la energía.

- **Indicador global de desempeño energético (IGDE).**

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energetico anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IGDE = \frac{35930.58 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 72.587 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de desempeño energético en refrigeración (IDER).**

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDER = \frac{16151.21 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 32.6287 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de desempeño energético en iluminación (IDEI).**

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDEI = \frac{3498.15 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 7.066 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de desempeño energético en equipos eléctricos (IDEE).**

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$IDEE = \frac{16281 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 32.8914 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO2/m2 al año.**

Este indicador recoge los kilogramos de CO2 divididos por los metros cuadrados del edificio (kg CO2/m2 al año).

$$\frac{ICO2}{\text{m}^2} \text{ anual} = \frac{(0.5925 \text{ Kg de CO2}) * \text{Consumo energetico anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

$$\frac{ICO2}{\text{m}^2} \text{ anual} = \frac{(0.5925 \text{ Kg de CO2}) * 35930.58 \text{ kWh}}{495 \text{ m}^2} = 43 \text{ kg de } \frac{CO2}{\text{m}^2}$$

La figura 4.19 permite comparar este resultado, clasificándolo en la categoría “E”, por lo que se generó una mejora en la categoría sin necesidad de realizar gastos monetarios.



Figura 4.19: Clasificación de edificios en relación a la emisión de CO2 por metro cuadrado.

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

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energía anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}}$$

Se tomará las cuotas de DEL SUR vigentes a partir del 15 de enero de 2023 publicadas en los pliegos tarifarios de la SIGET.

| II. MEDIANA DEMANDA (10 < kW ≤ 50) | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BAJA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA | | | | | | | | | |
| | | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Cargo Variable | US\$/kWh | 0.162993 | 0.149067 | 0.158561 | 0.153804 | 0.152683 | 0.137790 | 0.228015 | 0.137054 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia | US\$/kW-mes | 16.116777 | 24.566953 | 24.738299 | 29.488459 | 31.683909 | 38.277813 | 17.458443 | 21.144428 |
| MEDIA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA | | | | | | | | | |
| | | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Cargo Variable | US\$/kWh | 0.151545 | 0.138402 | 0.144887 | 0.137400 | 0.138061 | 0.128451 | 0.216730 | 0.128212 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia | US\$/kW-mes | 8.044023 | 9.156741 | 14.151259 | 19.220377 | 20.870145 | 9.942488 | 10.688800 | 5.447846 |
| BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO | | | | | | | | | |
| | | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Atención al Cliente | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Energía en Punta | US\$/kWh | 0.179506 | 0.170316 | 0.179087 | 0.172257 | 0.173915 | 0.156926 | 0.243749 | 0.140004 |
| Energía en Resto | US\$/kWh | 0.157714 | 0.144301 | 0.151861 | 0.148611 | 0.149923 | 0.133341 | 0.218159 | 0.128304 |
| Energía en Valle | US\$/kWh | 0.172748 | 0.160246 | 0.172371 | 0.162848 | 0.165195 | 0.140872 | 0.244079 | 0.131320 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia: | US\$/kW-mes | 16.116777 | 24.566953 | 24.738299 | 29.488459 | 31.683909 | 38.277813 | 17.458443 | 21.144428 |
| MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO | | | | | | | | | |
| | | CAESS | DEL SUR | CLESA | EEO | DEUSEM | EDESAL | B&D | ABRUZZO |
| Cargo de Comercialización: | | | | | | | | | |
| Cargo Fijo | US\$/Usuario-mes | 0.837715 | 0.979692 | 0.759466 | 0.891345 | 0.792871 | 1.581505 | 0.867936 | 0.995852 |
| Cargo de Energía: | | | | | | | | | |
| Energía en Punta | US\$/kWh | 0.166294 | 0.155907 | 0.163329 | 0.153601 | 0.154150 | 0.146630 | 0.231685 | 0.123731 |
| Energía en Resto | US\$/kWh | 0.146106 | 0.132093 | 0.138499 | 0.132516 | 0.132884 | 0.124592 | 0.207362 | 0.113392 |
| Energía en Valle | US\$/kWh | 0.160034 | 0.146689 | 0.157204 | 0.145212 | 0.146421 | 0.131629 | 0.231999 | 0.116057 |
| Cargo de Distribución: | | | | | | | | | |
| Potencia: | US\$/kW-mes | 8.044023 | 9.156741 | 14.151259 | 19.220377 | 20.870145 | 9.942488 | 10.688800 | 5.447846 |

Figura 4.20: Pliego tarifario vigente a partir de enero 2023.

En las tablas 4.15 y 4.16 se muestran los costos de energía y de potencia totales para el año de bajo consumo 2023. Los costos monetarios que se calculan incluyen el impuesto del IVA (13%), el cual no se refleja en las tarifas de los pliegos tarifarios.

| COSTOS DE CONSUMO DE ENERGIA MODELO BAJO CONSUMO 2023 | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|-----------------------------|
| MES | PUNTA | VALLE | RESTO | COSTO TOTAL MENSUAL POR KWH |
| ENERO | \$ 119.10 | \$ 26.52 | \$ 262.14 | \$ 407.75 |
| FEBRERO | \$ 115.41 | \$ 25.70 | \$ 254.02 | \$ 395.13 |
| MARZO | \$ 134.43 | \$ 29.93 | \$ 295.89 | \$ 460.25 |
| ABRIL | \$ 104.29 | \$ 23.22 | \$ 229.54 | \$ 357.05 |
| MAYO | \$ 128.81 | \$ 28.68 | \$ 283.53 | \$ 441.03 |
| JUNIO | \$ 124.02 | \$ 27.62 | \$ 272.97 | \$ 424.61 |
| JULIO | \$ 134.37 | \$ 29.92 | \$ 295.75 | \$ 460.04 |
| AGOSTO | \$ 113.60 | \$ 25.30 | \$ 250.05 | \$ 388.95 |
| SEPTIEMBRE | \$ 122.35 | \$ 27.24 | \$ 269.29 | \$ 418.88 |
| OCTUBRE | \$ 129.71 | \$ 28.88 | \$ 285.50 | \$ 444.09 |
| NOVIEMBRE | \$ 121.62 | \$ 27.08 | \$ 267.69 | \$ 416.39 |
| DICIEMBRE | \$ 120.75 | \$ 26.89 | \$ 265.78 | \$ 413.41 |
| TOTAL, ANUAL | | | | \$ 5,027.57 |

Tabla 4.15: Costos de consumo de energía modelo de bajo consumo 2023 CUBO Mejicanos.

| COSTOS DE POTENCIA MODELO BAJO CONSUMO 2023 | | | | |
|---|----------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| MES | CONSUMO MENSUAL [KW] | COSTO DE POTENCIA \$/KW-MES | TOTAL \$ MENSUAL POR KW | COSTO TOTAL MENSUAL KWH + KW |
| ENERO | 15.65 | \$ 9.16 | \$ 143.30 | \$ 622.69 |
| FEBRERO | 15.13 | \$ 9.16 | \$ 138.54 | \$ 603.05 |
| MARZO | 16.08 | \$ 9.16 | \$ 147.24 | \$ 686.46 |
| ABRIL | 16.05 | \$ 9.16 | \$ 146.97 | \$ 569.54 |
| MAYO | 16.09 | \$ 9.16 | \$ 147.33 | \$ 664.84 |
| JUNIO | 15.77 | \$ 9.16 | \$ 144.40 | \$ 642.98 |
| JULIO | 16.13 | \$ 9.16 | \$ 147.70 | \$ 686.74 |
| AGOSTO | 15.94 | \$ 9.16 | \$ 145.96 | \$ 604.44 |
| SEPTIEMBRE | 15.43 | \$ 9.16 | \$ 141.29 | \$ 632.99 |
| OCTUBRE | 16.12 | \$ 9.16 | \$ 147.61 | \$ 668.62 |
| NOVIEMBRE | 15.29 | \$ 9.16 | \$ 140.01 | \$ 628.73 |
| DICIEMBRE | 15.29 | \$ 9.16 | \$ 140.01 | \$ 625.36 |
| TOTAL, ANUAL | | | \$ 1,730.35 | \$ 7,636.44 |

Tabla 4.16: Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo de bajo consumo 2023 CUBO Mejicanos.

$$ICEE = \frac{\$7,634.44 \text{ anual}}{495 \text{ m}^2} = 15.4231 \frac{\$}{\text{m}^2} \text{ anual}$$

Comparativa resultados de simulación: Modelo línea base vs modelo de bajo consumo.

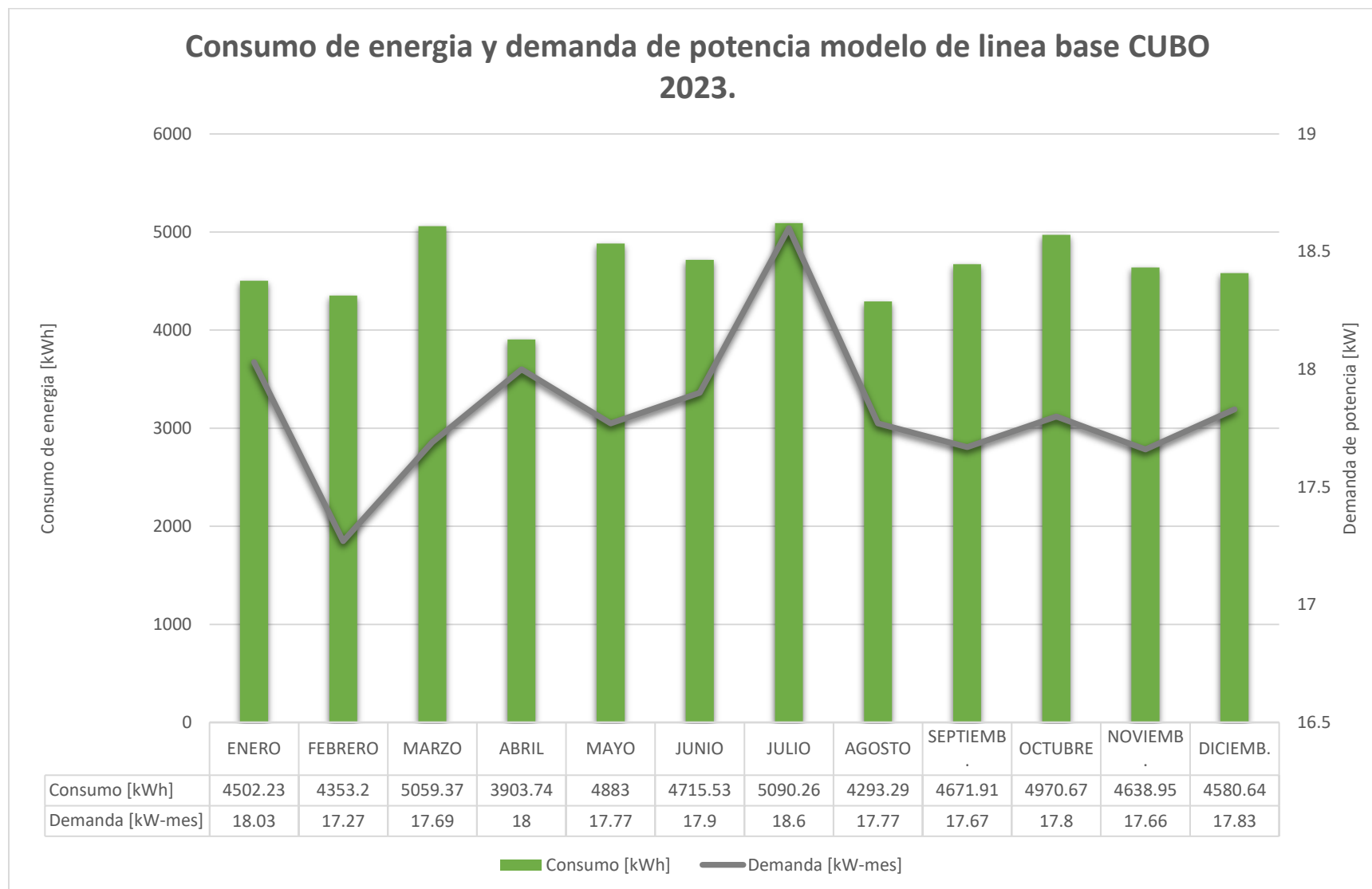


Gráfico 4.8: Consumo de energía y demanda de potencia para modelo de línea base año 2023.

Consumo de energía y demanda de potencia modelo de bajo consumo CUBO 2023.



Gráfico 4.9: Consumo de energía y demanda de potencia para modelo de bajo consumo año 2023.

Consumo de energía modelo de línea base vs modelo bajo consumo.

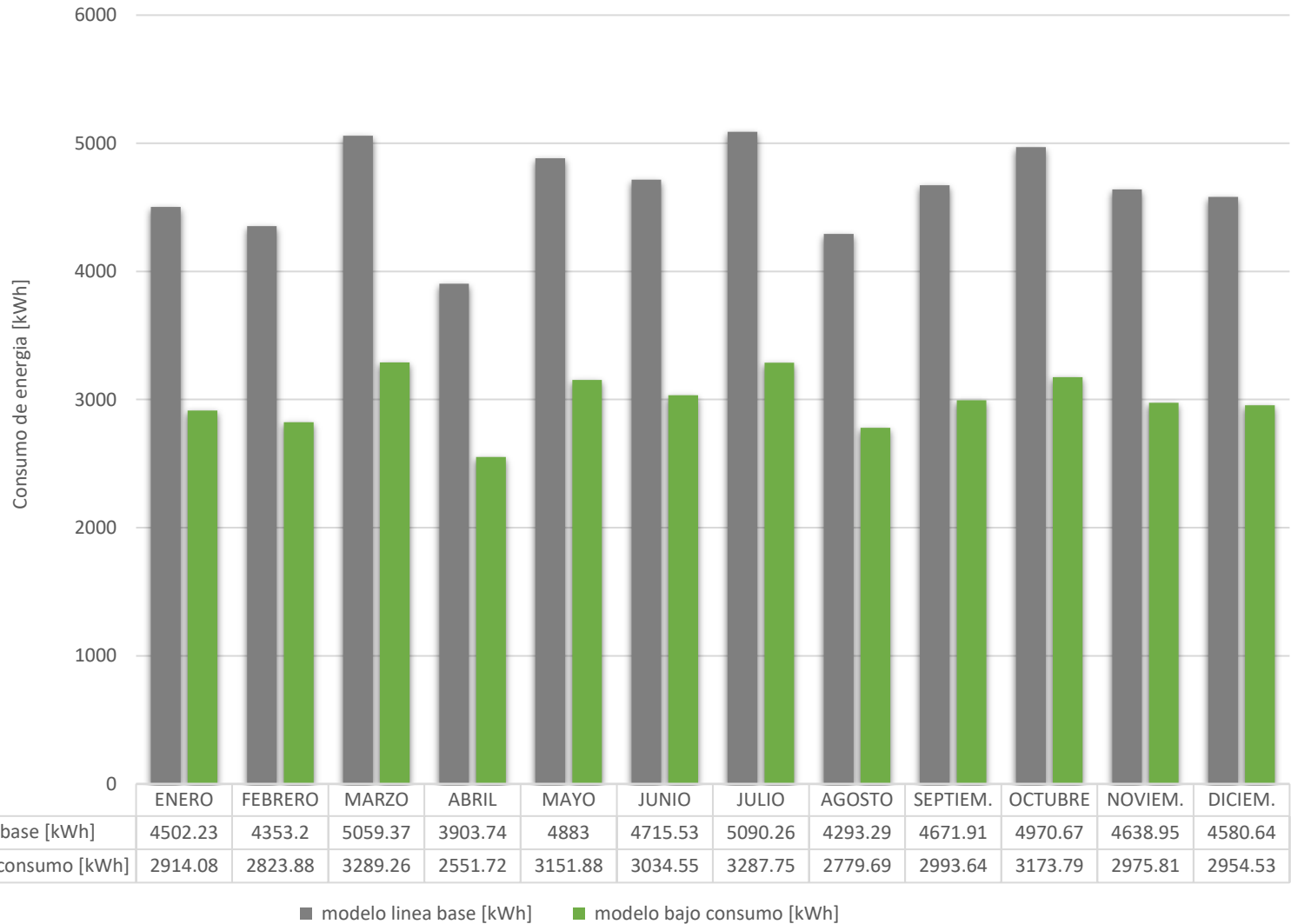


Gráfico 4.10: Consumo de energía mensual del modelo de línea base vs modelo de bajo consumo para el año 2023 del CUBO.

En la tabla 4.17 se puede apreciar que la reducción más significativa en cuanto a consumo de energía eléctrica se refiere viene dada por el apartado de HVAC. Este fue el factor más determinante y con mejor margen para corregir. Por otro lado, la reducción en iluminación es mínima, debido a que el CUBO ya cuenta con iluminación led y hacen un uso eficiente de ella.

| TIPO DE CONSUMO | CONSUMO MODELO LINEA BASE [KWH] | CONSUMO MODELO BAJO CONSUMO [KWH] | AHORRO [KWH] |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| COOLING | 19739.63 | 11351.97 | 8387.66 |
| INTERIOR LIGHTING | 3801.85 | 3498.15 | 303.7 |
| INTERIOR EQUIPMENT | 19618.42 | 16281.23 | 3337.19 |
| FANS | 12502.88 | 4799.24 | 7703.64 |
| TOTAL | 55662.78 | 35930.59 | 19732.19 |

Tabla 4.17: Reducción de consumo de energía eléctrica para el año 2023.

| MES | COSTO KWH + KW CON IVA MODELO DE LINEA BASE | COSTO KWH + KW CON IVA MODELO DE BAJO CONSUMO | REDUCCION |
|---------------------|---|---|--------------------|
| ENERO | \$ 898.43 | \$ 622.69 | \$ 275.74 |
| FEBRERO | \$ 867.00 | \$ 603.05 | \$ 263.95 |
| MARZO | \$ 983.00 | \$ 686.46 | \$ 296.54 |
| ABRIL | \$ 803.49 | \$ 569.54 | \$ 233.95 |
| MAYO | \$ 955.94 | \$ 664.84 | \$ 291.10 |
| JUNIO | \$ 930.81 | \$ 642.98 | \$ 287.83 |
| JULIO | \$ 997.30 | \$ 686.74 | \$ 310.56 |
| AGOSTO | \$ 862.70 | \$ 604.44 | \$ 258.26 |
| SEPTIEMBRE | \$ 921.53 | \$ 632.99 | \$ 288.54 |
| OCTUBRE | \$ 970.11 | \$ 668.62 | \$ 301.50 |
| NOVIEMBRE | \$ 916.22 | \$ 628.73 | \$ 287.49 |
| DICIEMBRE | \$ 908.76 | \$ 625.36 | \$ 283.39 |
| TOTAL, ANUAL | \$ 11,015.28 | \$ 7,636.44 | \$ 3,378.84 |

Tabla 4.18: Reducción de costos de facturación para el año 2023.

| INDICADOR | MODELO DE LINEA BASE | MODELO DE BAJO CONSUMO | REDUCCION |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|------------|
| IGDE [kWh/m ²] | 112.47 | 72.587 | 35% |
| IDER [kWh/m ²] | 65.1364 | 32.6287 | 50% |
| IDEI [kWh/m ²] | 7.68041 | 7.066 | 8% |
| IDEE [kWh/m ²] | 39.6332 | 32.8914 | 17% |
| ICO2 [kg de CO2/ m ²] | 66.62 | 43 | 35% |
| ICEE [\$/m ²] | 22.2531 | 15.4231 | 31% |

Tabla 4.19: Comparación de indicadores energéticos para cada modelo.

La norma ISO 50001 en el cubo de mejicanos.

Esta norma se encarga de proporcionar beneficios medibles a las organizaciones de todo el mundo, se basa en elementos comunes a otras normas del sistema de gestión ISO unificando dos estándares, como son la ISO 14001 y la ISO 9001.

Engloba una serie de buenas prácticas para gestionar la energía, facilitando a las organizaciones que adopten dicha norma una herramienta capaz de reducir los costos de facturación por consumo de energía, además de la mitigación de riesgos y reducción de emisión de gases de efecto invernadero. Su estructura permite su integración con otros sistemas de gestión, ya sea de calidad, medioambiente, inocuidad de los alimentos, de seguridad y salud laboral, etc., que puedan estar presentes en la organización.

La norma es muy compleja debido a su amplia capacidad de aplicación, es suficientemente extensa como para dedicarle un trabajo de investigación por separado. En este trabajo se busca crear una serie de recomendaciones respecto a poder tener ahorros de facturación y una mejora en la calidad y gestión de la energía.

Medidas de ahorro energético.

La medida más esencial dentro de este apartado se basa en la concientización respecto a la necesidad de ahorro de energía que se debe inculcar en las personas que hacen uso del edificio. Cosas básicas como dejar una luz apagada en la oficina mientras no se hace uso de ella marcan la diferencia. Este cambio de actitud o de cultura se debe generar gradualmente, comenzando por la capacitación de los trabajadores, los cuales serían los encargados de buscar transmitir dicho ideal a las personas que visiten el edificio durante el día.

Otro punto importante debe ser la colocación de carteles en zonas estratégicas. Dichos carteles deben tener como finalidad recordar al operario la acción de desactivar las luminarias o equipos eléctricos cuando estos no se utilicen, inclusive también advertir de desactivar los equipos de aire acondicionado cuando no son utilizados. Por ejemplo, en el centro de cómputo del CUBO, colocar diversos carteles como "Por favor, apagar la computadora cuando no se está utilizando" o "Mantener la temperatura de los equipos de A/C en el rango de confort recomendado" pueden ayudar a generar un cambio.

Durante las visitas se observó que hay lugares en los cuales encienden las luminarias aun cuando no hay nadie presente en dicha zona. Esto fue declarado por los trabajadores como “comodidad” afirmando que encienden todas las luces del edificio a las 5pm y las apagan hasta el cierre de las instalaciones a las 10:pm. El hecho de que no se tomen el tiempo de apagar las luminarias de una zona sin uso representa un nivel de conciencia nulo por parte de los ocupantes del edificio en cuanto a ejercer hábitos de ahorro energético.

Plan de acción para la gestión energética.

Se debe establecer una metodología de control y seguimiento periódico de la situación energética del CUBO por medio de una programación organizada que permita registrar los resultados obtenidos tras cada análisis de ahorro energético.

Control

- Crear un comité energético encargado de velar y dar seguimiento al cumplimiento de las acciones propuestas para el ahorro energético.
- El comité, además, se debe encargar de establecer las metas de ahorro energético para cada zona dentro del CUBO.
- Monitorear la implementación de las medidas cada cierto tiempo; un punto de partida puede ser una frecuencia de 3 meses.
- Incentivar la conciencia energética a los diferentes usuarios de las instalaciones por medio de carteles, afiches con información, calcomanías a colocar cerca de equipos a utilizar de forma más racional, boletines informativos, jornadas educativas, charlas, además de premiar tal contribución con reconocimientos, rifas, etc.

Seguimiento

- Se debe realizar mediante el registro periódico y permanente de los consumos de energía eléctrica, a partir de esto se podrá dar seguimiento al cumplimiento de las metas previamente establecidas para el edificio. En primera instancia, se recomienda hacerlo por medio de la verificación de las facturas de electricidad.
- Evaluar la efectividad de las estrategias de concientización respecto al ahorro energético luego de la implementación del plan de acción.
- El comité y toda persona involucrada deberá permanecer en constante capacitación para crear un ciclo de mejora continua.

Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico en el CUBO Mejicanos.

Tras realizar el análisis energético con énfasis en la eficiencia energética en el CUBO de Mejicanos, se propone como alternativa un sistema de generación fotovoltaico para un ahorro en los costos de facturación por consumo de energía eléctrica.

Esta propuesta se realizará al modelo de bajo consumo de la sección anterior, puesto que dicho modelo no implica gastos económicos. Se da por hecho que las medidas propuestas son aplicables siempre y cuando exista interés por parte de las autoridades y el personal en realizar un cambio. En tal caso, dicho modelo se convertiría a largo plazo en el modelo de consumo estándar del CUBO.

El consumo promedio mensual para el modelo de bajo consumo es de 2924.215 kWh/mes. La norma de SIGET para sistemas UPR conectados a la red (Anexo I) establece que no se puede dimensionar una planta fotovoltaica con más del 90% del consumo total del edificio. Con esto en mente, se diseñará un sistema fotovoltaico conectado a la red para disminuir la facturación en un 60%.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

$$\text{Consumo local} = 2924.215 \frac{kWh}{mes}$$

$$\text{Consumo local (60\%)} = 2924.215 \frac{kWh}{mes} * 0.6 = 1754.53 \frac{kWh}{mes} \cong \mathbf{1755 \frac{kWh}{mes}}$$

$$\text{Indice de produccion} = Y_f = \mathbf{1600 \frac{kWh}{kW_p}} / \text{año}$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{\text{Consumo local (60\%)} * 12}{\text{Indice de produccion}} = \frac{1755 (kWh)/mes * 12}{1600 kWh/(kW_p)/año}$$

$$\text{Potencia requerida} = \mathbf{13.16 kW_p}$$

Equipo a utilizar

Módulos fotovoltaicos

Se seleccionan MFV de los más eficientes que existen en el mercado; esto representa valores de W_p altos, así como también valores altos de I_{sc} y V_{oc} . Sabiendo esto, se elige el modelo Canadian Solar CS6W-550MS; a continuación, se muestran sus características:

| ELECTRICAL DATA STC* | | | | | | |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| CS6W | 535MS | 540MS | 545MS | 550MS | 555MS | 560MS |
| Nominal Max. Power (Pmax) | 535 W | 540 W | 545 W | 550 W | 555 W | 560 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 41.1 V | 41.3 V | 41.5 V | 41.7 V | 41.9 V | 42.1 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 13.02 A | 13.08 A | 13.14 A | 13.20 A | 13.25 A | 13.31 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 49.0 V | 49.2 V | 49.4 V | 49.6 V | 49.8 V | 50.0 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 13.85 A | 13.90 A | 13.95 A | 14.00 A | 14.05 A | 14.10 A |
| Module Efficiency | 20.7% | 20.9% | 21.1% | 21.3% | 21.5% | 21.7% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL) | | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730) | | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 25 A | | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ + 10 W | | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Figura 4.21: Características eléctricas del MFV monocristalino de Canadian Solar CS6W-550MS.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.34 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.26 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 42 ± 3°C |

Figura 4.22: Características de temperatura para el MFV.

$$\text{Potencia del MFV} = 550 W_p$$

$$\# \text{ MFV} = \frac{\text{Potencia requerida}}{\text{Potencia del MFV}} = \frac{13.16 \text{ kW}_p}{550 W_p} = 23.92 = 24 \text{ MFV}$$

$$\text{Potencia a instalar} = 24 * \text{Potencia MFV} = 13.200 \text{ kW}_p$$

El sistema será diseñado para instalarse en el área de San Salvador, en donde se tiene una temperatura mínima de celda de 10°C y una máxima de 70°C. sabiendo esto, los valores del cálculo de variación de voltaje a estas temperaturas se presentan a continuación:

$$Voc_x = Voc * \frac{\beta Voc}{100} * (T(min/max) - Tamb) + Voc$$

| TEMPERATURA 10°C | |
|------------------|---------|
| Voc | 51.5 V |
| Vmp | 43.82 V |
| TEMPERATURA 70°C | |
| Voc | 43.79 V |
| Vmp | 35.31 V |

Tabla 4.20: Resultados de evaluación para un MFV según temperaturas.

Inversor

Se selecciona el inversor KSTAR modelo BluE-G 5000D con las siguientes características:

| MODELO | BluE-G 3000D | BluE-G 4000D | BluE-G 5000D |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
| Input (DC) | | | |
| Max. potencia FV recomendada | 4050W | 5400W | 6750W |
| Voltaje DC máx. | 600V | 600V | 600V |
| Voltaje nominal | 380V | 380V | 380V |
| Voltaje de partida | 100V | 100V | 100V |
| Rango de voltaje de MPPT | 80V-560V | 80V-560V | 80V-560V |
| Número de MPP trackers | 2 | 2 | 2 |
| Strings por MPP tracker | 1 | 1 | 1 |
| Max. corriente por MPPT | 15A | 15A | 15A |
| Max. corriente de CC por MPPT | 18A | 18A | 18A |
| Output (AC) | | | |
| Potencia nominal salida AC | 3000W | 4000W | 5000W |
| Máxima potencia aparente | 3300VA | 4400VA | 5500VA |
| Voltaje AC nominal | 230V L-N | 230V L-N | 230V L-N |
| Rango de frecuencia de red | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz |
| Máx. corriente de salida | 14.5A | 19A | 24A |
| Factor de potencia (cos φ) | 0.8 leading ~ 0.8 lagging | | |
| THDi | <3% | | |
| Eficiencia | | | |
| Máx. eficiencia | 98.1% | 98.3% | 98.3% |
| Euro eficiencia | 97.7% | 97.9% | 97.9% |

Figura 4.23: Características del inversor KSTAR modelo BluE-G 5000D.

Con las características eléctricas del inversor escogido y los resultados calculados anteriormente, determinamos el número de módulos por string a utilizar:

$$\# MFV [V_{oc_{max}}] = \frac{600V}{51.5V} = 11.65 \rightarrow \# MFV [V_{oc_{max}}] = \mathbf{11 MFV}$$

$$\# MFV [V_{oc_{min}}] = \frac{100V}{43.79V} = 2.28 \rightarrow \# MFV [V_{oc_{min}}] = \mathbf{3 MFV}$$

$$\# MFV [V_{mp_{max}}] = \frac{560V}{43.82V} = 12.77 \rightarrow \# MFV [V_{mp_{max}}] = \mathbf{12 MFV}$$

$$\# MFV [V_{mp_{min}}] = \frac{80V}{35.31V} = 2.26 \rightarrow \# MFV [V_{mp_{min}}] = \mathbf{3 MFV}$$

El rango permitido de módulos por string es de: 3 – 11 MFV/String, ahora, calculamos la cantidad máxima de MFV que se pueden instalar por cada inversor:

$$\frac{\#MFV}{inver.} = \frac{P_{inv}}{P_{MFV}} = \frac{6750kW}{550W} = 12 \frac{MFV}{inver.}$$

Conociendo el total de MFV que soporta el inversor, seleccionamos un total de 6 MFV/ string.

$$Potencia String = \# MFV * Potencia MFV = 6 * 550 W = 3300W$$

$$\frac{\#String}{inver.} = \frac{12}{6} = 2 Strings$$

La potencia DC máxima de entrada por inversor será la siguiente:

$$P_{dc max} = 6 \frac{MFV}{String} * 2 \frac{String}{inver.} * 550 \frac{W}{MFV} = 6.6kW/inver.$$

Encontramos la inclinación óptima sabiendo que la latitud del departamento es de 13.77 °:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi|$$

$$\beta_{opt} = 13.20^\circ \approx 13^\circ$$

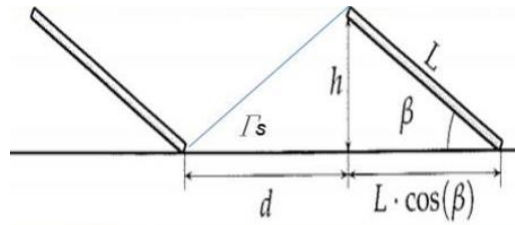


Figura 4.24: representación de los datos para el cálculo de distancia entre MFV.

El cálculo de la distancia mínima se hará para el día 21 de diciembre, al mediodía solar, ya que este día el sol se encuentra ubicado a -23.45° al Sur con respecto al Ecuador, provocando la mayor sombra durante el año.

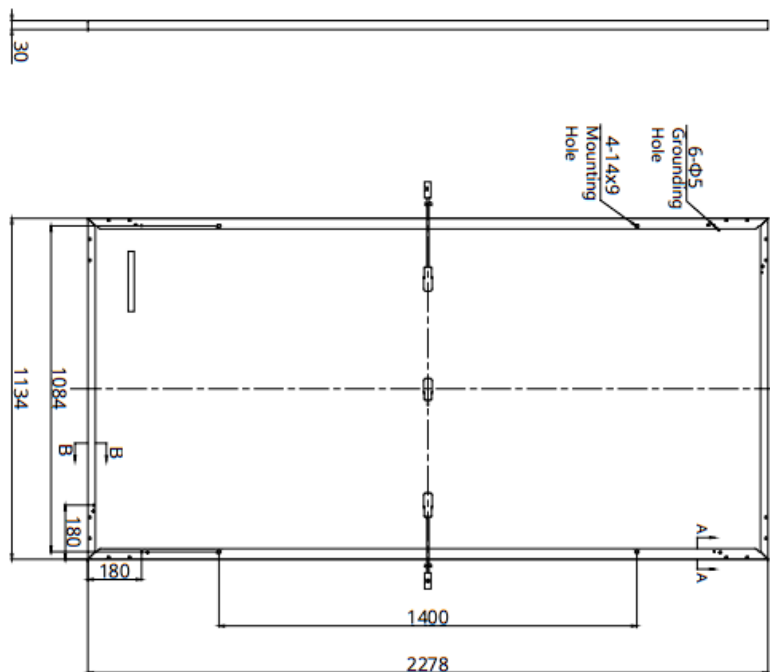


Figura 4.25: dimensiones del MFV a utilizar (2278x1134x30) mm.

Orientando todos los paneles hacia el sur, evaluamos en un periodo de 4 horas sin sombra alrededor del mediodía solar con $h=L * \sin(\beta)$, donde $L=2.278\text{m}$ y $\beta_{opt}=13^\circ$:

$$d_{min} = \frac{L * \sin(\beta)}{\tan(67 - \varphi)} \rightarrow d_{min} = \frac{2.278 * \sin(13^\circ)}{\tan(67 - 13.8^\circ)} \rightarrow d_{min} = 0.38 \text{ m}$$

Ya que este valor es un tanto pequeño pensando en el espacio necesario para el movimiento de personal y equipo a la hora de darle mantenimiento a los módulos, se agregará 0.52 m al resultado obtenido. Por lo que se tomará una distancia mínima entre filas de 0.9 m.

Cálculo de protecciones

Fusible por cada String:

$$Fusible_{string} = \frac{I_{sc}}{0.8 * 0.8}$$

$$Fusible_{string} = \frac{14}{0.8 * 0.8} = 21.875 \rightarrow CB \ 30A$$

Se selecciona un fusible de 30A

Conductor AWG#12 Fotovoltaico 1000V XLPE+Tierra#10

A la salida del inversor:

$$Fusible_{out-inversor} = I_{max-inv.} * 1.25$$

$$Fusible_{out-inversor} = 24 * 1.25 = 30 \rightarrow CB \ 40A/2P$$

Se selecciona un fusible de 40A

Conductor AWG#8 Fotovoltaico 1000V XLPE+Tierra#10

Tiempo de recuperación de la inversión.

| DESCRIPCION | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO U. [\\$] | TOTAL [\\$] |
|--|----------|--------|-----------------|--------------------|
| Suministro e instalación de los MFV monocristalino de Canadian Solar CS6W-550MS. | 24 | U | \$360.00 | \$8,640.00 |
| Suministro e instalación de inversores KSTAR modelo BluE-G 5000D, montaje sobre pared. | 2 | U | \$1,250.00 | \$2,500.00 |
| Elaboración y montaje de estructuras metálicas tipo riel. | 3 | U | \$550.00 | \$1,650.00 |
| Suministro e instalación de conductores eléctricos. | 1 | M | \$322.00 | \$322.00 |
| Suministro e instalación de kit de conectores MC4. | 1 | U | \$76.00 | \$76.00 |
| Suministro e instalación de protecciones. | 1 | U | \$220.00 | \$220.00 |
| Imprevistos. | 1 | U | \$1,500.00 | \$1,500.00 |
| Sub total [\\$] | | | | \$14,908.00 |
| COSTOS DIRECTOS | | | | \$14,908.00 |
| COSTOS INDIRECTOS (15%) | | | | \$2,236.20 |
| TOTAL COSTOS: DIRECTOS+ INDIRECTOS | | | | \$17,144.20 |
| IVA (13%) | | | | \$2,228.75 |
| PRESUPUESTO TOTAL | | | | \$19,372.95 |

Tabla 4.21: Costo total de la implementación del sistema de generación fotovoltaica propuesto.

*Produccion anual = Potencia instalada * Indice de produccion*

$$Produccion_{anual} = 13.200 kW_p * 1600 \frac{kWh}{kW_p} / año \rightarrow Produccion_{anual} = 21,120 \frac{kWh}{año}$$

El ingreso anual lo calcularemos en horas de resto con un precio de \$0.132093 + IVA por kWh:

$$Ingreso_{anual} = 21,120 \frac{kWh}{año} * 0.149265 \frac{\$}{kWh} \rightarrow Ingreso_{anual} = \$3,152.48 \text{ por año}$$

Con esto, se calcula el tiempo de recuperación de la inversión:

$$Tiempo_{recup.} = \frac{Inversion}{Ingreso_{anual}} = \frac{\$19,372.95}{\$3,152.48} \rightarrow Tiempo_{recup.} = 6.14 \text{ años}$$

Implementación de sistema fotovoltaico para simulación del modelo de bajo consumo.

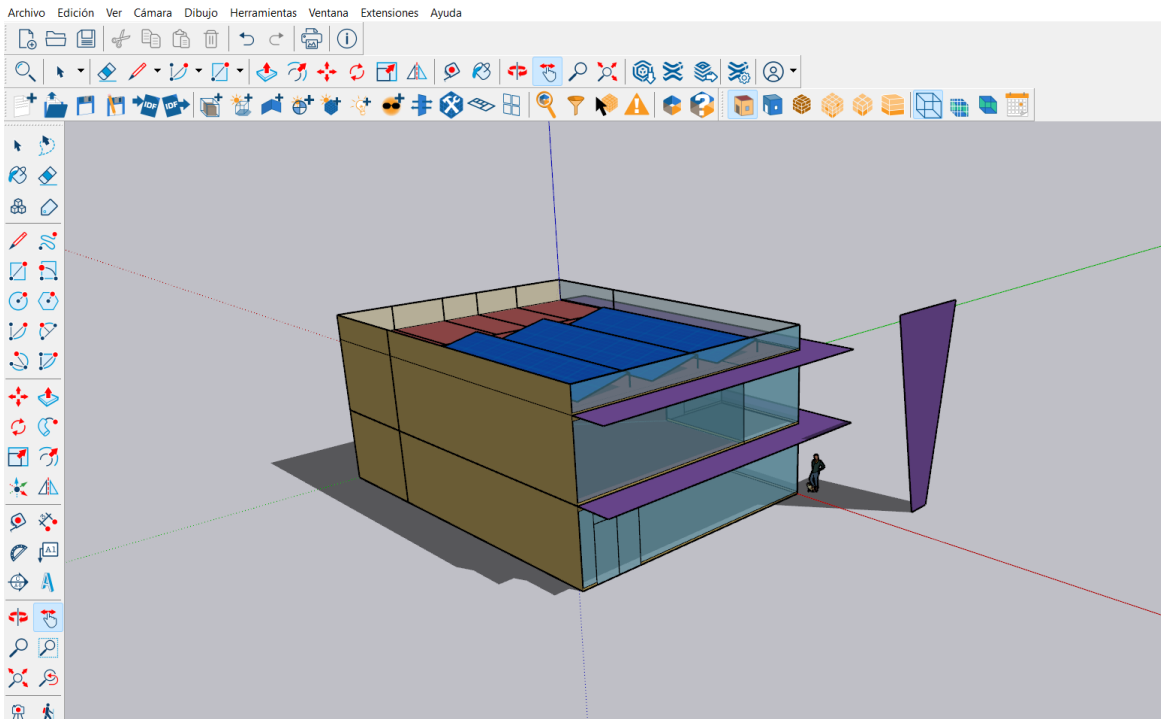


Figura 4.26: Vista sureste del CUBO Mejicanos con sistema fotovoltaico instalado.

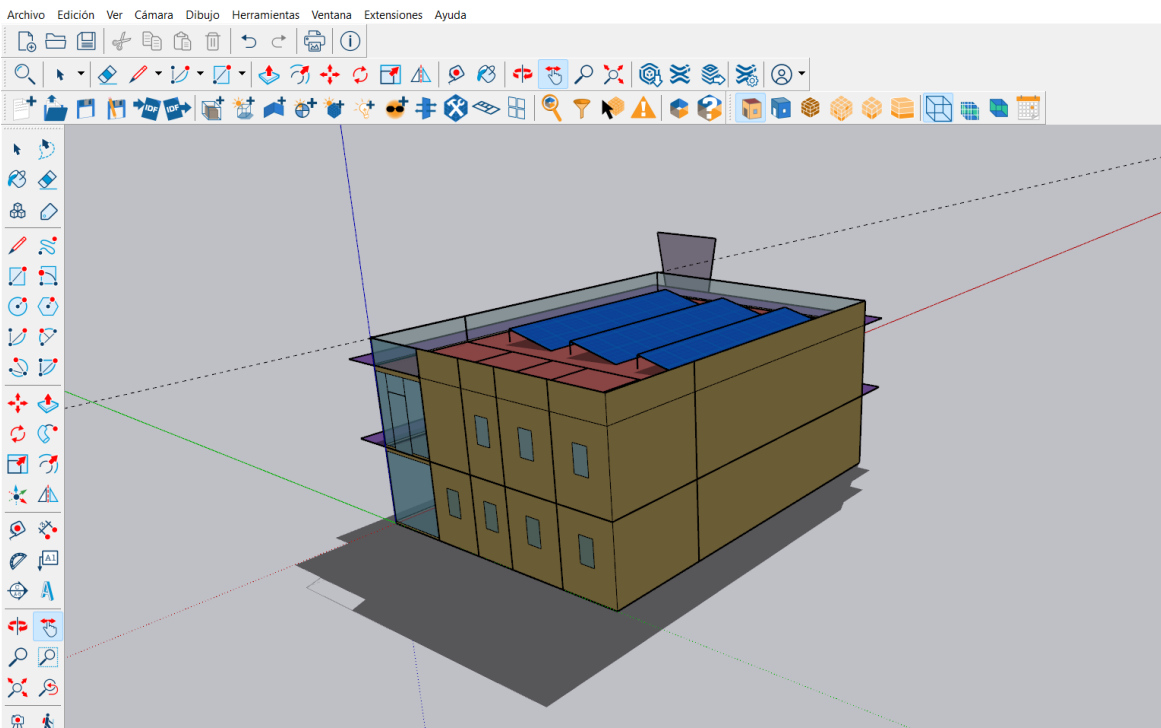


Figura 4.27: Vista noroeste del CUBO Mejicanos con sistema fotovoltaico instalado.

Por cuestiones de disponibilidad de espacio, los MFV fueron agrupados en estructuras de 8 cada una; sin embargo, la distribución de MFV por cada String sigue siendo la misma, teniendo un total de 4 Strings con 6 MFV cada uno.

Tras simular los resultados fueron los siguientes:

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Heating | | | | | | | | | | | | | |
| Cooling | 836.84 | 862.19 | 1118.83 | 833.73 | 1073.2 | 981.06 | 1109.1 | 892.91 | 932.67 | 1004.67 | 887.34 | 819.43 | 11351.97 |
| Interior Lighting | 297.1 | 268.35 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 287.52 | 297.1 | 3498.15 |
| Exterior Lighting | | | | | | | | | | | | | |
| Interior Equipment | 1378.15 | 1305.06 | 1442.5 | 1122.36 | 1377.97 | 1363.2 | 1450.86 | 1241.08 | 1371.57 | 1442.5 | 1363.03 | 1422.96 | 16281.23 |
| Exterior Equipment | | | | | | | | | | | | | |
| Fans | 401.98 | 388.28 | 430.83 | 308.12 | 403.6 | 402.77 | 430.68 | 348.6 | 401.89 | 429.52 | 437.93 | 415.04 | 4799.24 |
| Pumps | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Rejection | | | | | | | | | | | | | |
| Humidification | | | | | | | | | | | | | |
| Heat Recovery | | | | | | | | | | | | | |
| Water Systems | | | | | | | | | | | | | |
| Refrigeration | | | | | | | | | | | | | |
| Generators | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 2914.08 | 2823.88 | 3289.26 | 2551.72 | 3151.88 | 3034.55 | 3287.75 | 2779.69 | 2993.64 | 3173.79 | 2975.81 | 2954.53 | 35930.58 |

Tabla 4.22: Consumo eléctrico en kWh mensual del modelo de bajo consumo + sistema fotovoltaico para el año 2023.

Como se observa, los resultados en cuanto al consumo eléctrico no cambian respecto al modelo de bajo consumo, ya que este no es el objetivo de un sistema fotovoltaico. La diferencia radica en la cantidad de dicho consumo que es demandada directamente de la distribuidora. Con el sistema fotovoltaico instalado se busca reducir en un 60% los costos de facturación. Si el consumo promedio mensual es de 2924.215 kWh/mes, se espera tener gastos de facturación únicamente por 1169.686 kWh mensuales, mientras que los 1754,529 kWh/mes es lo que se espera recibir a partir del sistema de generación fotovoltaica.

La energía anual generada por el sistema se muestra a continuación:

Renewable Energy Source Summary

| | Rated Capacity (kW) | Annual Energy Generated (kWh) |
|--------------|---------------------|-------------------------------|
| Photovoltaic | 0.0 | 20427.78 |
| Wind | 0.0 | 0.0 |

Figura 4.28: Total de energía generada por el SFV del CUBO para el año 2023.

La capacidad generada anualmente tras la simulación es de 20427.78kWh/año, lo que equivale aproximadamente a 1702.315 kWh/mes. Dicho valor comparado con el valor esperado tras el dimensionamiento (1754,529 kWh/mes) es prácticamente igual, por lo que se da por satisfecha la implementación del sistema fotovoltaico.

A partir del primer año de su implementación, el CUBO de Mejicanos dejaría de tener los costos de facturación por kWh de la tabla 4.15 (\$5,027.57/año + IVA) y pasaría a tener los siguientes:

| COSTOS DE CONSUMO DE ENERGIA MODELO BAJO CONSUMO + SFV 2023 | | | | |
|---|-----------|----------|----------|-----------------------------|
| MES | PUNTA | VALLE | RESTO | TOTAL COSTO MENSUAL POR KWH |
| ENERO | \$ 119.10 | \$ 26.52 | \$ 37.27 | \$ 182.89 |
| FEBRERO | \$ 115.41 | \$ 25.70 | \$ 29.16 | \$ 170.27 |
| MARZO | \$ 134.43 | \$ 29.93 | \$ 71.02 | \$ 235.38 |
| ABRIL | \$ 104.29 | \$ 23.22 | \$ 4.68 | \$ 132.18 |
| MAYO | \$ 128.81 | \$ 28.68 | \$ 58.66 | \$ 216.16 |
| JUNIO | \$ 124.02 | \$ 27.62 | \$ 48.11 | \$ 199.74 |
| JULIO | \$ 134.37 | \$ 29.92 | \$ 70.89 | \$ 235.17 |
| AGOSTO | \$ 113.60 | \$ 25.30 | \$ 25.18 | \$ 164.08 |
| SEPTIEMBRE | \$ 122.35 | \$ 27.24 | \$ 44.43 | \$ 194.02 |
| OCTUBRE | \$ 129.71 | \$ 28.88 | \$ 60.64 | \$ 219.23 |
| NOVIEMBRE | \$ 121.62 | \$ 27.08 | \$ 42.83 | \$ 191.52 |
| DICIEMBRE | \$ 120.75 | \$ 26.89 | \$ 40.91 | \$ 188.55 |
| TOTAL ANUAL | | | | \$ 2,632.00 |

Tabla 4.23: Costos de consumo de energía modelo de bajo consumo + instalación de sistema fotovoltaico para el 2023 CUBO Mejicanos.

Es evidente que el ahorro se encuentra únicamente en la franja de facturación de resto, que es el periodo del día en el cual el sistema puede capitalizar la luz solar para suplir de energía al edificio.

CAPITULO V: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

Conclusiones

- Tras el levantamiento del CUBO de Mejicanos con el apoyo de herramientas informáticas como los son los softwares SketchUp, OpenStudio y EnergyPlus, se ha realizado un estudio de análisis de eficiencia energética, obteniendo resultados de consumo eléctrico anual de 55,662.78 kWh/año, del cual el mayor consumo de energía se encuentra en los equipos de climatización, representando alrededor del 58% de la facturación anual.
- El margen de error total entre el valor real de facturación y el valor simulado es de 13.99%, por lo tanto, el modelo del edificio construido y simulado será el modelo de línea base para el análisis de posteriores simulaciones con modificación de parámetros como cambios en el horario de uso de las luminarias y sistemas de A/C sin hacer una inversión y evaluar si estos cambios son viables.
- La calificación energética del CUBO de Mejicanos mostrada en la figura 4.6 es una calificación F, lo que significa que el edificio no es eficiente. Esto es debido a que el uso de los sistemas de iluminación y equipos de A/C actualmente no está regulado. Por lo tanto, se debe intervenir para concientizar el uso de estos, además de lograr una mejor administración de los equipos eléctricos como UPS y equipos de cómputo.
- La simulación del modelo de bajo consumo tras implementar las medidas propuestas presenta resultados de consumo eléctrico anual de 35,930.58 kWh/año. Dicho consumo lo aportan los diferentes rubros del edificio con los porcentajes siguientes: equipos de climatización 45%, equipo eléctrico 45% y el apartado de iluminación 10%.
- El mayor punto de mejora en cuanto a la eficiencia energética se encontró en los equipos de climatización instalados en el edificio, ya que no contaban con una planificación para su uso y simplemente suplían las necesidades en específico de quien los manipulaba, haciendo de lado el confort de todas las personas que hacen uso de las instalaciones del edificio. Tras aplicar y ejecutar las medidas propuestas, el consumo anual por equipos de climatización pasó de 32,242.51 kWh/año a ser 16,151.21 kWh/año, lo que representa una reducción de 16,091.3 kWh/año, es decir, se logró una reducción de aproximadamente el 50%.

- El modelo de línea base presenta unos costos de facturación anual de \$11,015.28, tras implementar las medidas propuestas para el modelo de bajo consumo y simularlo, los resultados obtenidos dan un total de costos de facturación anual de \$7,636.44, lo que representa una reducción de \$3,378.84 anualmente, todo esto sin realizar gastos económicos, simplemente con la regulación del uso de los equipos.
- El diseño del sistema de generación fotovoltaica está dimensionado para conseguir una reducción en los costos de facturación del 60%, con una capacidad a instalar sobre el edificio de 13.2 kWp, una inversión inicial de \$19,372.95 y un tiempo de recuperación de la inversión de 6.1 años. Tras la simulación con el SFV instalado, los resultados indican que, a partir del primer año de su implementación, el CUBO de Mejicanos dejaría de tener los costos de facturación por kWh de \$5,027.57/año y pasaría a \$2,169.22/año, lo que representa una reducción real del 57% de los costos.

Recomendaciones

- Para realizar un estudio de eficiencia energética que sea lo más acertado posible, es necesario obtener todos los datos que se describen en la metodología general para análisis de eficiencia energética propuesta en este documento.
- Instalar en el edificio un sistema de equipos de medición que permitan el monitoreo del uso energético por cada zona para poder implementar/actualizar las medidas correspondientes de ahorro energético.
- Promover la utilización de iluminación interior solo en áreas necesarias y usarlas adecuadamente.
- Desconectar el servicio de agua caliente del oasis debido a la poca utilización que el personal hace de este.
- Realizar campañas informativas a la comunidad que visita las instalaciones del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades de Mejicanos en donde expongan la importancia de hacer un uso eficiente de la energía.
- Apagar y desconectar los UPS presentes en el edificio al terminar la jornada laboral.
- Fijar los equipos de enfriamiento a una temperatura de confort de 24°C únicamente en las horas propuestas en este documento.
- Controlar el cierre de puertas y ventanas del edificio para evitar un mayor esfuerzo y consumo de los equipos de enfriamiento.
- Dar continuidad al uso de las herramientas informáticas de análisis térmico y energético como lo es EnergyPlus para el análisis y diseño de un futuro CUBO a ser construido en el país.

BIBLIOGRAFIA

- presidencia.gob.sv (s.f.). Recuperado el 10 de agosto de 2023 <https://www.presidencia.gob.sv/implementacion-de-los-cubo-en-el-pais-es-parte-de-la-estrategia-de-seguridad-del-presidente-navib-bukele/>
- CONSEJO NACIONAL DE ENERGÍA (Ed.). (2014). *SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIA Y LECCIONES APRENDIDAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL SECTOR GUBERNAMENTAL*. “EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS (EEPB)”. <https://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/sistematizacin-de-experiencia-y-lecciones-aprendidas-en-la-implementacin-de-medidas-de-ee-para-el-sector-gubernamental.pdf>
- Zelaya, M. R. (Ed.). (2015). *MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA* (Vol. 1). Electricidad.
- Consejo Nacional de Energía (2018), “Plan indicativo de la expansión de la generación eléctrica de El Salvador 2019-2028”, San Salvador, El Salvador: CNE
- Rodas, M. Á. C., Flores, R., Orellana, C., & Vaquero, N. (Eds.). (2018). *El reto de la Eficiencia Energética | Eficiencia energética en el sector CONSTRUCCIÓN* (Vol. 8). El Salvador AHORRA energía.
- Alvarado, C. E. C. (2016). *Elaboración de los manuales de Implementación de la Norma Técnica Salvadoreña – ISO50001 al Edificio Administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura*. Universidad de El Salvador.
- Ávila, J. R. A., Velásquez, E. R. M., & Ramírez, O. V. Y. (2019). *PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOSPITAL NACIONAL GENERAL DE CHALCHUAPA, SANTA ANA, EL SALVADOR, C.A.* Universidad de El Salvador.
- Consejo Nacional de Energía. *Metodología de Eficiencia Energética en el sector Servicios*. Gov.sv. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/metodologia-de-eficiencia-energetica-servicios.pdf>

- Hernández, A. O. A., & Hernández, J. A. C. (2014). *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.
- Consejo Nacional de Energía. - CNE Gobierno de El Salvador
<http://www.cne.gob.sv/>
- Muñoz, V. B. (2016). METODOLOGIA PARA LA SIMULACION ENERGETICA DE UN EDIFICIO TERCARIO EMPLEANDO LA HERRAMIENTA ENERGY PLUS. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ardón, I. M. (2014). *Introducción a la Eficiencia Energética*. San Salvador, El Salvador: Consejo Nacional de Energía.
- Rey, O. P. (2011). PARAMETRIZACION DEL SOFTWARE PARA LA SIMULACION DE LA RESPUESTA TERMICA EN UN EDIFICIO EN BOGOTA. Universidad de los Andes; Facultad de Ingeniería.
- Software and guides
<https://www.sketchup.com/es>
<https://openstudio.net/>
- Ramírez, J. J. A., Rivas, J. E. C., & Sarmiento, W. E. R. (2015). *Estudio para el Ahorro de energía eléctrica en el Campus Central de la Universidad de El Salvador, elaboración de proyectos de Eficiencia Energética*. Universidad de El Salvador.
- Introduction to Building Simulation and EnergyPlus.
Undergraduate Course Curriculum Information.
- Roberto Balmore Galán Parras (2014), “Estudio de demanda energética utilizando software y hardware libre en el Edificio de Ingeniería Industrial, UES”, San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Bofill, N. C. (2017). MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS CON HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DINÁMICA. Universidad Politécnica de Cataluña.
- SIGET tarifa eléctrica Los pliegos tarifarios del suministro de energía eléctrica al consumidor final, vigentes del 15 de enero al 14 de abril de 2023.
<https://www.siget.gob.sv/download/pliegos-tarifarios/>

- Normalización), O. (. (s.f.). Eficiencia Energética. Especialista en Eficiencia Energética. Norma Técnica Salvadoreña NTS 27.47.01:23.
- ASHRAE. (2001). ASHRAE Standard 62.1-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. 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.
- Boletín de Estadísticas Eléctricas Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET)
<http://www.siget.gob.sv/>
- IEEE Std 739-1995, IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities (IEEE Bronze Book), American National Standard (ANSI).
- Presidencia de la Republica de El Salvador, Decreto Ejecutivo No 78, Política de ahorro y austeridad del sector público, San Salvador, 2012.
- Indicadores de eficiencia energética
<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00332.pdf>
- ANDA. (s. f.). Boletín No.16 sobre Eficiencia Energética: Uso eficiente del Oasis.
- 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.
- de Electricidad, G. (2017). NORMA PARA USUARIOS FINALES PRODUCTORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES ACUERDO 367-E-2017.
- BATRES, D. E., JOYA, W. E. (2024). INDICADORES ENERGÉTICOS PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN EL EDIFICIO DE UNIDAD DE BIBLIOTECA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Aguirre, C. M., Sánchez, C. R. (2023). ESTUDIO, DISEÑO DE PROTOTIPO GENERAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROYECTO “CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES (CUBO). UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

ANEXOS

Anexo A: Visita al CUBO Mejicanos.



Figura A.1: Vista frontal CUBO Mejicanos.



Figura A.2: Vista trasera CUBO Mejicanos.



Figura A.3: Árbol proyector de sombra frente esquina opuesta entrada principal.



Figura A.4: Distribución de espacios: Nivel 1 a la izquierda y nivel 2 a la derecha.



Figura A.5: Luminarias y equipos A/C de la Oficina.

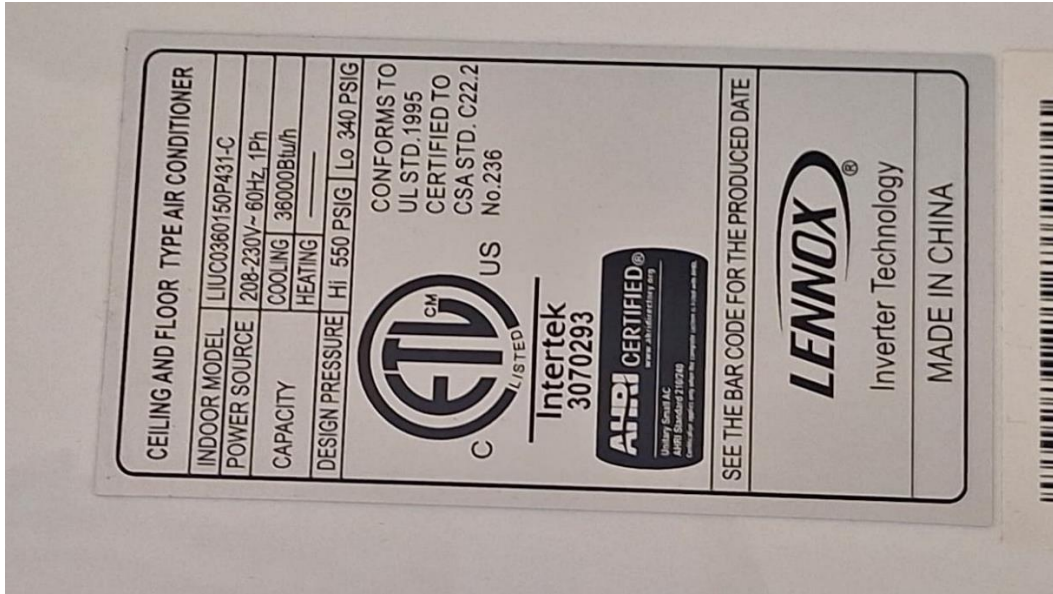


Figura A.6: Especificaciones técnicas de equipos A/C de tipo piso techo instalados en el edificio.



Figura A.7: Oasis de tres temperaturas del edificio.



Figura A.8: Centro de cómputo.



Figura A.9: Luminarias y equipos A/C del Centro de cómputo.



Figura A.10: Área anexa al Centro de cómputo.

Anexo B: Visita al CUBO IVU.



Figura B.1: Vista frontal CUBO IVU.



Figura B.2: Vista entrada principal CUBO IVU.



Figura B.3: Tipos de luminarias actualmente.

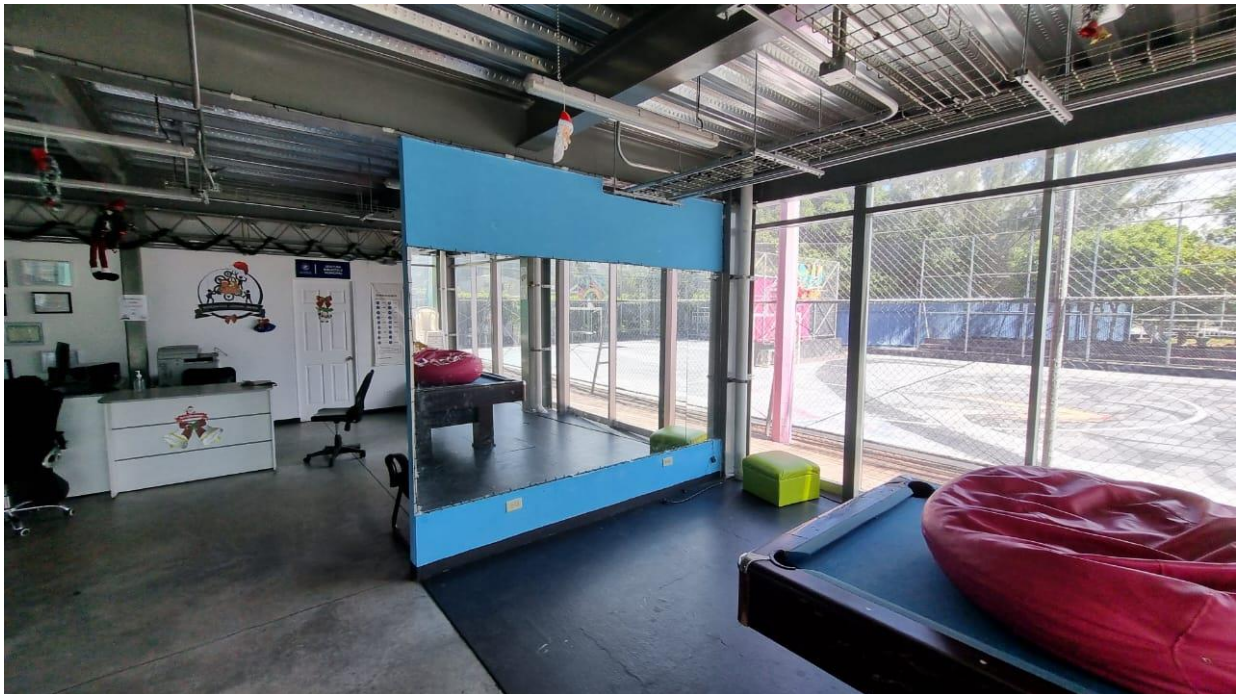


Figura B.4: Sala de espera y espacio para clases de baile.



Figura B.5: Acceso a segundo nivel, misma distribución que en CUBO Mejicanos.

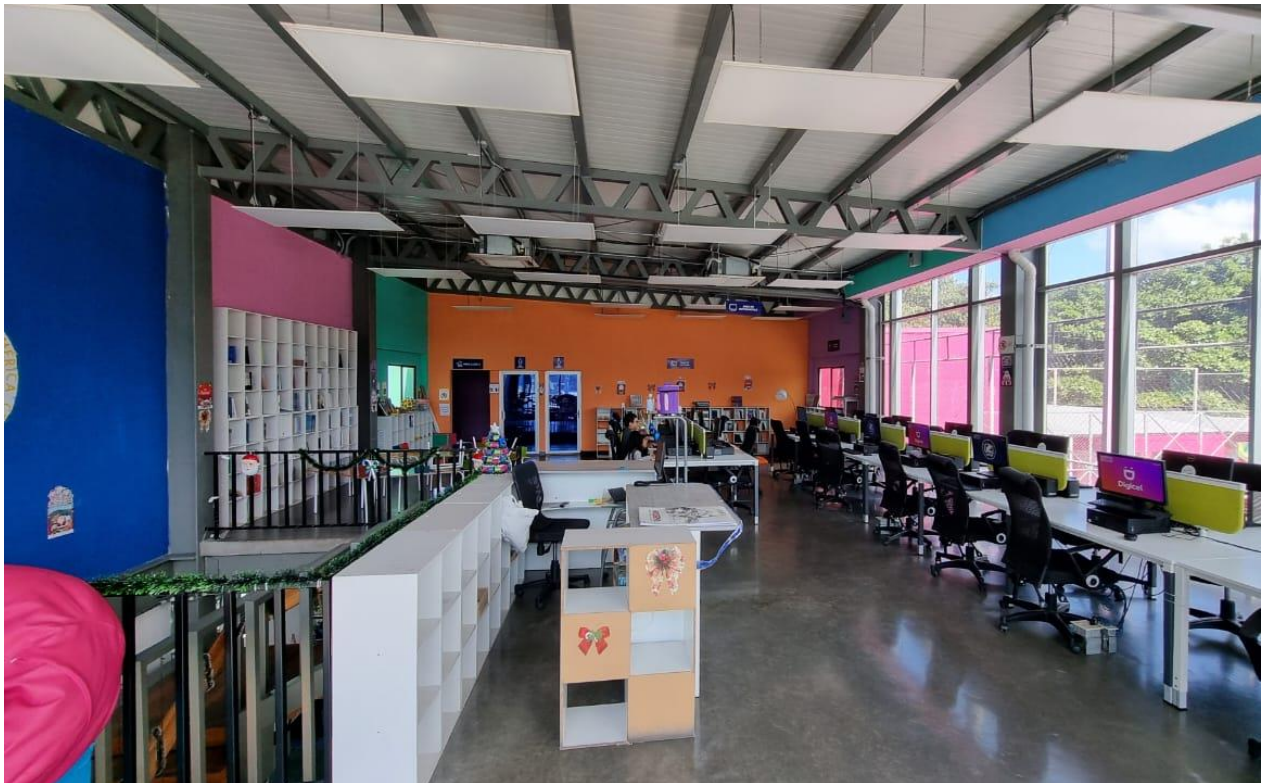


Figura B.6: Computadoras ubicadas en el segundo nivel, total 16.



Figura B.7: Televisores de 55" disponibles en segundo nivel, total 2.

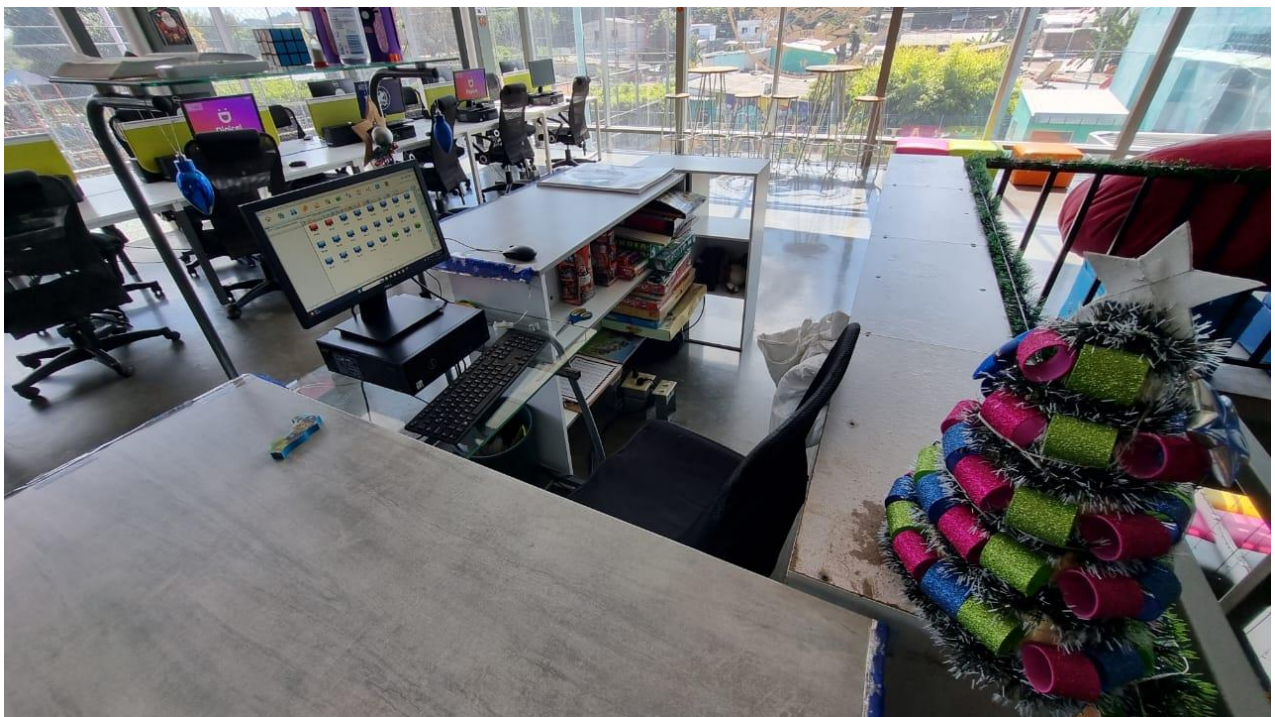


Figura B.8: Computadora recepción segundo nivel.

APAGAR LAS LUCES AL CIERRE DE ACTIVIDADES EN EL EDIFICIO



Ahorrar energía es trabajo de todos



Figura C.1: Cartel de concientización para el uso de luminarias.

PARA GARANTIZAR EL CONFORT DE TODAS LAS PERSONAS, PROCURA MANTENER LA TEMPERATURA DEL AIRE ACONDICIONADO SEGÚN LO RECOMENDADO POR LA ASHRAE STD. 55:

- **24 °C CON ROPA DE INVIERNO**
- **27 °C CON ROPA DE VERANO**



Ahorrar energía es trabajo de todos



Figura C.2: Cartel de concientización para el uso adecuado de los equipos de A/C.

**PROCURA MANTENER EN REPOSO TU
COMPUTADORA MIENTRAS NO LA UTILIZAS Y
APAGARLA AL MOMENTO DE DEJAR LAS
INSTALACIONES**



Ahorrar energía es trabajo de todos



Figura C.3: Cartel de concientización para el uso adecuado las computadoras.

EDIFICIO COMPROMETIDO CON EL AHORRO ENERGÉTICO



Temperaturas de trabajo de los A/C
máxima: 27°c
mínima : 24 °c



Apagar las luces al cierre de actividades en el edificio



Apagar la computadora al momento de dejar las instalaciones



Control de cierre de puertas



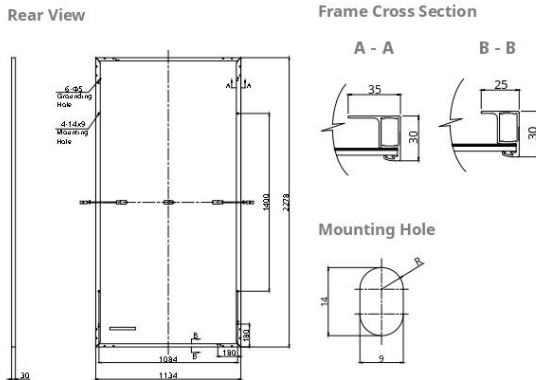
Ahorrar energía es trabajo de todos



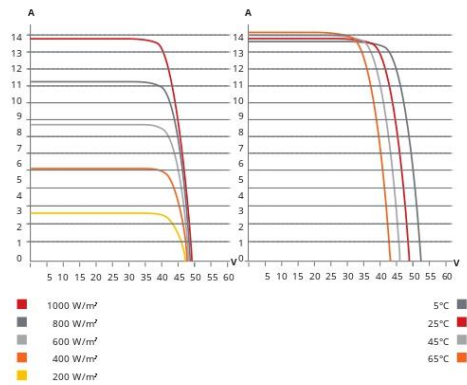
Figura C.4: Cartel de concientización general respecto al uso adecuado de los equipos.

Anexo D: Fichas técnicas de los equipos.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6W-535MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

| CS6W | 535MS | 540MS | 545MS | 550MS | 555MS | 560MS |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 535 W | 540 W | 545 W | 550 W | 555 W | 560 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 41.1 V | 41.3 V | 41.5 V | 41.7 V | 41.9 V | 42.1 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 13.02 A | 13.08 A | 13.14 A | 13.20 A | 13.25 A | 13.31 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 49.0 V | 49.2 V | 49.4 V | 49.6 V | 49.8 V | 50.0 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 13.85 A | 13.90 A | 13.95 A | 14.00 A | 14.05 A | 14.10 A |
| Module Efficiency | 20.7% | 20.9% | 21.1% | 21.3% | 21.5% | 21.7% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL) | | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730) | | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 25 A | | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ +10 W | | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

| CS6W | 535MS | 540MS | 545MS | 550MS | 555MS | 560MS |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 401 W | 405 W | 409 W | 412 W | 416 W | 420 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 38.5 V | 38.7 V | 38.9 V | 39.1 V | 39.3 V | 39.5 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 10.42 A | 10.47 A | 10.52 A | 10.55 A | 10.59 A | 10.64 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 46.3 V | 46.5 V | 46.7 V | 46.9 V | 47.1 V | 47.3 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 11.17 A | 11.21 A | 11.25 A | 11.29 A | 11.33 A | 11.37 A |

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

| Specification | Data |
|------------------------------------|--|
| Cell Type | Mono-crystalline |
| Cell Arrangement | 144 [2 x (12 x 6)] |
| Dimensions | 2278 x 1134 x 30 mm (89.7 x 44.6 x 1.18 in) |
| Weight | 27.6 kg (60.8 lbs) |
| Front Cover | 3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating |
| Frame | Anodized aluminium alloy |
| J-Box | IP68, 3 bypass diodes |
| Cable | 4 mm² (IEC), 12 AWG (UL) |
| Cable Length (Including Connector) | 350 mm (13.8 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length* |
| Connector | T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A |
| Per Pallet | 35 pieces |
| Per Container (40' HQ) | 700 pieces or 630 pieces (only for US & Canada) |

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.34 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.26 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 41 ± 3°C |

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

Sept. 2023. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V2.8_EN

Figura D.1: Datos técnicos de MFV CS6W-550MS.

| MODELO | BluE-G 3000D | BluE-G 4000D | BluE-G 5000D | BluE-G 5000D-AU | BluE-G 6000D |
|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Input (DC) | | | | | |
| Max. potencia FV recomendada | 4050W | 5400W | 6750W | 6750W | 8100W |
| Voltaje DC máx. | 600V | 600V | 600V | 600V | 600V |
| Voltaje nominal | 380V | 380V | 380V | 380V | 380V |
| Voltaje de partida | 100V | 100V | 100V | 90V / 100V | 100V |
| Rango de voltaje de MPPT | 80V-560V | 80V-560V | 80V-560V | 80V-560V | 80V-560V |
| Número de MPP trackers | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Strings por MPP tracker | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Max. corriente por MPPT | 15A | 15A | 15A | 15A | 15A |
| Max. corriente de CC por MPPT | 18A | 18A | 18A | 18A | 18A |
| Output (AC) | | | | | |
| Potencia nominal salida AC | 3000W | 4000W | 5000W | 4999W | 6000W |
| Máxima potencia aparente | 3300VA | 4400VA | 5500VA | 4999VA | 6000VA |
| Voltaje AC nominal | 230V L-N | 230V L-N | 230V L-N | 230V L-N | 230V L-N |
| Rango de frecuencia de red | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz | 50Hz / 60Hz±5Hz |
| Máx. corriente de salida | 14.5A | 19A | 24A | 21.7A | 26A |
| Factor de potencia (cos φ) | 0.8 leading – 0.8 lagging | | | | |
| THDI | <3% | | | | |
| Eficiencia | | | | | |
| Máx. eficiencia | 98.1% | 98.3% | 98.3% | 98.3% | 98.3% |
| Euro eficiencia | 97.7% | 97.9% | 97.9% | 97.9% | 97.9% |
| Elementos de Protección | | | | | |
| Interrupción DC | Sí | Sí | Sí | No | Sí |
| Protección anti isla | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Sobrecorriente de salida | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Polaridad inversa DC | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Detección de falla en string | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Protección de sobretensiones | DC Tipo II; AC Tipo III | | | | |
| Detector de aislamiento | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Cortocircuito en AC | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí |
| Características Generales | | | | | |
| Dimensiones W x H x D (mm) | 380x380x150 | | | | |
| Peso (kg) | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Rango temperatura de operación | -25°C – +60°C | | | | |
| Tipo de enfriamiento | Natural | | | | |
| Máx. altitud de operación | 4000m | | | | |
| Máx. humedad de operación | 0-100% | | | | |
| Tipo de terminal de salida AC | Conector rápido | | | | |
| Clase de protección IP | IP65 | | | | |
| Topología | Transformer less | | | | |
| Comunicación | RS485/WIFI/4G | | | | |
| Pantalla | LCD | | | | |
| Certificaciones & estándares | EN/IEC62109-1/2 IEC/EN61000-6-2; IEC/EN61000-6-4; IEC61683; IEC60068; IEC60529; IEC62116; IEC61727; EN50549-1; AS 4777.2; NRS 097; VDE-AR-N-4105; VDE 0126-1-1; CEIO-21; G98; G99; C10/C11; TED749; UNE217001; UNE217002; NB/T32004-2018; GB/T19964-2012; INMETRO | | | | |

*Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.

KSTAR

Stock code: 002518

Add: 4/F, No. 1 Bldg. Software Park, Keji C. Rd. 2nd, Hi-Tech Industrial Zone, Shenzhen

518057, P. R. China Website: www.kstar.com E-mail: sales@kstar.com

Figura D.2: Datos técnicos del inversor KSTAR BluE-G 5000D.