

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



ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CENTRO URBANO
DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES CUBO;
LOCALIZADO EN EL TAMARINDO, LA UNIÓN

PRESENTADO POR
RONALD ISAAC CABRERA VIERA
JOSÉ RENÉ URQUILLA MOJICA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2026

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

MSC. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

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 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CENTRO URBANO
DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES CUBO;
LOCALIZADO EN EL TAMARINDO, LA UNIÓN

PRESENTADO POR:
RONALD ISAAC CABRERA VIERA
JOSÉ RENÉ URQUILLA MOJICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:
DOCENTE ASESOR:
DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

SAN SALVADOR, MARZO 2026

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

DR. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 21 de noviembre de 2025, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 3:00 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


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 JIMÉNEZ
(Docente Asesor)

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ


Firma


Firma


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CENTRO URBANO DE BIENESTAR Y OPORTUNIDADES CUBO; LOCALIZADO EN EL TAMARINDO, LA UNIÓN

A cargo de los Bachilleres:

- CABRERA VIERA RONALD ISAAC
- URQUILLA MOJICA JOSÉ RENÉ

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

(Nueve punto Cero)

AGRADECIMIENTOS

Estaré eternamente agradecido con Dios por darme la capacidad, la fortaleza y por protegerme durante mis estudios. Si existe algún mérito en esto, es de Dios. Desde el fondo de mi corazón puedo parafrasear al Rey David, diciendo: «Dios es mi amparo y fortaleza, mi pronto auxilio en las tribulaciones».

Agradezco de todo corazón a mis padres: Julio Cabrera y Gricelda Viera. Quienes jamás creyeron que sus nombres estarían escritos en un documento académico como este. Este mérito es de ustedes. Agradezco sus palabras de ánimo, sus oraciones y ser de apoyo en este proyecto. Gracias por estar cuando los necesitaba. Una página no sería suficiente para expresar mi agradecimiento. Agradezco a mi hermano Nathanael Cabrera por su apoyo y dirección. Y Agradezco de manera muy especial a Astrid, mi prometida; este triunfo te lo dedico a ti, mi vida.

Agradezco a la familia Cabrera-Viera por su apoyo, principalmente a los tíos. Agradezco a Samuel y Yanci por su apoyo y compañerismo. Agradezco a Kayla Fiorella por ser la «energía eléctrica» que me ha impulsado muchas veces y por los grandes momentos y risas que me has causado. Disculpa por los 101 apodos.

Agradezco a la Iglesia Eben-Ezer, El Piche por sus oraciones y palabras de ánimo. Agradezco al Ing. Everth Lazo por orientarme y hacerme entender que a qué me estaba enfrentando y cómo podía conquistarlo. Agradezco a Asael y Arely Pacheco por estar pendientes en mis estudios y por ser un apoyo especial en todas las áreas de mi vida. Agradezco al Ing. Darío Alvarenga y a Rosa Lina Mercado por su apoyo invaluable, sin ustedes, la dificultad para mis estudios se hubiera incrementado.

Agradezco al Centro Escolar Cantón Salalagua por fomentar en mí el interés por la educación. Ustedes fueron la base para estar acá.

Agradezco a René Urquilla por su amistad y compañerismo durante la carrera y la tesis. Agradezco al Dr. Pocasangre por las horas invertidas en asesorarnos en este proyecto, orientarnos y tener la paciencia con nosotros. Agradezco a niña Reinita por el apoyo y el cariño. Agradezco al Ing. Calderón por ayudarme a entender que la disciplina gana al talento.

Agradezco al personal de El CUBO El Tamarindo por la solidaridad y el apoyo mostrado para realizar esta investigación.

Atte.

Ronald Isaac Cabrera Viera

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por sostenerme cuando el camino se volvió empinado, por abrirme paso entre cada adversidad y recordarme, incluso en los días más oscuros, que rendirse no era una opción. Si hoy llego a esta meta, es porque Él nunca me dejó solo y siempre me dio fuerzas para seguir.

A mi papá, Carlos Urquilla, a quien le debo gran parte de este logro. Gracias por ser mi guía, mi ejemplo y mi motor. Desde niño me enseñaste a no rendirme, a trabajar con disciplina y a mantener la cabeza en alto incluso cuando la vida se vuelve cuesta arriba. Tu sacrificio, tu esfuerzo y tu amor han sido el cimiento sobre el cual construí este camino. Le doy gracias a Dios por tu vida y por tener el privilegio de compartir contigo uno de mis sueños más grandes. Este triunfo también es tuyo, porque sin tu apoyo constante y tu fe en mí, llegar hasta aquí habría sido mucho más difícil.

A mis abuelos, José de Carmen Urquilla y Erma Gloria López de Urquilla, quienes siguen siendo una fuente inmensa de cariño, valores y fortaleza. Gracias por su apoyo, por sus consejos y por estar presentes en cada etapa importante.

A mi madre Jacqueline Mojica y a mi hermana Graciela Urquilla, por sus palabras de ánimo, su cariño incondicional y por recordarme siempre quién soy y hacia dónde debo caminar.

A mi familia en general, por su presencia, su respaldo y por sostenerme cuando las fuerzas disminuían.

Y finalmente, a mí mismo. Porque hubo días en los que pensé en abandonar, en los que el cansancio pesaba más que los sueños... pero seguí. Reconozco mi perseverancia, mi esfuerzo y mi capacidad de mantenerme firme. Este logro demuestra que los sueños grandes cuestan, pero también se alcanzan.

Me siento profundamente orgulloso de ser un profesional graduado de la Universidad de El Salvador, una institución que forma carácter, fortalece la perseverancia y deja huella en quienes pasan por sus aulas. Este trabajo es el resultado de fe, constancia y esperanza. Y cada paso, aun los más difíciles, valió la pena.

Atte.

José René Urquilla Mojica

ÍNDICE

Índice.....	VI
Índice de Figuras	VIII
Índice de gráficas	XIII
Índice de tablas.....	XIV
Glosario	XVI
Acrónimos.	XVII
Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Antecedentes	4
Alcances	6
Marco teórico	7
Conceptos generales	7
Contexto de eficiencia energética.....	8
Diseño, construcción y ambientación eficiente de edificaciones	16
Integración de energías renovables y sistemas HVAC en edificios eficientes ..	26
Auditoría energética y análisis de consumo	29
Normativas y estándares internacionales	34
Capítulo 2. Fundamentos de simulaciones energéticas.....	44
¿Qué es la simulación energética de edificaciones?.....	44
Entorno de trabajo y configuración técnica.....	48
Analizador de potencia PCE-PC 8000	53
Capítulo III. Evaluación técnica del edificio	56
Descripción de la Organización.....	56
Levantamiento arquitectónico	58
Características del sistema eléctrico	62
Capítulo IV. Diagnóstico del sistema energético	68
Sistemas de aire acondicionado	68
Área de electricidad.....	69
Oasis como cargas	70
Equipos eléctricos.....	70
El AA de la oficina	70
Vidrio con lamina oscurecedora	70
Estado del sistema fotovoltaico	71
Capítulo V. Modelado geométrico	78

Modelado 3D del edificio	78
Asignación de parámetros en OpenStudio	84
Capítulo VI. Simulación y análisis de la demanda energética	93
Limitaciones y consideraciones de la simulación	93
Configuración del modelo energético	93
Escenario 0. Ajuste del modelo para alineación con modelo de línea base	95
Escenario 1. Cambio horario y programación de temperatura de los AA.....	101
Escenario 2. Reubicación de cargas y gestión eficiente de equipos eléctricos	104
Escenario 3. Desactivar AA MiniSplit de la oficina.....	106
Escenario 4. Instalación de película polarizada.....	108
Escenario 5. Reactivación del sistema fotovoltaico	111
Escenario 6. Combinación de todos los escenarios anteriores	113
Comparativa de la demanda energética.....	115
Comparativa de los indicadores de desempeño energéticos	116
Periodo de recuperación	117
Plan de acción para la gestión energética	118
Capítulo VII. Discusión de resultados	120
Capítulo VIII. Conclusiones.....	122
Capítulo IX. Recomendaciones.....	124
Sobre el CUBO El Tamarindo	124
Sobre futuras edificaciones.....	124
Sobre el mantenimiento	124
Bibliografía	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manuales de uso eficiente de la energía (Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas) (DGEHM, 2025)	9
Figura 2 Impactos de las edificaciones sostenibles en la ciudad según OPAMSS. Obtenido de (Guia HAUS, 2025)	14
Figura 3 Flujo de aire en edificio con ventilación cruzada. Obtenido de (Baransu, 2025).....	17
Figura 4 Ventanas del triforio. Obtenido de (Hihausbm.com, 2025).....	18
Figura 5 Estantes de luz. Obtenido de (DIALux Community, 2025)	19
Figura 6 Tubo solar o tragaluces con tecnología de refracción y reflexión. Obtenido de (reevEnergy, 2026).....	20
Figura 7 Techos diente de cierra. Obtenido de (Clod Ensemble, 2025)	20
Figura 8 Techo verde de un edificio de varios niveles. Obtenido de (Greenroofs.com, 2026).....	23
Figura 9 Capas la cubierta convencional y el techo verde. Obtenido de (PRASPAN., 2026).....	24
Figura 10 Pirámide de la eficiencia energética. Obtenido de (Flensburg, 2020)..	27
Figura 11 Proceso de análisis y evaluación de Eficiencia Energética en diseño de edificaciones. Obtenido de (Cueva Villafranco, 2024)	31
Figura 12 Diagrama de bloque. Obtenido de ISO 500015.....	35
Figura 13 Diagrama de bloques. Obtenido de ISO 50006	36
Figura 14 Diagrama de bloques. Obtenido ISO 50002	37
Figura 15 Ciclo PDCA. Obtenido de ISO 50001	38
Figura 16 Diagrama estructural. Obtenido de la Norma ISO 50001	39
Figura 17 Diagrama de bloques. Obtenido de la Norma ISO 9001	40
Figura 18 Flujograma de la aplicación. Obtenido de Norma ASHRAE 55	42
Figura 19 Entorno de bienvenido. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	48
Figura 20 Página de OpenStudio para descargar plugins de SketchUp 2023. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor, 2025	49
Figura 21 Administrador de extensiones de SketchUp con la extensión de OpenStudio activada. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	49
Figura 22 Barra de herramientas de SketchUp con las herramientas de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023	49

Figura 23 Entorno principal de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023	50
Figura 24 Entorno principal. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software EnergyPlus.	52
Figura 25 Descargar los archivos climáticos «Weather». Nota: Captura de pantalla realizada por el autor	52
Figura 26 Ventana de error mostrado en OpenStudio al ingresar los archivos climáticos de Acajutla. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor	53
Figura 27 Archivos climáticos de diferentes zonas en El Salvador. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor.....	53
Figura 28 Diagrama eléctrico para la conexión de medición 1Φ3A. Fuente PCE-PC8000	54
Figura 29 Analizador de potencia PCE-PA 8000 conectado al tablero principal. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).....	55
Figura 30 CUBO El Tamarindo dibujado en SketchUp. «Fuente: elaboración del autor»	57
Figura 31 Orientación del edificio CUBO El Tamarindo. Fuente: Google Earth. Coordenadas: (13.186012876689835, -87.9177344748232).....	58
Figura 32 Plano arquitectónico del edificio CUBO El Tamarindo. Nota: Elaboración del autor en AutoCAD.....	59
Figura 33 Salón principal. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).....	60
Figura 34 Cocineta. . Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).....	60
Figura 35 Estudio de grabación. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	61
Figura 36 Área de computadoras y videojuegos. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	61
Figura 37 Biblioteca infantil. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).....	62
Figura 38 Área lúdica. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	62
Figura 39 Medidor Elster A1800. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	63
Figura 40 Registro de las mediciones del PCE-PA 8000. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	65
Figura 41 Consumo de energía eléctrica durante 16 días. Nota: Grafica elaborada por el autor (2025).	66
Figura 42 Potencia eléctrica durante una semana	67
Figura 43 Unidad Condensadora de Equipos de AA. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	68

Figura 44 Fotografía de la unidad evaporadora. Se programó el AA a temperatura de 20 °C. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	69
Figura 45 Paneles en mal estado. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	72
Figura 46 Inversores BlueSun. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025). .	73
Figura 47 Banco de baterías. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).	74
Figura 48 Ilustración del recorrido del sol y la ubicación del módulo fotovoltaico. Nota: Imagen elaborada por el autor (2025).	77
Figura 49 Selección de Primary School. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	78
Figura 50 Se delinear las dimensiones del edificio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	79
Figura 51 Delineamiento de las paredes del edificio. a) Herramienta de rectángulo utilizado. b) Suelo dibujado. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	79
Figura 52 Herramienta para indicar los niveles y altura del edificio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	80
Figura 53 Edificio resultante. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	80
Figura 54 Cuadro de diálogo de Surface Matching. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	81
Figura 55 Modificación de primer nivel. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	81
Figura 56 Ventanas y puertas del nivel 1. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	82
Figura 57 Puertas y ventanas del nivel 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	82
Figura 58 Cuadro de diálogo de OpenStudio Inspector. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	83
Figura 59 Se muestran los tipos de espacios. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	84
Figura 60 Muestra de los espacios. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	84
Figura 61 Pestaña Site en OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	85
Figura 62 Pestaña Schedules de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	86

Figura 63 Pestaña Construction en OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	86
Figura 64 Pestaña Loads de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	87
Figura 65 Pestaña Spaces Type de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	87
Figura 66 Pestaña Geometry de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	88
Figura 67 Pestaña Facility de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	88
Figura 68 Pestaña Spaces de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	89
Figura 69 Pestaña Thermal Zones de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	89
Figura 70 Pestaña HVAC System de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	90
Figura 71 Pestaña Simulation Setting de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	90
Figura 72 Pestaña Measure de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	91
Figura 73 Pestaña Run Simulation de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	91
Figura 74 Advertencia 1. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	92
Figura 75 Advertencia 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	92
Figura 76 Pestaña Results Summary de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.....	92
Figura 77 Reparación de la geometría del techo. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	94
Figura 78 Herramienta de Solid inspector 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	94
Figura 79 Las PC se encienden a las 10 y se apagan a las 12 el martes. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	95
Figura 80 Horarios para cada día de la semana. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.	96

Figura 81 Pliego tarifario Ago-01 hasta Oct-31. Nota: Tabla obtenida de (SIGET_pliego_tarifario, 2025)	99
Figura 82 Estrategia con la vestimenta. Obtenida de (Lallana, 2022)	101
Figura 83 Temperaturas de confort para El Salvador según la ASHRAE Std. 55, Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software Climate Consultant.	102
Figura 84 Ventana tipo persiana	106
Figura 85 Recorrido del sol a lo largo del año	108
Figura 86 Configuración de parámetros en OpenStudio para lograr propiedades de vidrio polarizado.....	109

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Distribución del consumo de energía eléctrica. Obtenido de (DGEHM sobre sostenibilidad, 2025).....	13
Gráfico 2 Comparación de curva de demanda eléctrica medida contra registrada. Nota: Tabla obtenida de OpenStudio.....	96
Gráfico 3 Consumo eléctrico mensual [kWh]. Nota: Grafica obtenida de OpenStudio.....	97
Gráfico 4 Distribución de consumo eléctrico anual. Nota: Grafica obtenida de OpenStudio.....	97
Gráfico 5 Consumo eléctrico mensual del escenario 1.....	103
Gráfico 6 Consumo eléctrico mensual del escenario 2.....	105
Gráfico 7 Consumo eléctrico mensual del escenario 3.....	107
Gráfico 8 Consumo eléctrico mensual del escenario 4.....	110
Gráfico 9 Consumo eléctrico mensual del escenario 5.....	112
Gráfico 10 Consumo eléctrico mensual del escenario 6.....	114
Gráfico 11 Consumo eléctrico mensual de cada escenario.....	115
Gráfico 12 Consumo eléctrico anual de los escenario.....	116
Gráfico 13 Comparación de Indicadores de Desempeño Energéticos.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de medidas de eficiencia energética. Obtenida de (CEPAL, 2017), pp. 96.....	11
Tabla 2 Medidas y metas de eficiencia energética particulares de países. Obtenido de (CEPAL, 2017), pp. 99	11
Tabla 3 Tipos de aislamiento térmico. Imágenes obtenidas de (Eco Home Essentials, 2026).....	22
Tabla 4 Indicadores energéticos. Obtenido de ISO 50006	45
Tabla 5 Tabla comparativa de características de los softwares de EE. Fuente: Elaboración propia a partir de información generada por Copilot, 2025.....	47
Tabla 6 Software que se utilizarán en la simulación. Fuente: Elaboración propia a partir de información generada por Copilot, 2025.	47
Tabla 7 Especificaciones eléctricas del edificio. . Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025).	63
Tabla 8 Tabulación de línea base. . Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025). 64	
Tabla 9 Lista de equipos y accesorios para la medición de potencia eléctrica. Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025).	65
Tabla 10 Descripción eléctrica y física de los equipos del sistema fotovoltaico. Nota: Tabla elaborada por el autor (2025).....	71
Tabla 11 Análisis de la producción de kW. Nota: Tabla elaborada por el autor (2025).....	76
Tabla 12 Consumo eléctrico mensual de línea base [kWh] . Nota: Tabla obtenida de OpenStudio	97
Tabla 13 Valores indicativos según la normativa vigente en la UE	98
Tabla 14 Costos de consumo de energía modelo base. Nota: Tabla elaborada por el autor	99
Tabla 15 Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo base. Nota: Tabla elaborada por el autor	100
Tabla 16 Consumo eléctrico mensual para escenario 1 [kWh].....	103
Tabla 17 Consumo eléctrico mensual para escenario 2 [kWh].....	105
Tabla 18 Consumo eléctrico mensual para escenario 3	107
Tabla 19 Consumo eléctrico mensual para escenario 4	110
Tabla 20 Parámetros estimados del sistema fotovoltaicos	111
Tabla 21 Consumo eléctrico mensual para escenario 5	112
Tabla 22 Consumo eléctrico mensual escenario 6	113
Tabla 23 Consumo anual de los escenarios energéticos.....	115
Tabla 24 Tabla de Indicadores de Desempeño Energético.....	116

Tabla 25 Valores indicativos para clasificación energética.....	117
Tabla 26 Periodo de recuperación.....	118

GLOSARIO

- **AMSS:** Área Metropolitana de San Salvador
- **Auditoría energética:** Es el diagnóstico inicial de evaluación sistemática del consumo energético en un edificio o instalación, identificando oportunidades de mejora y ahorro.
- **COAMSS-OPAMSS:** Consejo de alcaldes y Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador.
- **Confort térmico:** Es la sensación que expresa la satisfacción de los usuarios de una edificación con el ambiente térmico, donde las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire sean favorables a la actividad que se desarrolla.
- **Construcción sostenible:** Es un enfoque de edificación que busca minimizar el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de una construcción, desde el diseño hasta la demolición.
- **Consumo energético:** Cantidad de energía utilizada en un período determinado. Analizarlo es clave para la gestión eficiente en edificaciones y procesos industriales.
- **Cultura energética:** Conjunto de hábitos, conocimientos y actitudes que fomentan el uso racional y sostenible de la energía. Involucra concienciación en la sociedad, políticas de ahorro y promoción de buenas prácticas en todos los sectores.
- **Edificio:** Estructura construida para albergar actividades humanas, que puede ser residencial, comercial, industrial o institucional. En el contexto de eficiencia energética, se refiere a la implementación de estrategias para optimizar el consumo energético y reducir impactos ambientales.
- **Eficiencia:** Capacidad de un sistema, proceso o equipo para alcanzar un objetivo con el menor consumo de recursos posible. En energía, implica reducir el desperdicio y mejorar el rendimiento sin comprometer la funcionalidad.
- **Energía:** Capacidad de un sistema para realizar un trabajo. En términos eléctricos, es el recurso fundamental para alimentar edificaciones y procesos productivos. Su uso eficiente es clave para reducir costos y mitigar impactos ambientales.
- **Energía renovable:** Fuentes naturales y sostenibles de energía, como solar, eólica y biomasa, fundamentales para reducir dependencia de combustibles fósiles.

- **Equipamiento Urbano:** Son las edificaciones donde se desarrollan usos sanitarios y asistenciales, funerarios, institucionales, educativos, culturales, de transporte, deportivos y recreativos.
- **Estrategias de ahorro energético:** Acciones como aislamiento térmico, equipos eficientes y hábitos de consumo que optimizan el uso de energía.
- **Gestión energética:** Conjunto de acciones enfocadas en controlar, optimizar y mejorar el consumo energético en una organización o sistema. Implica auditorías, mantenimiento eficiente y adopción de tecnologías sustentables. En otras palabras, es el seguimiento y optimización de consumos.
- **HAUS:** Hábitats Urbanos Sostenibles del AMSS.
- **Huella energética:** Impacto ambiental asociado al consumo de energía, considerando emisiones de CO₂ y eficiencia en el uso de recursos.
- **Iluminación eficiente:** Uso de tecnologías como LED y sistemas automatizados para reducir el consumo energético sin afectar la calidad lumínica.
- **Matriz energética:** Distribución de las fuentes de energía utilizadas en un país o región. En El Salvador, incluye hidrocarburos, energía hidroeléctrica y, en crecimiento, fotovoltaica.
- **Normativa energética:** Conjunto de leyes y regulaciones que establecen estándares y requisitos para la eficiencia energética en edificios e industrias.
- **Plan de gestión energética:** Estrategia estructurada para optimizar el consumo energético en un edificio o institución. Incluye análisis de consumo, implementación de tecnologías eficientes y monitoreo de resultados para reducir gastos y mejorar la sostenibilidad.
- **Sostenibilidad:** Capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos para generaciones futuras. En eficiencia energética, implica el uso responsable de la energía para minimizar impactos ambientales.

Acrónimos.

- **ASHRAE:** En español, Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
- **BID:** Banco Interamericano de Desarrollo
- **CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe
- **CNE:** Consejo Nacional de Energía

- **CO₂**: Dióxido de carbono
- **CUBO**: Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades
- **EE**: Eficiencia energética
- **GIZ**: Agencia Alemana de Cooperación Internacional
- **IEC**: Comisión Electrotécnica Internacional
- **ISO**: Organización Internacional de Normalización
- **NTS**: Norma Técnica Salvadoreña
- **OLADE**: Organización Latinoamericana de Energía
- **ONG**: Organización No Gubernamental
- **OSARTEC**: Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica
- **PALCEE**: Programa para América Latina y El Caribe de Eficiencia Energética
- **SGE**: Sistema de Gestión de la Energía
- **UNEP**: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- **USAID**: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de la energía se ha convertido en uno de los principales desafíos para el desarrollo sostenible en el sector de edificaciones. A nivel mundial, los edificios representan una parte significativa del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ha impulsado la implementación de estrategias orientadas a optimizar el uso de la energía sin comprometer la funcionalidad ni el confort de los usuarios. En este contexto, la eficiencia energética surge como una herramienta fundamental para mejorar el desempeño de las edificaciones, reducir costos operativos y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

En El Salvador, la promoción del uso racional de la energía ha cobrado relevancia en los últimos años mediante iniciativas impulsadas por instituciones públicas, organismos internacionales y programas de cooperación. A pesar de estos avances, aún existen desafíos en la evaluación del desempeño energético de edificaciones públicas, especialmente en infraestructuras relativamente nuevas cuya operación real puede diferir de las condiciones consideradas durante su diseño. Por esta razón, resulta necesario desarrollar estudios técnicos que permitan analizar el comportamiento energético de estos edificios y proponer estrategias que optimicen su consumo eléctrico.

El presente trabajo desarrolla un análisis de eficiencia energética en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO) ubicado en El Tamarindo, departamento de La Unión. Este edificio forma parte de un conjunto de infraestructuras destinadas a promover el desarrollo social, educativo y tecnológico de las comunidades. Sin embargo, como en muchas edificaciones institucionales, su operación diaria implica un consumo energético asociado a sistemas de iluminación, equipos electrónicos y sistemas de climatización, los cuales pueden representar oportunidades importantes de mejora energética.

El objetivo general de esta investigación consiste en analizar la eficiencia energética del CUBO El Tamarindo mediante el estudio de su comportamiento energético real, identificando oportunidades de optimización que permitan reducir el consumo eléctrico y mejorar el desempeño energético del inmueble. Para alcanzar este propósito, se realizó un análisis de los consumos eléctricos generados por los diferentes sistemas del edificio, la aplicación de metodologías de evaluación energética basadas en normas internacionales, el uso de herramientas de simulación energética para modelar el comportamiento del edificio y la formulación de un modelo de bajo consumo acompañado de un plan de gestión energética.

Metodológicamente, el estudio combina el análisis de mediciones reales de consumo energético con el desarrollo de simulaciones energéticas del edificio. Para ello se realizó un levantamiento técnico del inmueble, se analizaron los sistemas eléctricos y de climatización existentes y se registraron parámetros eléctricos mediante equipos especializados de medición. Posteriormente, se desarrolló un modelo energético del edificio utilizando herramientas de modelado y simulación como SketchUp, OpenStudio y EnergyPlus, permitiendo representar las características geométricas, térmicas y operativas del inmueble.

A partir del modelo energético construido, se estableció una línea base de consumo energético que fue validada con los datos reales obtenidos durante las mediciones. Sobre esta base se evaluaron diferentes escenarios de mejora energética, incluyendo la optimización de horarios de operación de equipos, la gestión eficiente de cargas eléctricas, la modificación de parámetros de climatización, la instalación de láminas polarizadas en superficies vidriadas y la reactivación del sistema fotovoltaico existente en el edificio. Estas estrategias permitieron analizar el impacto potencial de diversas medidas de eficiencia energética sobre el consumo total del inmueble.

Los resultados obtenidos mediante las simulaciones y el análisis técnico-económico permitieron estimar indicadores clave de desempeño energético, tales como el consumo anual de energía, los ahorros potenciales derivados de cada escenario evaluado, los costos asociados al consumo eléctrico y el periodo de recuperación de las inversiones requeridas. Con base en estos resultados se propone un plan de gestión energética orientado a mejorar la operación del edificio, fomentar el uso racional de la energía y establecer lineamientos para la implementación de medidas de eficiencia energética en edificaciones similares.

De esta manera, el presente estudio no solo contribuye al diagnóstico energético del CUBO El Tamarindo, sino que también ofrece una metodología aplicable a otras edificaciones públicas del país, aportando herramientas para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad energética y la optimización de los recursos energéticos.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar la eficiencia energética en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades CUBO: Estudio de caso El Tamarindo, La Unión.

Objetivos específicos

- Analizar los consumos de energía generados por las cargas de equipos de oficina, luminarias, aires acondicionados en base a Norma ISO 50015 y NTS-27.47.01:23 (NTS ISO/IEC 17024, 3.6).
- Aplicar metodologías para evaluar la eficiencia energética dentro de las instalaciones en base a Norma ISO 50006.
- Utilizar herramientas informáticas de simulación de energías para determinar los flujos de carga térmica y el consumo de energía en el edificio de estudio.
- Proponer un modelo de bajo consumo para conseguir mayor eficiencia energética y ahorros en la facturación en base a Norma ISO 50002 y ISO 50006.
- Diseñar un plan de gestión energética aprovechando las oportunidades de mejora dentro del inmueble basado en la Norma ISO 50001, Norma ISO 9001.

ANTECEDENTES

A nivel global, el sector de la construcción y operación de edificios representa aproximadamente el 36% del consumo final de energía y cerca del 40% de las emisiones de CO₂ derivadas de la energía. Si bien el consumo energético continúa en ascenso, su crecimiento es más lento que el de la población y el área construida, en parte gracias a mejoras en calefacción, iluminación y procesos de climatización. Desde 2015, las emisiones del sector parecen haberse estabilizado, aunque siguen siendo una de las principales fuentes de CO₂ a nivel mundial. A pesar de avances en políticas y códigos de eficiencia energética, aún existen brechas regulatorias, y en muchos países las normativas energéticas no son obligatorias. La inversión en eficiencia energética ha mostrado una reducción preocupante en los últimos años, con un crecimiento de solo 4.7% en 2017 (ajustado por inflación), el más bajo en una década. La transición hacia edificios sostenibles es esencial para reducir emisiones y mejorar la resiliencia del sector. (UNEP, 2024)

En El Salvador, la eficiencia energética ha cobrado relevancia en los últimos años, con esfuerzos estatales y privados para optimizar el consumo de energía. En 2007, la aprobación de la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE) estableció una autoridad rectora encargada de definir la política energética del país. Desde entonces, diversas iniciativas han sido promovidas para mejorar el uso racional de la energía, fomentar la producción limpia y garantizar el acceso a servicios energéticos eficientes. Entre 2008 y 2013, se consolidó un marco normativo e institucional, creando áreas especializadas dentro del CNE, como la Dirección de Eficiencia Energética, encargada de formular estrategias y programas sectoriales. Las medidas implementadas han tenido impacto en sectores clave como alumbrado público, hospitales y edificios gubernamentales, aunque aún enfrentan desafíos en financiamiento y evaluación de resultados. Mecanismos como el Fondo de Desarrollo Productivo (FONDEPRO) y el programa "Empresa Renovable" de BANDESAL han buscado facilitar proyectos de eficiencia, aunque su impacto ha sido limitado. Además, organismos internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), CEPAL, USAID y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) han apoyado iniciativas de producción más limpia en el país.

En 2013, el Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética fue presentado ante la Casa Presidencial y posteriormente enviado a la Asamblea Legislativa en 2014. Su objetivo central era incentivar el ahorro energético y promover el uso de tecnologías más eficientes en sectores como el público, comercial, industrial, residencial y transporte. La ley buscaba facultar al CNE para coordinar y ejecutar acciones de

eficiencia energética, además de establecer mecanismos de regulación. Sin embargo, su proceso de aprobación ha sido lento y sujeto a revisiones.

Actualmente, El Salvador avanza en la eficiencia energética, aunque persisten desafíos estructurales. Existen estudios preliminares sobre el flujo energético y su impacto climático, lo que ha permitido definir criterios más adecuados de eficiencia según las condiciones ambientales del país. En términos de infraestructura, el gobierno ha impulsado la construcción de edificios modernos, como los Centros Urbanos de Bienestar y Oportunidades (CUBO), diseñados para ofrecer espacios de desarrollo comunitario. Hasta la fecha, algunos estudios han evaluado el rendimiento energético de estos edificios en San Salvador, pero aún falta información sobre su comportamiento en otras regiones del país.

Dado el crecimiento de la infraestructura en El Salvador, el estudio de eficiencia energética en el CUBO El Tamarindo, La Unión, resulta esencial para entender el consumo de energía y formular estrategias de optimización en base a normativas internacionales como la ISO 50015, ISO 50006, ISO 50002 e ISO 50001. Este análisis permitirá diseñar un modelo energético eficiente, generando beneficios en reducción de costos, sostenibilidad y mejora de la calidad ambiental dentro del inmueble.

ALCANCES

- Evaluar el consumo energético actual del inmueble mediante equipos de medición, lectura de los parámetros de los equipos eléctricos y el medidor, para identificar tendencias y patrones en el uso de la energía.
- Desarrollar un modelo de línea base y un modelo optimizado de bajo consumo utilizando software especializado.
- Identificar e implementar medidas específicas para reducir el consumo energético del edificio, tales como la mejora de la iluminación, la actualización de sistemas de climatización y la optimización del uso de equipos electrónicos; comparar los resultados obtenidos con la línea base de consumo para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

MARCO TEÓRICO

Este capítulo desarrolla los fundamentos teóricos necesarios para comprender la eficiencia energética en edificaciones. Parte de una visión general del concepto, abordando sus principios, aplicaciones y normativas, hasta llegar a los aspectos específicos que sustentan el análisis realizado en esta investigación.

Conceptos generales

¿Qué es la eficiencia energética?

La eficiencia energética es el uso óptimo de la energía para maximizar la producción de bienes y servicios con un consumo mínimo. Según el (COAMSS, 2018), se define como *«el empleo adecuado de la energía que permite optimizar los procesos productivos, utilizando un menor consumo de este recurso para producir más bienes y servicios»*. En términos más prácticos, el (Ministerio de energía, 2022) señala que *«es lograr un mismo resultado consumiendo menos energía»*. La eficiencia energética no solo implica ahorro económico, sino que también contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y a la sostenibilidad ambiental. Como afirma (Valle, 2018), *«La eficiencia energética es el motor de una gran oportunidad de ahorro»*. Este concepto es clave en diversos sectores, incluyendo:

- Industrial: Reducción de costos operativos mediante tecnologías eficientes.
- Edificación: Mejora en aislamiento térmico y uso inteligente de energía.
- Transporte: Optimización de combustibles y movilidad eléctrica.
- Sector público y asistencial: Políticas de eficiencia en hospitales y oficinas gubernamentales.
- Sector hotelero y agroalimentario: Reducción del consumo en climatización y procesos productivos.

En estudios amplios de eficiencia energética, algunos sectores se analizan en conjunto, mientras que, en planes específicos, se abordan de manera separada con metas y estrategias concretas. (Ministerio de energía, 2022)

Importancia y beneficios de la eficiencia energética

Las estrategias de eficiencia energética son fundamentales en la lucha contra el cambio climático y la transición hacia un modelo energético más sostenible. Para muchos organismos internacionales, han establecido metas de carácter urgentes para reducir emisiones.

Por ejemplo, el Gobierno de Chile publicó el Plan Nacional de Eficiencia Energética con el fin de alcanzar el carbono neutralidad en las próximas décadas. Asimismo, el Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) resalta que los cambios actuales en el clima son irreversibles a corto plazo, incluyendo el aumento del nivel del mar, lo que hace urgente la acción. Sin embargo, el mismo informe señala que una reducción sustancial y sostenida de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero permitiría limitar el cambio climático, la eficiencia energética juega un papel central en esta transformación.

En definitiva, la eficiencia energética no solo reduce costos, sino que también mejora el desempeño ambiental y optimiza recursos en diferentes sectores. Para garantizar una implementación efectiva, es necesario establecer políticas públicas y adoptar tecnologías eficientes que permitan alcanzar objetivos de sostenibilidad.

Contexto de eficiencia energética

Eficiencia energética en El Salvador

El avance en eficiencia energética en El Salvador ha sido gradual. En agosto de 2007, la Asamblea Legislativa aprobó la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE), estableciéndolo como la autoridad rectora en materia de política energética y coordinador de los distintos actores del sector. Uno de sus principales objetivos fue fomentar el uso racional de la energía, incentivando prácticas y normativas dirigidas a reducir el consumo energético. (CNE, 2007)

El CNE cuenta con seis áreas técnicas, entre ellas la Dirección de Eficiencia Energética, encargada de formular estrategias, desarrollar programas sectoriales y establecer metodologías para el uso eficiente de la energía. Según (Montaño Valle, 2018), Montaño Valle (2018), su misión es «*desarrollar y promover medidas orientadas al uso eficiente de los recursos energéticos y las buenas prácticas para el ahorro de energía*». Entre 2009 y 2013, el CNE produjo varios documentos clave, de los cuales destacan:

- Manual recomendaciones para el uso eficiente de energía en el Gobierno central
- Metodologías de Eficiencia Energética

Lamentablemente, muchos de estos manuales ya no están disponibles públicamente. Los que están disponibles, son accesible a través de internet, y son los que se muestran a continuación.



Figura 1. Manuales de uso eficiente de la energía (Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas) (DGEHM, 2025)

Avances en legislación y financiamiento

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financió la formulación de un Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética, liderado por el CNE. A inicios de la década de 2010, los principales impulsores de eficiencia energética en El Salvador fueron el CNE y el Programa El Salvador Ahorra Energía (PESAE). Este programa, coordinado por el CNE, reunió diversas instituciones en su Comité Técnico (CEPAL, 2013), incluyendo:

- Universidades (UCA, UDB)
- Sector industrial eléctrico (ASI, AES El Salvador, DELSUR)
- Entidades gubernamentales (CNPML, FONDEPRO, MARN, BANDESAL, CEL, SIGET)
- Comercio y acreditación (CAMARASAL, OSA)

El Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética, presentado en Casa Presidencial en 2013 y enviado a la Asamblea Legislativa en marzo de 2014, buscaba incentivar el ahorro energético y promover el uso de tecnologías eficientes en sectores clave como comercial, residencial, público e industrial. Sin embargo, su aprobación ha sido un proceso prolongado con varias revisiones. (Fermosell, 2014)

Implementación del Plan Estratégico de Eficiencia Energética

El Programa El Salvador Ahorra Energía desarrollado por OLADE en el año 2011 en el marco del PALCEE I, promovió el uso eficiente y racional de la energía en el país. Actualmente, agrupa a 25 instituciones, entre públicas, privadas, universidades y ONGs, que han firmado un memorándum de entendimiento para unir esfuerzos e impulsar el tema del uso eficiente de la energía, con base en la Política Energética Nacional. En este contexto, se elaboró el Plan Estratégico 2013-2017, con los siguientes objetivos estratégicos (CEPAL, 2017):

- Promover el uso racional y eficiente de la energía
- Convertir la eficiencia energética en un valor cultural en El Salvador
- Capacitar y fortalecer el sector productivo en eficiencia energética
- Consolidar la eficiencia energética como una fuente clave en la matriz energética nacional



En el marco de la implementación del Plan Estratégico se están impulsando muchas normativas técnicas. Por ejemplo, el Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC) publicó regulaciones para siete equipos eléctricos con estándares mínimos de Eficiencia energética. Asimismo, el CNE, con el apoyo de la Agencia para la Cooperación Internacional de los Estados Unidos y en coordinación con el OSARTEC, ha trabajado en Reglamentos Técnicos Salvadoreños, con el objetivo de eliminar equipos ineficientes del mercado nacional. Entre los reglamentos en desarrollo están:

- Aires acondicionados
- Motores eléctricos
- Refrigeradores comerciales y doméstico.

Comparación con México

Según estudios de (CEPAL, 2017), la evolución de la eficiencia energética en El Salvador sigue en una fase temprana en comparación con países líderes, como México. El resultado de cada una de las acciones como medidas de eficiencia energética adoptadas o en elaboración de El Salvador, se resumen en la Tabla 1.:

Tabla 1. Resumen de medidas de eficiencia energética. Obtenida de (CEPAL, 2017), pp. 96

PAÍS	Ley específica de EE	Agencia local de EE	Plan Nacional de EE	Programas de etiquetado	MEPS	Programas específicos de EE
El Salvador	En Preparación	No existe una ley específica	Sí			Comités de EE en sector público, iluminación residencial y pública, sustitución de equipos.
México	Sí	CONUEE	Sí			Fortalecimiento regulatorio, capacitación y difusión de EE, investigación y desarrollo tecnológico

Otro análisis de este mismo estudio, muestra que El Salvador aún no define claramente sus sectores de aplicación de eficiencia energética, lo que limita la formulación de políticas específicas.

Tabla 2 Medidas y metas de eficiencia energética particulares de países. Obtenido de (CEPAL, 2017), pp. 99

País	Sector/Fuente	Meta-año	Campos de acción
El Salvador	General	No existen metas definidas.	- Alumbrado público y residencial. - Eficiencia energética en edificios.
México	Genera	Mantener a 2018 el mismo índice de intensidad energética de 2012. Pasar de 46% en 2012 a 51% en 2018 del consumo energético nacional final regulado por medidas de eficiencia energética.	- Eficiencia en edificaciones. - Sistemas de iluminación eficiente. - Promover la cogeneración en la industria. - Reemplazo de vehículos de combustión interna poco eficientes por vehículos eléctricos, o tecnologías más eficientes.

En términos de infraestructura, El Salvador ha comenzado a desarrollar estrategias de eficiencia energética en iluminación y edificación, temas que se abordan en el siguiente apartado.

Eficiencia energética en edificaciones

La eficiencia energética en edificios se refiere a la optimización del consumo de energía dentro de una edificación para reducir desperdicios y minimizar el impacto ambiental. Esto se logra con dos aspectos fundamentales:

- Identificación de los principales consumos energéticos en los edificios.
- Implementación de estrategias para reducir el consumo de energía sin afectar la funcionalidad.

Principales consumos energéticos en edificaciones

Diversos estudios sobre eficiencia energética en edificaciones coinciden en que los mayores consumos energéticos provienen de:

- Sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), incluyendo refrigeración.
- Iluminación.
- Calentamiento de agua.
- Equipos electrónicos.
- Cocina y electrodomésticos.

Cada uno de estos sistemas representa un desafío en términos de reducción de consumo, especialmente en climas cálidos como el de El Salvador, donde la refrigeración y el aire acondicionado juegan un papel clave en la eficiencia energética de los edificios.

Proyecto de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (EEPB) en El Salvador

Con el objetivo de reducir emisiones de gases de efecto invernadero, en 2010, el CNE, en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), implementó el Proyecto de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (EPPB).

Antes de su ejecución, se recopiló información sobre el consumo energético mensual en instituciones del gobierno central durante 14 meses (enero 2009 - marzo 2010). Los resultados mostraron que el 30% del consumo eléctrico del sector público correspondía a operaciones de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). A partir de este diagnóstico, se realizaron ensayos de eficiencia energética en dos edificios gubernamentales:

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Defensoría del Consumidor.

El análisis permitió comparar los cambios en el consumo energético luego de la implementación de las medidas de eficiencia.

Diagnósticos Energéticos en Hospitales Públicos

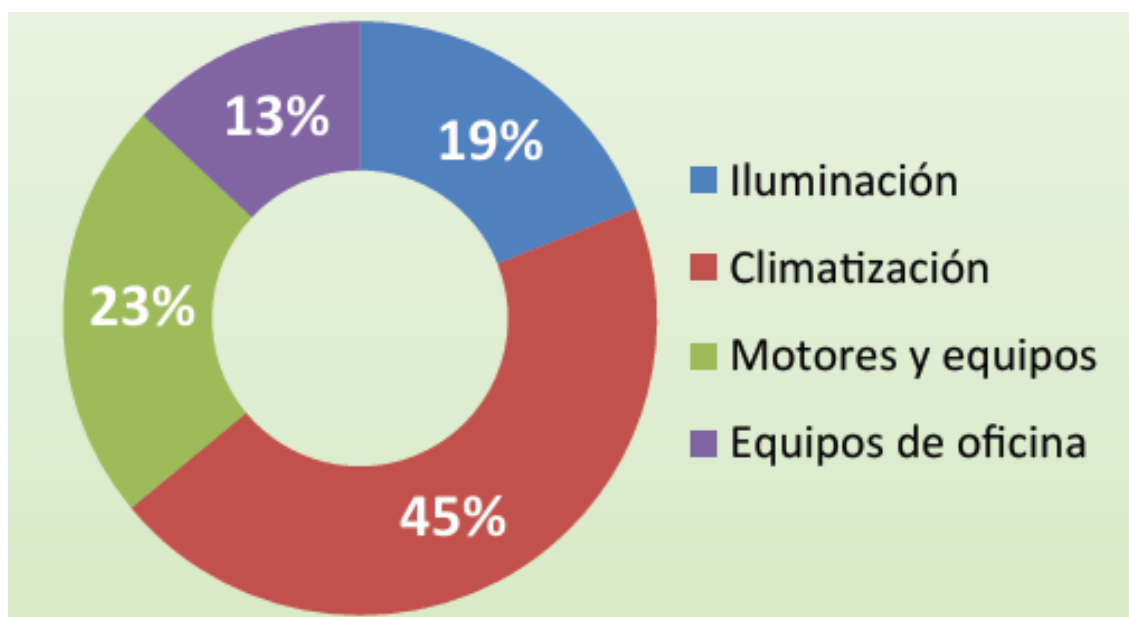
Defensoría el Consumidor En colaboración con el Ministerio de Salud, se realizaron «Diagnósticos energéticos especializados» en 10 hospitales de la red pública, evaluando aspectos clave como:

- Parámetros eléctricos.

- Eficiencia de sistemas de aire acondicionado.
- Pérdidas en sistemas de distribución de vapor.
- Niveles de iluminación.
- Uso de equipos médicos.

Estos estudios permitieron identificar las áreas de mayor consumo energético en el sector hospitalario y establecer estrategias para reducir costos sin afectar la calidad del servicio.

Gráfico 1. Distribución del consumo de energía eléctrica. Obtenido de (DGEHM sobre sostenibilidad, 2025)



Impacto de las edificaciones sostenibles en El Salvador

El OPAMSS, como entidad comprometida con el desarrollo sostenible en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), ha promovido la adopción de edificaciones sostenibles bajo la normativa HAUS (derivada de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Según el OPAMSS, los edificios eficientes generan los siguientes beneficios:

1. Mejoran la salud y el confort de los ocupantes.
2. Reducen el ausentismo y la rotación de personal en oficinas y empresas.
3. Mejoran el rendimiento y productividad de los ocupantes.
4. Generan ahorros a largo plazo en costos de operación y mantenimiento.



Figura 2 Impactos de las edificaciones sostenibles en la ciudad según OPAMSS. Obtenido de (Guía HAUS, 2025)

Estrategias para mejorar la eficiencia energética en edificaciones según HAUS

La eficiencia energética en edificaciones es clave para reducir el consumo energético, mejorar el confort térmico y minimizar el impacto ambiental. Según la guía (HUB-HAUS, 2021), propone diferentes estrategias para construir edificaciones sostenibles. La estrategia 6, que trata sobre la eficiencia energética, indica que se deben incorporar principios de diseño bioclimático, protección solar, uso de energías renovables y sistemas de control energético.

1. **Protección solar:** El diseño de protección solar permite controlar la radiación y mejorar el confort térmico de los usuarios. Se puede lograr mediante:
 - a. Iluminación natural adecuada, optimizando el uso de luz diurna en los espacios interiores.
 - b. Orientación estratégica del edificio, considerando elementos naturales y artificiales para generar sombra.
 - c. Uso eficiente de ventanas, equilibrando iluminación y reducción de ganancia térmica.

- d. Protección solar con elementos artificiales, como: Persianas horizontales y verticales, aleros y balcones para sombreado natural, vidrios con protección solar, reduciendo el ingreso de radiación infrarroja y ultravioleta.
2. **Iluminación artificial eficiente:** El uso de tecnología eficiente en iluminación reduce el consumo energético. Se recomienda:
- a. Lámparas LED, tipo tubo o tipo panel, que ofrecen mayor eficiencia con menor consumo.
 - b. Sensores fotoeléctricos, que regulan automáticamente la iluminación según las condiciones ambientales.
 - c. Distribución inteligente de luminarias, según la actividad y necesidad de cada área.
3. **Energía renovable:** Integrar fuentes limpias de energía es fundamental para reducir la dependencia de electricidad convencional. Se pueden aplicar:
- a. Paneles fotovoltaicos, aprovechando la radiación solar para la generación eléctrica.
 - b. Biomasa y otras fuentes renovables, según disponibilidad y viabilidad del proyecto.
4. **Ventilación natural:** Favorecer la ventilación cruzada permite reducir la carga de sistemas mecánicos de climatización. Para ello, es importante:
- a. Analizar patrones de viento, considerando orientación, vegetación y cuerpos de agua cercanos.
 - b. Evitar barreras estructurales internas, permitiendo el flujo de aire natural entre espacios.
 - c. Diseñar fachadas abiertas, que maximicen la circulación del aire y minimicen la acumulación de calor.
5. **Sistemas mecánicos de aire:** Cuando el diseño del edificio no pueda garantizar confort térmico, se pueden utilizar sistemas mecánicos bajo normas de eficiencia energética:
- a. Equipos de aire acondicionado con certificación ASHRAE, que optimicen el consumo eléctrico.
 - b. Inyección de aire fresco, evitando acumulación de CO₂ y mejorando la calidad del aire interior.
6. **Sello verde de eficiencia energética:** Los equipos eléctricos utilizados en la edificación deben contar con certificaciones internacionales como:
- a. Energy Star
 - b. SEER

- c. Otros sellos de eficiencia energética reconocidos
7. **Medición y control eléctrico:** Implementar sistemas de monitoreo y control eléctrico permite optimizar consumos en tiempo real. Se pueden aplicar:
 - a. Energy Management Systems (EMS), para seguimiento detallado de consumos eléctricos.
 - b. Tableros de interruptores inteligentes, que optimizan el uso de energía.
 - c. Automatización de iluminación y climatización, reduciendo desperdicio energético.

Diseño, construcción y ambientación eficiente de edificaciones

La eficiencia energética en edificios se centra en reducir el consumo de energía sin sacrificar el confort de los ocupantes. Esto se logra utilizando tecnologías y prácticas que minimizan el uso de recursos y optimizan el rendimiento energético. Además, el desarrollo de edificios eficientes no solo es reducir el consumo de energía eléctrica y térmica, sino también en la optimización del uso de agua, materiales y residuos dentro de un enfoque integral de sostenibilidad. Para garantizar un desempeño óptimo, es necesario abordar estos aspectos desde la etapa de planificación hasta la operación del edificio, es decir, que es un enfoque que incluye todo el ciclo de vida del edificio: desde la concepción del diseño arquitectónico hasta la operación diaria.

Con esto se busca minimizar la demanda energética y promover condiciones ambientales saludables, haciendo uso de estrategias pasivas, selección consciente de materiales y tecnologías inteligentes. Así, la eficiencia energética se consolida como el principio rector de toda la edificación.

Diseño Arquitectónico Sostenible

El diseño arquitectónico sostenible es un enfoque que busca optimizar el rendimiento energético y ambiental de un edificio desde su concepción, integrando estrategias. Este es el primer pilar es un diseño orientado a la reducción de demanda.

- **Orientación y captación solar**

Estudiar la trayectoria del sol y ubicar estratégicamente el edificio permite aprovechar la luz diurna y minimizar la ganancia de calor en horarios críticos. Esto se traduce en menos dependencia de sistemas activos de refrigeración.

- **Diseño bioclimático y ventilación cruzada**

La ventilación cruzada es un método de ventilación natural que aprovecha la diferencia de presión y la dirección del viento para generar un flujo de aire dentro de un espacio. Se logra al tener dos aberturas en lados opuestos de un edificio, permitiendo que el aire fresco entre por una y el aire caliente salga por la otra. Integrar aberturas bien distribuidas para fomentar la ventilación natural contribuye a un microclima interno equilibrado, optimizando la ventilación natural, y, por tanto, reduciendo la necesidad de climatización mecánica.



Figura 3 Flujo de aire en edificio con ventilación cruzada. Obtenido de (Baransu, 2025)

Sin embargo, países como España ya no consideran viable la ventilación natural en edificios para viviendas. En el Código Técnico de la Edificación específica en (DB HS3, 2022), que todas las nuevas licitaciones de edificios han de contar con al menos un sistema de ventilación híbrido, que es aquel que cuenta con aspectos mecánicos y naturales, por lo que podemos decir que no pueden depender exclusivamente de la ventilación natural.

- **Iluminación natural y control del deslumbramiento**

En un día claro, el sol proporciona varios miles de lux, incluso a través del cristal. Un buen diseño de iluminación diurna puede ahorrar más de la mitad de la energía utilizada para la iluminación eléctrica de un edificio y mejorar el confort visual. Tanto la ubicación y las características interiores (como muebles) del edificio son importantes en el diseño de la iluminación natural y deben ser lo primero a considerar.

El factor de luz diurna es la cantidad de luz diurna que llega a un punto o una superficie, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de luz diurna} = \frac{\text{Iluminancia interior (en un punto)}}{\text{Iluminancia exterior (desde el cielo sin obstrucciones)}}$$

La selección del sistema de iluminación natural dependerá de la distribución, la orientación y el entorno del edificio. Los dos principales son: iluminación lateral e iluminación superior. La iluminación lateral proporciona luz natural a través de aberturas ubicadas en los muros perimetrales de un edificio. Para maximizar la penetración y reducir el resplandor, se colocan lo más cerca posible del techo para que la luz natural rebote profundamente en la habitación a través del techo. Para ello se pueden usar ventanas del triforio. Se trata de ventanas altas, colocadas verticalmente que aumentan la cantidad de la luz, a la vez que mantiene la privacidad:



Figura 4 Ventanas del triforio. Obtenido de (Hihausbm.com, 2025)

Otra alternativa es utilizar estantes de luz, que es un elemento arquitectónico con un saliente horizontal que refleja la luz. Se coloca por encima del nivel de los ojos y tiene una superficie superior de alta reflectancia. La superficie se utiliza luego para

reflejar más profundamente la luz natural hacia el techo. El ancho del toldo debe diseñarse para excluir el sol no deseado.

Por otro lado, la iluminación superior proporciona luz natural a través de las aberturas de los tejados. Estas estrategias pueden proporcionar una distribución uniforme de la luz natural a toda el área del piso superior si en toda el área del piso superior se utilizan aberturas en el techo distribuidas a lo largo del área del techo. La única limitante es que solo los edificios de un solo piso y el piso superior de los edificios de varios pisos pueden beneficiarse de una iluminación superior.



Figura 5 Estantes de luz. Obtenido de (DIALux Community, 2025)

Una alternativa es utilizar tubo solar. Esta es una tecnología inteligente que lleva los tragaluces un paso más allá por refracción, reflexión y concentrando la luz solar

en un pequeño tubo usando espejos y lentes. Los tubos solares varían dependiendo de su tamaño y producen más de 3000 lúmenes. Un tubo solar podría sustituir cuatro bombillas de 60 vatios.

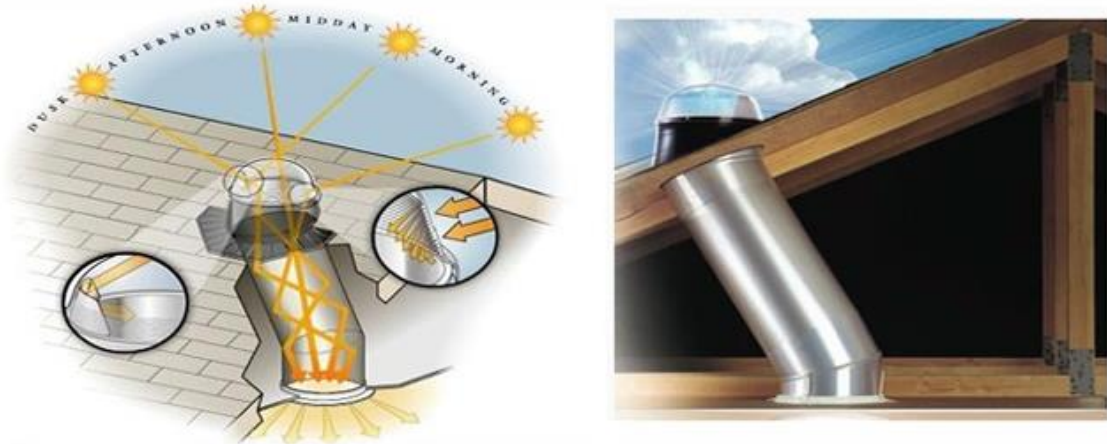


Figura 6 Tubo solar o tragaluces con tecnología de refracción y reflexión. Obtenido de (reevEnergy, 2026)

Otra opción son los techos de dientes de sierra donde emplean una serie de vidrios verticales o inclinados que están separados por elementos de techo inclinado. Se puede utilizar para iluminar uniformemente una gran superficie del suelo.



Figura 7 Techos diente de sierra. Obtenido de (Clod Ensemble, 2025)





Construcción Sostenible y Selección de Materiales

Los materiales utilizados en la construcción pueden mejorar la eficiencia térmica del edificio y reducir la demanda energética. La relación de la Construcción Sostenible con Diseño Arquitectónico Sostenible radica en que, si el diseño establece principios de eficiencia desde el inicio, el proceso constructivo puede materializar esas estrategias mediante el uso de tecnologías y materiales que minimicen el impacto ambiental. La fase constructiva debe alinearse con los principios de sostenibilidad y eficiencia:

Materiales de alto rendimiento y baja energía incorporada.

Se trata de materiales utilizados para el aislamiento térmico, es decir, materiales que reducen la transferencia de calor que puede ser por conducción, convección y radiación. Los factores que afectan el tipo y la cantidad de aislamiento a utilizar en un edificio incluyen: Conductividad térmica, sensibilidad a la humedad, facilidad de instalación, durabilidad, facilidad de reemplazo al final de la vida útil, rentabilidad, toxicidad, inflamabilidad, impacto ambiental y con baja huella de carbono reduce el impacto ambiental durante la fabricación y transporte. Existen muchos tipos de materiales para aislar paredes, techos y pisos. Como los que se muestran en la tabla 3:

Tabla 3 Tipos de aislamiento térmico. Imágenes obtenidas de (Eco Home Essentials, 2026)

Tipo de aislamiento	Descripción	Aplicación
Espuma de poliuretano	Este aislamiento que se rocía en el lugar mediante una pistola. Las espumas de poliuretano e isocianato se aplican como una mezcla de dos componentes que se unen en la punta de una pistola y forman una espuma en expansión. Se pulveriza directamente sobre paredes y cavidades del suelo como un líquido y se transforma rápidamente en un aislamiento de espuma dura y espesa. Con esta espuma, la energía del aire acondicionado puede reducirse hasta un 35% sin perder eficiencia ni confort.	
Celulosa	El aislamiento de celulosa se fabrica a menudo triturando con martillos los desechos de periódico. Estudios muestran que la celulosa funciona 20 a 30% mejor que la fibra de vidrio.	
Fibra de vidrio	Se fabrica a partir de arena y vidrio reciclado y la fibra mineral (lana de roca) se fabrica a partir de roca basáltica o material reciclado de desechos de acerías. Es de fácil instalación y el tipo de aislamiento más común y económico.	
Doble acristalamiento	Las ventanas de doble acristalamiento tienen dos láminas de vidrio con un espacio entre ellas para crear una barrera aislante que retiene el calor. El gas aislante más común es el aire, sin embargo, para aumentar la eficiencia, se utilizan gases como argón o xenón en el espacio entre las láminas de vidrio.	

- **Procesos constructivos optimizados**

La industrialización y prefabricación no solo reducen el consumo energético durante la edificación, sino que aseguran precisión en la instalación, lo que se traduce en un mejor rendimiento a lo largo del ciclo de vida del edificio.

- **Gestión responsable de recursos**

Se debe priorizar la eficiencia en la utilización de energía y materiales durante la construcción, minimizando residuos y optimizando el transporte y manejo, lo cual también contribuye a la sostenibilidad global del proyecto.

Ambientación Integral

El entorno del edificio también juega un papel crucial en su eficiencia energética. El confort interior se busca mediante la manipulación inteligente del entorno. Algunas estrategias son:

- **Estrategias pasivas y paisajismo**

Techo verde o techo viviente es un techo de un edificio que está cubierto parcial o totalmente con vegetación y un medio de cultivo, plantado sobre una membrana impermeabilizante, que no solo actúa como aislante natural, sino que también ayuda a mitigar el efecto isla de calor en zonas urbanas.



Figura 8 Techo verde de un edificio de varios niveles. Obtenido de (Greenroofs.com, 2026)

Los techos verdes se componen de varias capas. Primero se tienen los elementos que conforman una cubierta convencional. La estructura que normalmente es de concreto, de madera o metálica. Sobre ésta se coloca la barrera de vapor y, en caso de ser requerido, un material aislante térmico. Finalmente se coloca la lámina o sistema impermeabilizante.

Sobre esta cubierta vienen las capas adicionales que conforman al techo verde. Primero se coloca una barrera antiraíces que evita que las raíces de las plantas lleguen a dañar al impermeabilizante. Después se tiene el drenaje, esta capa se puede realizar de algún material

poroso como la grava o bien un material sintético mucho más ligero. Sobre el drenaje se coloca un filtro geotextil que evita el paso de finos en las capas superiores. Después se tiene al medio sustrato que proporciona nutrientes a las plantas y retiene la humedad; el espesor varía de acuerdo al tipo de techo verde y plantas. Los materiales más utilizados son inorgánicos como la arcilla expandida u orgánicos como la corteza de pino.

Como capa final tenemos a las plantas que le dan vida al techo verde. Estas se eligen de acuerdo al tipo y espesor del sustrato y a las condiciones climáticas del lugar.

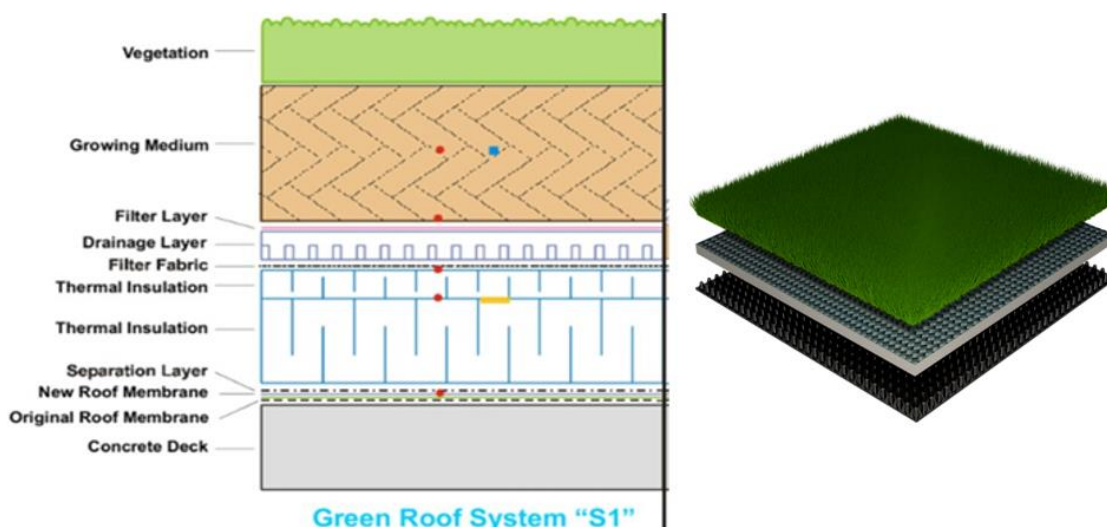


Figura 9 Capas la cubierta convencional y el techo verde. Obtenido de (PRASPAN., 2026)

Los beneficios públicos que genera esta estrategia son el uso de materiales reciclados en el medio de cultivo y reduce el efecto isla de calor urbano a través del ciclo diario de rocío y evaporación.

Entre los beneficios privados son la eficiencia energética. El mayor aislamiento que ofrecen los techos verdes puede reducir la cantidad de energía necesaria para moderar la temperatura de un edificio, ya que los techos son el escenario de las temperaturas más altas en el verano. Una investigación publicada por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá, concluyó que un techo verde extenso reducía el flujo de calor a través de la cubierta entre un 70% y un 90% en verano y entre un 10 % y un

30 % en invierno, disminuyendo así la demanda energética para el acondicionamiento de espacios en el edificio. (Liu & Baskaran, 2005)

A esto puede sumar un paisaje circundante diseñado para favorecer la ventilación natural y mejorar la calidad del aire. Implica el diseño de patios y espacios abiertos, y una ubicación estratégica de vegetación, como árboles y arbustos que actúen como barreras contra el viento favoreciendo la ventilación cruzada. Estas estrategias forman parte también de la arquitectura bioclimática.

- **Acabados y colores reflectantes**

El uso de revestimientos y tonos claros en fachadas y cubiertas reduce la absorción de radiación solar, moderando la temperatura en el interior y complementando las técnicas de aislamiento.

Es importante prestar atención al color y a la reflectancia de los colores y acabados. La reflectancia solar de una superficie es directamente proporcional a la tonalidad más clara, es decir que las superficies claras reflejan más la radiación solar que las superficies oscuras. Sin embargo, la radiación solar, aparte del espectro visible está compuesta también longitudes de onda que están en el espectro del infrarrojo, siendo las dos radiaciones parecidas cuantitativamente. Hay materiales que siendo oscuros tienen reflectancia solar alta, ya que, aunque tengan la reflectancia del visible baja, tienen la reflectancia del espectro infrarrojo muy alta y por lo tanto el cómputo final es que tienen alta reflectancia solar (Grau & Ayerra, 2018). Los techos oscuros se calientan más que las superficies blancas más reflectantes, ante la misma radiación solar.

Sistemas de automatización y gestión inteligente

Integrar sensores y sistemas de control (como EMS) que regulen iluminación, climatización y otros consumos, permitiendo ajustar el desempeño energético en tiempo real, asegurando que la operación del edificio se adapte a la variabilidad en la ocupación y condiciones ambientales.

Modelado y Evaluación Energética Previa a la Construcción

La simulación y el análisis predictivo son herramientas fundamentales para validar el diseño y ajustar estrategias antes de iniciar la obra.

Simulaciones energéticas avanzadas:

Herramientas como EnergyPlus, DesignBuilder o RETScreen permiten crear modelos que evalúan el comportamiento energético del edificio bajo distintas condiciones. Esto facilita la identificación de oportunidades de mejora y la optimización del diseño.

Monitoreo continuo y retroalimentación:

La implementación de un sistema de gestión energética integrado permite no solo prever consumos, sino también realizar ajustes operativos a lo largo del tiempo, garantizando el mantenimiento del rendimiento energético proyectado

Integración de energías renovables y sistemas HVAC en edificios eficientes

Este apartado abordará cómo las energías renovables y los sistemas de climatización pueden complementar un diseño eficiente, optimizando el consumo energético sin generar dependencia exclusiva en tecnologías mecánicas.

En el apartado anterior se discutió acerca de edificaciones eficientes desde la perspectiva de reducción de la demanda energética, la gestión de materiales y el consumo de agua; sin embargo, aunque las fuentes de energía renovable y los sistemas HVAC sí son parte de la temática se suelen considerar como soluciones complementarias, una vez que se ha optimizado el diseño y construcción del edificio. La lógica detrás de esto es que un edificio verdaderamente eficiente debe minimizar su necesidad de consumo energético antes de integrar sistemas activos, como HVAC o generación renovable. La siguiente figura, es una pirámide que representa los principios de eficiencia energética, organizados por complejidad y rentabilidad.

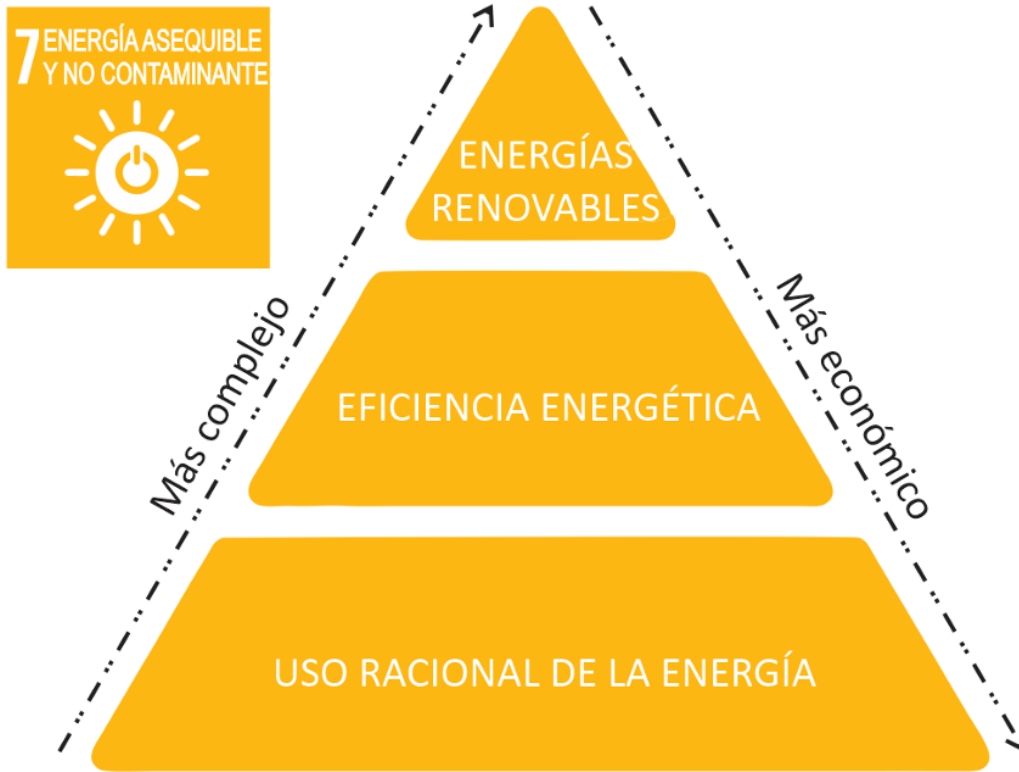


Figura 10 Pirámide de la eficiencia energética. Obtenido de (Flensburg, 2020)

Esta pirámide representa los principios de eficiencia energética, organizados por complejidad y rentabilidad. Las flechas indican que cuanto más arriba en la pirámide mayor es la complejidad, pero cuanto más abajo mayor es la rentabilidad económica. En proyectos de eficiencia energética, lo recomendable es comenzar desde la base y avanzar progresivamente hacia la integración de tecnologías más avanzadas. Cada nivel representa un paso u orden que se debe seguir:

- Uso racional de la energía (Base – naranja): Es el primer paso en la eficiencia energética y el más económico. Se enfoca en reducir el consumo innecesario a través de hábitos y buenas prácticas, como apagar luces cuando no se usan, optimizar la iluminación natural y reducir el uso de equipos en standby.
- Eficiencia energética (Medio – verde). Aquí se implementan tecnologías y mejoras en el rendimiento de los sistemas energéticos. Esto incluye el uso de equipos eficientes, aislamiento térmico, iluminación LED y sistemas de gestión energética para minimizar el desperdicio de energía.
- Energías renovables (Cima – azul). Es la etapa más compleja pero fundamental para la sostenibilidad. Se basa en la generación de energía

limpia, como solar, eólica o biomasa, para reducir la dependencia de fuentes fósiles y las emisiones contaminantes.

Principios de Integración Energética en Edificaciones

La integración de energías renovables es fundamental en la eficiencia energética, pero su impacto es más significativo una vez que la demanda energética está reducida. En un edificio mal diseñado, los paneles solares u otras fuentes renovables solo estarían compensando un consumo excesivo en lugar de optimizarlo. Por tanto, un edificio eficiente minimiza su consumo energético antes de integrar tecnologías activas. Esta sección abordará cómo las energías renovables y los sistemas de climatización pueden complementar un diseño eficiente, optimizando el consumo energético sin generar dependencia exclusiva en tecnologías mecánicas. Los primeros pasos para un edificio eficiente están en abordar las estrategias mencionadas en la sección anterior, que no requieren de tecnologías activas, en resumen, podemos indicar que se trata de:

- Reducir de la demanda térmica mediante aislamiento y estrategias bioclimáticas.
- Optimizar del uso de luz natural y ventilación cruzada.
- Uso eficiente de materiales para mejorar la inercia térmica.

Este enfoque permite que la implementación de renovables y HVAC sea una mejora estratégica, no una compensación por un diseño ineficiente.

Sistemas de energía renovable en edificaciones

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes, al menos durante su utilización. Según las previsiones de la AIE, la participación de las renovables en el suministro eléctrico global pasará del 28,7% en 2021 al 43% en 2030. Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos:

- Energía solar fotovoltaica: aprovecha la luz del sol usando paneles para generación eléctrica.
- Energía solar térmica: Aprovecha el calor del sol con sistemas para calentamiento de agua con colectores solares.

- Energía eólica urbana: la energía se obtiene del viento con aplicabilidad en zonas con suficiente viento.
- Biocombustibles y biomasa: La energía que se extrae de materia orgánica.

Sistemas HVAC en edificios energéticamente eficientes

El uso de la climatización en edificios debe alinearse con la eficiencia energética. Por ello, aunque los sistemas de climatización son esenciales en el confort, la EE no debe depender exclusivamente de ellos. Se priorizan estrategias como aislamiento térmico, ventilación natural y techos reflectantes, que disminuyen la carga térmica antes de activar un sistema mecánico. Una vez aplicadas estas estrategias, podemos continuar aplicando estrategias para sistemas HVAC, entre ellas tenemos:

- Reducción de la carga térmica antes de aplicar HVAC.
- Uso de equipos con certificación de eficiencia energética (ASHRAE 90.1, SEER, Energy Star).
- Sistemas de climatización inteligente, que regulen consumo según ocupación y temperatura.
- Alternativas sostenibles en refrigeración: Uso de gases ecológicos y enfriamiento por evaporación.

Auditoría energética y análisis de consumo

La racionalización del consumo energético viene dada por la gran dependencia energética que tenemos, por este motivo, las auditorías energéticas han de convertirse en una herramienta fundamental para la integración de la eficiencia energética en el mercado.

Concepto y objetivos de la auditoría energética

Según (Montaño Valle, 2018), pp. 66, *«las auditorías son un proceso sistemático mediante el que se obtiene un conocimiento fiable del consumo energético de la empresa, se detectan los factores que afectan al consumo de energía, se identifican, evalúan y ordenan las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad»*. Por tanto, las auditorías energéticas tienen como objetivo:

- Identificar y reducir ineficiencias en el consumo de energía.
- Optimizar procesos y recursos sin afectar la operatividad.
- Garantizar el cumplimiento de normativas de eficiencia energética.
- Generar estrategias de mejora basadas en datos técnicos y financieros.

- Evaluar oportunidades de inversión en tecnologías de bajo consumo.

Auditoría energética en edificios existentes

Es un proceso sistemático de evaluación que permite analizar el consumo real de energía de una edificación, identificar sus principales cargas eléctricas y detectar oportunidades de mejora en su desempeño energético. Este proceso incluye la recopilación de datos de consumo, la inspección de los sistemas eléctricos y de climatización, la medición de parámetros eléctricos y el análisis del comportamiento operativo del edificio. A partir de esta información se establecen indicadores energéticos y una línea base de consumo que permite comparar el rendimiento actual con posibles escenarios de mejora. De esta forma, la auditoría energética se convierte en una herramienta fundamental para proponer medidas de optimización que reduzcan el consumo, los costos operativos y el impacto ambiental de la edificación.

Diseño, Construcción y Ambientación para la Optimización Energética

En las secciones anteriores, se discutió sobre las estrategias que se deben aplicar en el diseño, construcción y ambientación de las edificaciones para que sean energéticamente eficientes. Acá se discutirá desde el enfoque de la Auditoría energética, es decir, los pasos que se deben seguir.

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 muestran en la siguiente figura.

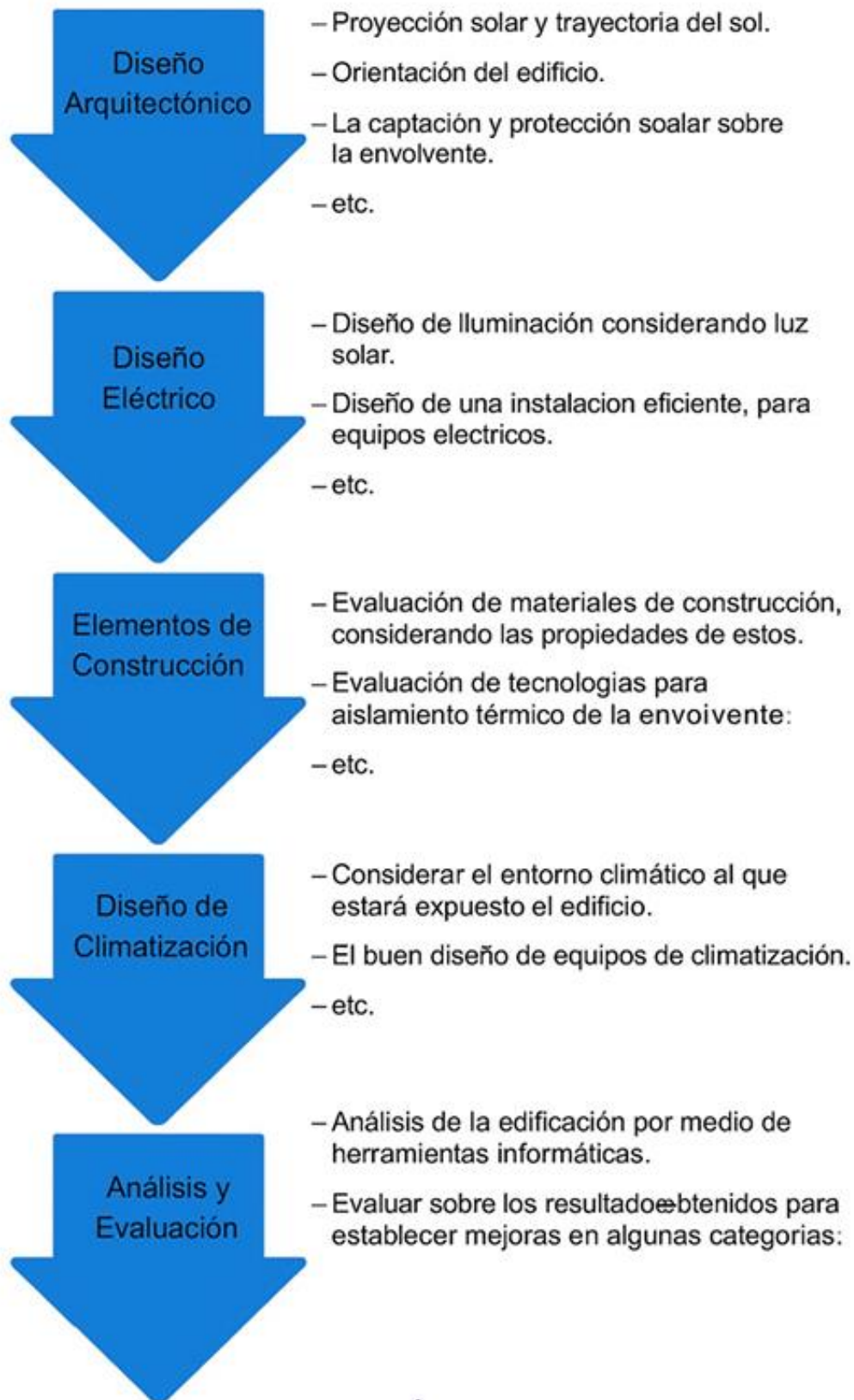


Figura 11 Proceso de análisis y evaluación de Eficiencia Energética en diseño de edificaciones. Obtenido de (Cueva Villafranco, 2024)

Se indica una secuencia a seguir. Primero se realiza el diseño arquitectónico y luego el diseño eléctrico. Ambos deben enfocarse en establecer la iluminación adecuada según la aplicación de cada área del edificio, evaluando la incidencia de luz natural.

En la siguiente etapa, se seleccionan los materiales para la construcción del edificio. Los encargados (Ingenieros civiles, maestros de obra, etc.) junto a los arquitectos y mecánicos, evaluarán las propiedades físicas de los materiales (como ladrillos, cemento, material y consistencia de las ventanas y puertas,) y seleccionar los adecuados. Además, se evaluarán tecnologías de aislamiento térmico para la envolvente del edificio, particularmente para paredes y ventanas.

En la etapa que continua, se realizar el dimensionamiento de los equipos de aire acondicionados para las diferentes áreas del edificio. Para lograr un diseño eficiente, 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.

Finalmente, se realiza el análisis y la evaluación del modelo arquitectónico del edificio. n esta etapa, todos los profesionales encargados de las etapas anteriores deben, en conjunto, evaluar el diseño del edificio mediante tecnologías y herramientas de análisis energético. Cabe aclarar, que hasta este momento no se ha iniciado el proceso de construcción del edificio. Según los resultados obtenidos tras el análisis, se determinará el comportamiento energético del edificio y se evaluará la factibilidad para iniciar el proceso de construcción. Cabe aclarar, que estos resultados son parciales en la medida en que el diseño y la construcción del edificio coincidan, de lo contrario, al poner en marcha el edificio los resultados obtenidos pueden no coincidir con los resultados esperados.

Evaluación de modelos energéticos (Económico y Técnico) (GIZ/MEN, 2019)

La evaluación de modelos energéticos es esencial para determinar la viabilidad técnica y económica de las estrategias de eficiencia energética y permite, a su vez, identificar oportunidades de ahorro, optimizar inversiones y garantizar la implementación efectiva de medidas de eficiencia.

Análisis Técnico de Consumo Energético

El análisis técnico se centra en la evaluación de equipos, sistemas y procesos dentro de la edificación, asegurando que cumplen con los estándares de eficiencia y operan con el menor consumo posible. Algunos factores clave en el análisis técnico son:

- Diagnóstico de consumo energético: Registro de patrones de uso y demanda de energía.
- Evaluación de sistemas eléctricos y térmicos: Comparación con normativas internacionales como ISO 50015, ASHRAE 90.1 e ISO 50006.
- Detección de pérdidas energéticas: Identificación de fugas térmicas, sobrecarga de equipos y consumo innecesario.
- Simulación y modelado energético: Uso de herramientas como EnergyPlus, DesignBuilder o RETScreen para prever mejoras.
- Evaluación de tecnologías eficientes: Comparación entre soluciones como iluminación LED, climatización eficiente o sistemas fotovoltaicos.

Así, un edificio con alto consumo en climatización podría ser analizado con herramientas de simulación para determinar el impacto de mejoras en aislamiento térmico, protección solar y ventilación natural, reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos de refrigeración.

Análisis Económico: Costos, Retorno de Inversión y Viabilidad Financiera

El análisis económico evalúa la rentabilidad de las medidas de eficiencia energética, considerando costos de inversión, ahorros potenciales y tiempos de recuperación. Los factores clave en el análisis económico son:

- Costo inicial de inversión: Presupuesto de implementación de mejoras energéticas.
- Costos operativos actuales vs. optimizados: Comparación de gastos antes y después de la aplicación de estrategias.
- Retorno de inversión (ROI): Evaluación del período en que la inversión se recupera mediante ahorros en consumo.
- Análisis de costos de ciclo de vida (LCCA): Proyección de costos y ahorros a largo plazo en mantenimiento y operación.
- Evaluación de incentivos y financiamiento: Aplicación de subsidios, créditos verdes y programas gubernamentales.

Integración del análisis técnico y económico en la toma de decisiones

Para garantizar una plan efectivo y factible, los modelos técnico y económico deben estar integrados en la planificación energética. Algunas estrategias incluyen:

- Optimización progresiva: Aplicar mejoras en etapas según prioridad y rentabilidad.
- Evaluación dinámica de costos: Incorporar fluctuaciones del mercado y tarifas eléctricas para ajustar estrategias.
- Monitoreo constante: Implementar sistemas de medición y seguimiento para validar resultados y optimizar consumo.
- Uso de indicadores clave (KPIs): Medir variables como eficiencia térmica, consumo por metro cuadrado y reducción de costos.

Así, un edificio podría priorizar primero la mejora del aislamiento térmico, luego optimizar la iluminación, y finalmente integrar energías renovables, asegurando un retorno progresivo de la inversión. La combinación de análisis detallados, simulación energética y evaluación de financiamiento asegura la viabilidad de las estrategias implementadas.

Implementación y Seguimiento de Medidas de Eficiencia Energética

Una auditoría energética no termina con el análisis. Para que genere impacto real, debe incluir un plan de implementación y seguimiento posteriores al estudio:

- Estrategias de implementación:
 - Mejoras en iluminación, climatización y gestión de cargas eléctricas.
 - Uso de sistemas inteligentes para monitoreo y control energético.
 - Integración de energías renovables para reducción de costos energéticos.
- Seguimiento y monitoreo:
 - Medición continua de resultados y ajustes de estrategias.
 - Reportes periódicos con comparativas de consumo y ahorros.
 - Mantenimiento y actualización de protocolos de eficiencia energética.

Normativas y estándares internacionales

Norma ISO 50015: Medición y Verificación del Desempeño Energético

Esta norma surge ante la necesidad de contar con un estándar que permita la medición confiable del desempeño energético, especialmente cuando se implementan proyectos o medidas de eficiencia. La adopción de esta norma facilita evaluar la efectividad de acciones de ahorro energético y lograr una verificación precisa de los resultados obtenidos en auditorías. El objetivo de esta norma es proveer directrices que aseguren la consistencia en la medición y verificación del rendimiento energético. Se aplica o emplea para determinar la eficacia de los proyectos energéticos, cuantificar

los ahorros y validar que los cambios en el consumo se deben a las medidas implementadas.



Figura 12 Diagrama de bloque. Obtenido de ISO 500015

Requerimientos

- Definir claramente el alcance y los límites de la medición.
- Establecer la línea base energética (EnB) antes de la implementación de mejoras.
- Utilizar métodos de medición consistentes y documentados.
- Aplicar procedimientos estadísticos y/o metodológicos para el cálculo y verificación de ahorros.

Beneficios

- **Confiabledad:** Asegura que los ahorros energéticos estimados sean verificables y reproducibles.
- **Toma de Decisiones:** Facilita la comparación entre la situación base y el nuevo escenario tras la implementación de mejoras.
- **Transparencia:** Proporciona un marco claro para auditar y reportar resultados, útil para certificaciones y financiamiento de proyectos.

Norma ISO 50006: Evaluación del Desempeño Energético

Esta Norma se desarrollada para suplir la necesidad de contar con indicadores estandarizados que permitan evaluar el desempeño energético de instalaciones y equipos. Ella facilita el monitoreo y la comparación en el tiempo, promoviendo una cultura de mejora continua en el consumo energético.

Es una guía para la creación y uso de indicadores de desempeño energético y el establecimiento de líneas de base. Se utiliza en conjunto con auditorías energéticas

para cuantificar mejoras y establecer metas de eficiencia energética basadas en datos reales.



Figura 13 Diagrama de bloques. Obtenido de ISO 50006

Requerimientos

- Disponer de datos históricos y actuales de consumo energético.
- Definir y establecer indicadores (EnPI) que sean relevantes para la organización.
- Realizar revisiones periódicas y ajustes en función de los resultados obtenidos.

Beneficios

- Benchmarking Interno: Permite comparar el rendimiento energético a lo largo del tiempo.
- Mejora Continua: Facilita la identificación de áreas de mejora y la optimización de recursos.
- Objetividad: Brinda un marco cuantitativo para evaluar el impacto de las medidas implementadas.

Norma ISO 50002: Auditorías Energéticas

Esta norma se desarrolló para estandarizar la realización de auditorías energéticas, identificando oportunidades de ahorro y estableciendo un proceso sistemático en las organizaciones. Su motivación está en proporcionar lineamientos claros que aseguren la consistencia y calidad en los diagnósticos energéticos.

El objetivo es establecer un marco metodológico para la realización de auditorías energéticas en cualquier tipo de organización. Su aplicación va dirigida a auditores

energéticos y gestores que deben identificar ineficiencias, proponer mejoras y estimar los beneficios de las intervenciones.



Figura 14 Diagrama de bloques. Obtenido ISO 50002

Requerimientos

- Definir claramente el alcance y los objetivos de la auditoría.
- Recopilar datos precisos y actuales del consumo energético.
- Aplicar métodos de análisis que permitan identificar las principales fuentes de ineficiencia.
- Proponer soluciones viables y comparar sus costos/beneficios.

Beneficios

- Diagnóstico Integral: Permite conocer detalladamente el consumo energético y sus desviaciones.
- Información Estratégica: Facilita la toma de decisiones basada en datos reales y estimaciones de ahorro.
- Justificación de Inversiones: Ayuda a determinar el retorno de inversión de las medidas correctivas.

Norma ISO 50001: Gestión Energética

Esta norma fue implantada para proporcionar un sistema de gestión que permita a organizaciones llevar a cabo mejoras continuas en su desempeño energético. Es decir, que responde a la creciente demanda de eficiencia, reduciendo el consumo energético y los costos operativos a través de un enfoque sistemático.

El 15 de junio de 2011, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) lanzó de manera oficial el estándar sobre sistemas de gestión de la energía, la ISO 50001 Energy Management Systems. La propuesta busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para la mejora del desempeño energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo de la energía. Su objetivo es establecer un marco basado en el ciclo PDCA (por sus siglas en inglés) para la gestión energética, es decir:



Figura 15 Ciclo PDCA. Obtenido de ISO 50001

La aplicación se utiliza para implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de energía en organizaciones de todos los tamaños.

Estructura

Al igual que otros estándares ISO, la norma de sistema de gestión de la energía se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (por sus iniciales en inglés: Plan, Do, Check, Act. Su equivalente en español es: planificar, hacer, verificar, actuar).

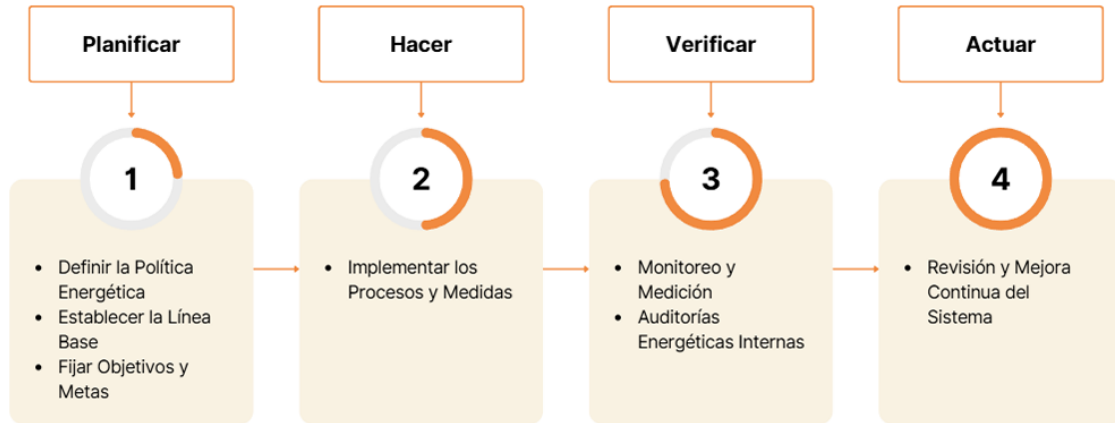


Figura 16 Diagrama estructural. Obtenido de la Norma ISO 50001

Requerimientos

- Establecer una política energética formal.
- Determinar la línea base del consumo energético.
- Definir objetivos, metas e indicadores de desempeño.
- Implementar y documentar procesos, procedimientos y controles.
- Realizar auditorías internas y revisiones periódicas para la mejora continua.

Beneficios

- Reducción de Costos: Mejora la eficiencia y reduce el consumo de energía.
- Sostenibilidad: Contribuye a la reducción de emisiones y al cumplimiento de normativas ambientales.
- Competitividad: Fortalece la imagen corporativa y la responsabilidad social de la organización.

Norma ISO 9001: Gestión de Calidad

Si bien no es una norma exclusiva del ámbito energético, ISO 9001 se utiliza ampliamente para asegurar la calidad y la mejora continua en procesos organizacionales, incluyendo la gestión energética. Garantiza que todos los procesos se realicen de forma estandarizada, eficiente y orientada a la satisfacción del cliente o usuario final.

El objetivo es establecer un sistema de gestión de calidad que asegure la eficacia y la mejora continua de la organización. Su aplicación se implementa para estructurar procesos internos y externos, facilitando la integración con otros sistemas de gestión como el de energía (ISO 50001).

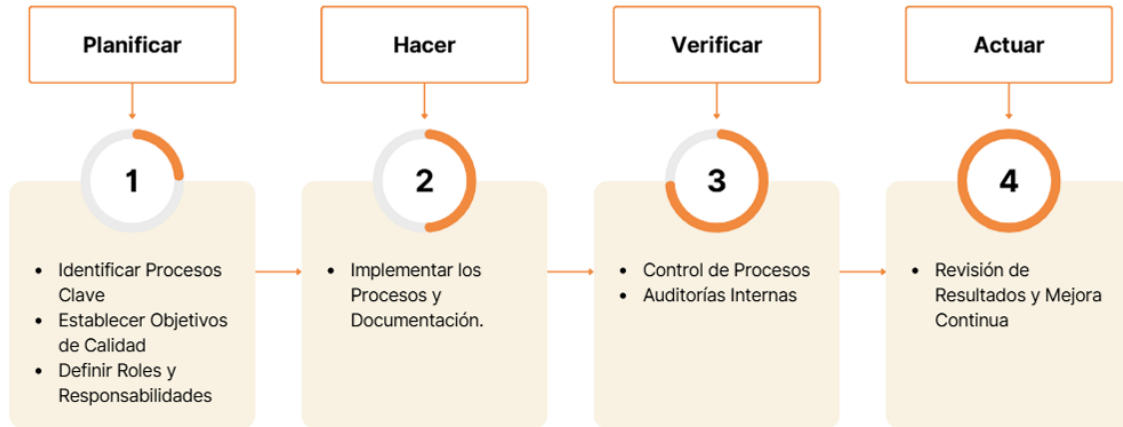


Figura 17 Diagrama de bloques. Obtenido de la Norma ISO 9001

Requerimientos

- Documentación de procesos y procedimientos.
- Establecimiento de objetivos y políticas de calidad.
- Realización de auditorías internas y análisis de la satisfacción del cliente.
- Enfoque en la mejora continua y la retroalimentación de los procesos.

Beneficios

- Estandarización: Asegura procesos consistentes y reproducibles.
- Mejora Continua: Facilita la identificación de áreas de mejora para optimizar la eficiencia.
- Integración: Permite la integración con otros sistemas de gestión (como ISO 50001) para alcanzar una mayor eficiencia global.

La aplicación de estas normativas en el estudio del consumo energético y la eficiencia de edificaciones brinda un marco estructurado y validado internacionalmente. Encontrarás que cada norma aporta herramientas específicas para medir, gestionar, auditar y mejorar el desempeño energético, lo que se traduce en beneficios económicos, operativos y ambientales para organizaciones y proyectos.

ASHRAE 55: Condiciones térmicas ambientales para la ocupación humana

Fue publicada por primera vez en 1966, porque surgió la necesidad de establecer criterios científicos para evaluar el confort térmico en espacios interiores. Se basa en investigaciones fisiológicas, modelos matemáticos (como PMV/PPD de Fanger) y estudios de percepción térmica. Sus objetivos son establecer condiciones ambientales aceptables para la ocupación humana en interiores y proporcionar métodos para evaluar el confort térmico mediante modelos analíticos (PMV/PPD) y modelos adaptativos. Es una normativa de referencia para certificaciones como LEED, WELL, BREEAM.

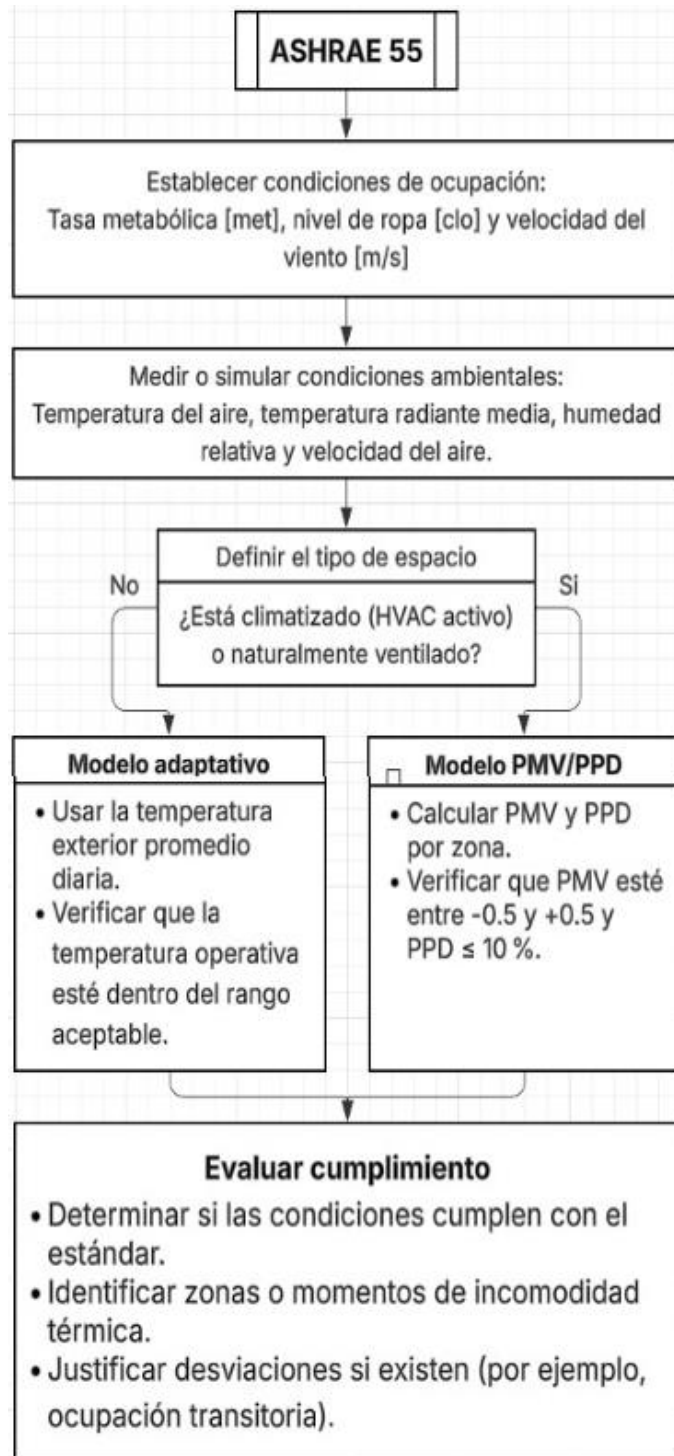


Figura 18 Flujograma de la aplicación. Obtenido de Norma ASHRAE 55

Su aplicación es para espacios climatizados y naturalmente ventilados como oficinas, viviendas, escuelas, hospitales, etc., y para el diseño y evaluación de sistemas HVAC, estrategias pasivas (ventilación, aislamiento, protección solar).

Requerimientos

- En instrumentación:
 - Termómetro de bulbo seco
 - Termómetro de globo negro (para MRT)
 - Anemómetro (velocidad del aire)
 - Higrómetro (humedad relativa)
 - Ficha de observación (actividad, ropa, ocupación)
- Condiciones mínimas
 - Medición en horarios críticos (ej. mediodía, tarde)
 - En caso de modelo adaptativo, registro de condiciones exteriores
- Datos personales
 - Actividad física observada
 - Tipo de vestimenta
 - Preferencias térmicas

Beneficios

- Mejora el bienestar y productividad de los ocupantes.
- Reduce riesgos de incomodidad térmica, enfermedades y quejas.
- Optimiza el diseño energético y la eficiencia de sistemas HVAC.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DE SIMULACIONES ENERGÉTICAS

La simulación es el proceso de representar el comportamiento de un sistema real a través de un modelo computacional. Mediante ecuaciones matemáticas y algoritmos, permite reproducir dinámicas físicas, térmicas y energéticas sin necesidad de construir prototipos físicos. En el ámbito de la ingeniería, facilita el análisis de múltiples escenarios al alterar variables de forma rápida y precisa, y así, prever el desempeño de sistemas complejos, optimizar parámetros de diseño y reducir riesgos antes de la construcción real.

¿Qué es la simulación energética de edificaciones?

La simulación térmica de edificaciones se centra en replicar el comportamiento del intercambio de calor entre el interior de un edificio, su envolvente y las condiciones climáticas externas. Para ello, el modelo considera parámetros como la transmitancia térmica de muros, ventanas y cubiertas, la inercia térmica de los materiales y las cargas internas generadas por ocupantes, equipos e iluminación. El resultado es una curva de temperatura interior, perfiles de carga térmica y demanda de refrigeración o calefacción, que permiten valorar la eficiencia energética de distintas soluciones constructivas y estrategias de control.

Objetivos de la simulación energética

Gran parte de la energía en un edificio se destina a mantener condiciones térmicas confortables e iluminar sus espacios. Al construir un modelo térmico computacional, es posible cuantificar con precisión las cargas térmicas y proyectar la demanda de climatización a lo largo de ciclos diarios y estacionales.

Este modelado sirve para dimensionar con exactitud equipos como aires acondicionados. En este segundo paso se evalúan las propiedades de la envolvente, los perfiles de ocupación y uso de cada espacio, así como los patrones de funcionamiento de iluminación y equipamiento eléctrico.

La simulación como herramienta de ahorro energético

La simulación permite evaluar múltiples alternativas de diseño y operación sin necesidad de prototipos físicos. Al variar parámetros —como materiales, orientación, sistemas de sombreado o estrategias de ventilación— se cuantifica el impacto de cada medida sobre el consumo energético.

Gracias a este enfoque virtual, es posible detectar puntos de ineficiencia antes de la construcción, evitando sobredimensionamientos de equipos y sistemas que conlleven costes de inversión y operación innecesarios. Asimismo, la simulación facilita el cumplimiento de metas de desempeño energético establecidas en normas como ISO 50001 e ISO 50006, al generar indicadores de línea de base y mejoras proyectadas.

- Evaluación rápida de escenarios para comparar soluciones pasivas (aislamientos, inercia, ventilación) y activas (HVAC, iluminación).
- Dimensionamiento óptimo de equipos: se ajusta la capacidad exacta de climatización y ventilación a las necesidades.
- Identificación de horarios pico y cargas térmicas críticas, lo que permite diseñar estrategias de control y programación más eficientes.

Indicadores de desempeño energético (EnPI) y su relación con ISO 50006

El propósito de la ISO 50006 es guiar a las organizaciones en el establecimiento, uso y mantenimiento de indicadores de desempeño energético (EnPI) y líneas base energéticas (EnB). Los EnPI (Energy Performance Indicators) son métricas cuantitativas que permiten medir el rendimiento energético de procesos, equipos o instalaciones y comparar el consumo energético en distintos periodos o condiciones. Por ejemplo, tenemos:

Tabla 4 Indicadores energéticos. Obtenido de ISO 50006

Indicador	Aplicación
kWh/m ²	Consumo energético por área construida
kWh/tonelada producida	Eficiencia energética en procesos industriales
kWh/ocupante	Eficiencia en edificios administrativos
COP (Coeficiente de rendimiento)	Eficiencia de sistemas HVAC

Herramientas de simulación energética

La simulación computacional produce resultados detallados sobre la demanda térmica y el consumo energético de un edificio. Estos datos permiten evaluar el desempeño real en diferentes condiciones climáticas y de uso, dando dirección la toma de decisiones en el diseño y la operación. Algunos tipos de análisis más comunes, son:

- Cálculo de carga térmica de calefacción y refrigeración. Determina la potencia requerida en cada instante para mantener confort interior, en función de las ganancias y pérdidas de calor.
- Perfil horario de demanda y consumo. Genera curvas de carga y consumo eléctrico a lo largo de 24 horas y de todo el año, facilitando la identificación de picos y horas valle.
- Índice de Uso de Energía (EUI). Mide el consumo energético anual por unidad de área construida ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{año}$), sirviendo como punto de referencia de eficiencia.
- Balance energético de la envolvente. Cuantifica las pérdidas y ganancias térmicas a través de muros, ventanas, cubiertas y suelo.
- Evaluación de estrategias pasivas y activas. Compara escenarios hipotéticos con distintas soluciones de aislamiento, ventilación natural, sistemas HVAC, etcétera.
- Análisis de huella de carbono operativa. Convierte el consumo energético en emisiones de CO_2 , útil para objetivos de sostenibilidad.

Principales programas utilizados en la industria

A continuación, se presentan las herramientas más utilizadas para la simulación energética de edificios, con sus características distintivas y enfoques de modelado.

- **EnergyPlus.** Motor de cálculo desarrollado por el Departamento de Energía de EEUU, ofrece un modelado muy detallado de procesos térmicos y de flujo de aire, pero exige configurar parámetros a nivel de texto (IDF).
- **DesignBuilder.** Interfaz gráfica para EnergyPlus que simplifica la creación de geometrías, zonas y sistemas HVAC. Combina un entorno visual con la potencia de cálculo de EnergyPlus.
- **eQUEST.** Basado en el motor DOE-2, destaca por su asistente “Quick Design” que guía paso a paso la creación de un modelo inicial, aunque su curva de aprendizaje puede ser prolongada para usuarios sin experiencia.
- **IES VE.** Plataforma comercial integral que incluye módulos para energía, CFD, iluminación y análisis de ciclo de vida. Ofrece entornos visuales avanzados, pero con licenciamiento costoso.
- **OpenStudio.** Conjunto de librerías y componentes de código abierto para EnergyPlus y Radiance. Ideal para integrarse en flujos de trabajo basados en scripting (Ruby, Python) y personalizar análisis.

Tabla 5 Tabla comparativa de características de los softwares de EE. Fuente: Elaboración propia a partir de información generada por Copilot, 2025.

Software	Interfaz	Motor de cálculo	Curva de aprendizaje	Plataforma	Licencia
EnergyPlus	Texto (IDF)	Propio (DOE-2 successor)	Alta	Windows, Linux, macOS	Gratuito
DesignBuilder	Gráfica (GUI)	EnergyPlus	Media	Windows	Comercial
eQUEST	Gráfica (GUI)	DOE-2	Media–Alta	Windows	Gratuito
IES VE	Gráfica avanzada	Propio	Media	Windows	Comercial
OpenStudio	Texto + GUI	EnergyPlus, Radiance	Alta (scripting)	Windows, Linux, macOS	Gratuito (open source)

Programas utilizados en esta investigación

En el análisis del CUBO se emplearán cuatro herramientas complementarias:

Tabla 6 Software que se utilizarán en la simulación. Fuente: Elaboración propia a partir de información generada por Copilot, 2025.

Programa	Versión	Función principal
SketchUp	2023	Modelado 3D de la geometría y zonificación inicial del edificio.
OpenStudio Application	3.6.0	Enlace paramétrico entre SketchUp y EnergyPlus; gestión de archivos de simulación (.osm, .idf).
EnergyPlus	23.1.0	Motor de cálculo de primer principio para simulación térmica y energética horaria.
DesignBuilder ResultViewer	Última	Visualización avanzada de resultados: gráficas, mapas térmicos, informes de consumo.

Cada uno con los siguientes objetivos:

- **SketchUp 2023** servirá para definir con precisión muros, cubiertas, ventanas y espacios interiores, estableciendo así la base geométrica del modelo.
- **OpenStudio 3.6.0** importará la geometría de SketchUp y añadirá datos de construcción, ocupación y sistemas HVAC. Su interfaz facilita la generación de archivos compatibles con EnergyPlus.
- **EnergyPlus 23.1.0** ejecutará la simulación horaria, calculando cargas térmicas, perfiles de consumo y flujos energéticos, siguiendo los estándares de la ISO 50006 para los indicadores de desempeño.
- **DesignBuilder ResultViewer** permitirá revisar los resultados de manera gráfica e interactiva, apoyando la interpretación de curvas de temperatura, consumo y misiones, y exportar reportes automatizados en formatos PDF y Excel.

Entorno de trabajo y configuración técnica

Ahora describimos cómo obtener e instalar cada uno de estos programas en Windows 10, incluyendo requisitos de sistema y configuración inicial.

SketchUp 2023: Modelado geométrico

El software SketchUp 2023 ya lo teníamos instalado en nuestros equipos antes de iniciar la investigación. A la fecha en que se realiza este estudio, no se encuentra disponible la versión 2023, sin embargo, en su página oficial se puede encontrar las versiones más recientes. (SketchUp Help, 2025)

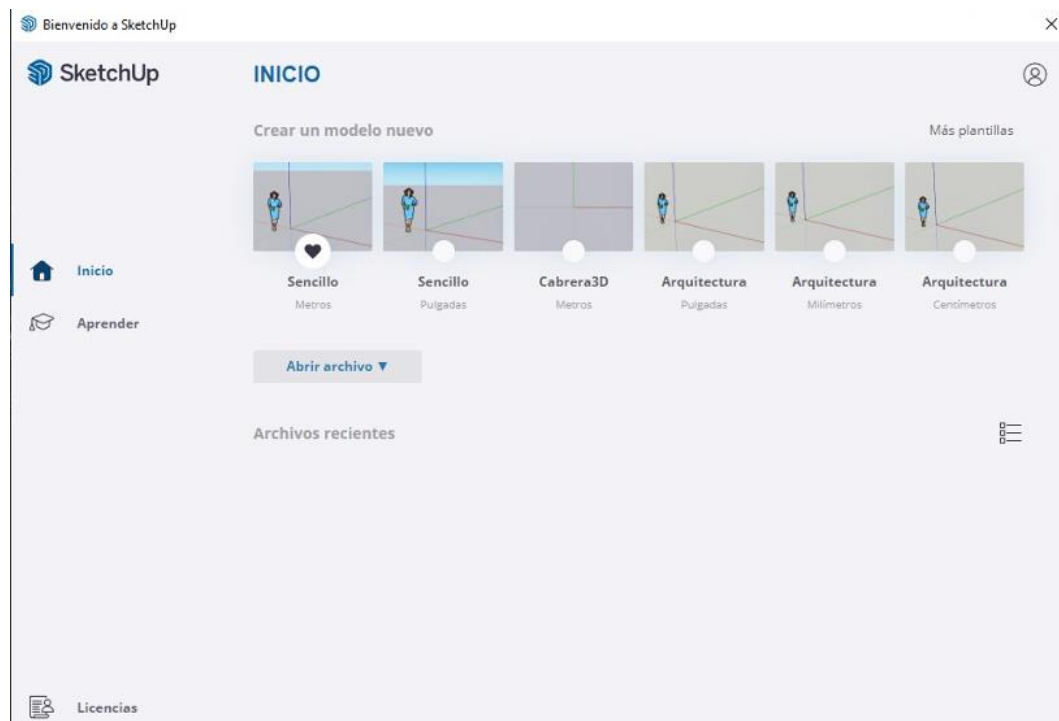


Figura 19 Entorno de bienvenido. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023

Procedemos a crear un modelo nuevo sencillo que está en SI. La geometría que se dibuja en SketchUp y que es exportable en OpenStudio no es con las herramientas del software, sino con plug-ins que permite dibujar la geometría desde las propias características de OpenStudio. Este plug-ins puede ser descargado desde la página de OpenStudio (OpenStudio Coalition, 2025).

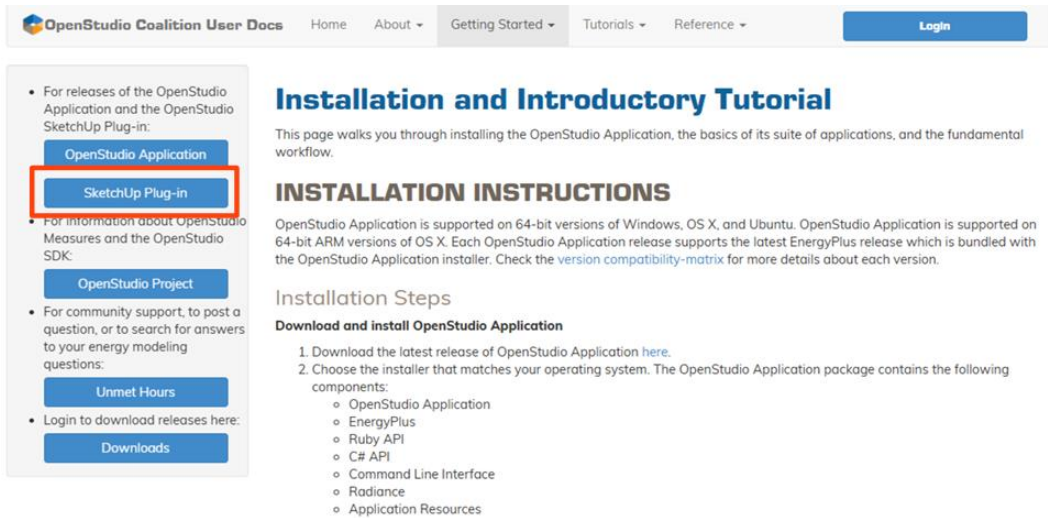


Figura 20 Página de OpenStudio para descargar plugins de SketchUp 2023. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor, 2025

Ahí nos redireccionará hacia GitHub donde podremos descargar la extensión, instalarla en SketchUp y activarla.

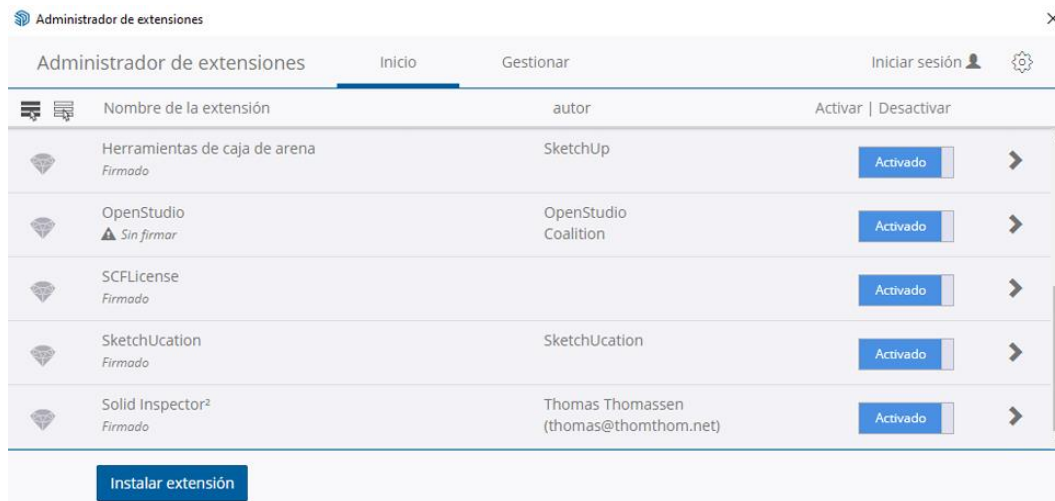


Figura 21 Administrador de extensiones de SketchUp con la extensión de OpenStudio activada. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023

En la barra de herramientas OpenStudio Tools está en la segunda fila:



Figura 22 Barra de herramientas de SketchUp con las herramientas de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023

Contiene las herramientas relacionadas con opciones de gestión de ficheros OpenStudio (.osm), modelado e información de objetos. Siguiendo un orden de izquierda a derecha, se explicará brevemente cada uno de las opciones:

1. New OpenStudio model: Crea un nuevo modelo de OpenStudio en un archivo .osm.
2. Open OpenStudio model: Abre un modelo de OpenStudio existente.
3. Save OpenStudio model: Guarda el modelo de OpenStudio como un archivo OpenStudio que tendrá la extensión .osm. Si guardamos el modelo SketchUp tendrá una extensión .skp. El contenido energético del modelo se guarda en el archivo .osm y el archivo .skp guardará la geometría de la edificación.
4. Save OpenStudio model as: Guarda el modelo como un nuevo archivo .osm.
5. Import EnergyPlus idf: Importa un archivo idf para EnergyPlus con la extensión .idf.
6. Export EnergyPlus idf: Exporta un archivo .idf de EnergyPlus.

OpenStudio Application: Configuración energética

Este software libre se descarga desde su página oficial como se muestra en la Figura 21. El entorno principal de OpenStudio es el que se muestra en la siguiente imagen. A la izquierda se observa la pestaña de navegación. (OpenStudio Manual, 2025)

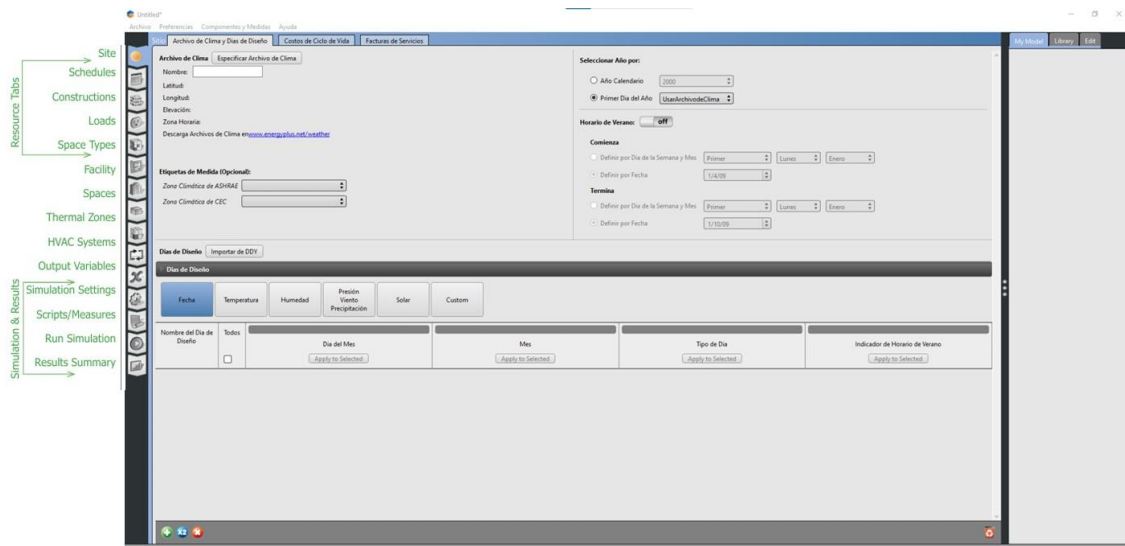


Figura 23 Entorno principal de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023

EnergyPlus: Motor de simulación

EnergyPlus es un programa avanzado de simulación energética desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Su propósito principal es modelar el comportamiento térmico de edificaciones y sus sistemas asociados de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), permitiendo evaluar el desempeño energético bajo condiciones reales y simuladas.

Se integra con interfaces gráficas como SketchUp y OpenStudio, facilitando la descripción geométrica del edificio y la configuración de sus sistemas. EnergyPlus tiene sus raíces en los programas BLAST y DOE-2, desarrollados en respuesta a la crisis energética de los años 70, y ha evolucionado como una herramienta clave para ingenieros y arquitectos en el diseño eficiente de edificaciones. Sus características principales son:

- Simulación simultánea de condiciones térmicas y sistemas HVAC.
- Importación de archivos meteorológicos específicos de la zona de estudio.
- Archivos de entrada/salida en formato ASCII, facilitando la trazabilidad.
- Modelado de transferencia de calor en muros, techos y pisos.
- Simulación de movimiento de aire entre zonas mediante modelos de masa y calor.
- Modelos de confort térmico basados en actividad, temperatura, humedad relativa, etc.
- Configuración flexible de sistemas HVAC, tanto convencionales como radiantes.

En este estudio, EnergyPlus se emplea como motor de simulación para evaluar las cargas térmicas, el consumo energético y el comportamiento dinámico del edificio CUBO en El Tamarindo. A través de OpenStudio, se configura la geometría, los materiales de envolvente, las cargas internas y los sistemas HVAC, permitiendo validar escenarios de eficiencia energética y proponer estrategias de mejora.

Puede ser descargado a través de su página oficial (U. S. Department of Energy, 2025) en Download se encuentra la versión más reciente compatible con el equipo (Windows en nuestro caso). Para este estudio se descargó la versión 25.1.0, que es compatible con las versiones de SketchUp y OpenStudio instaladas.

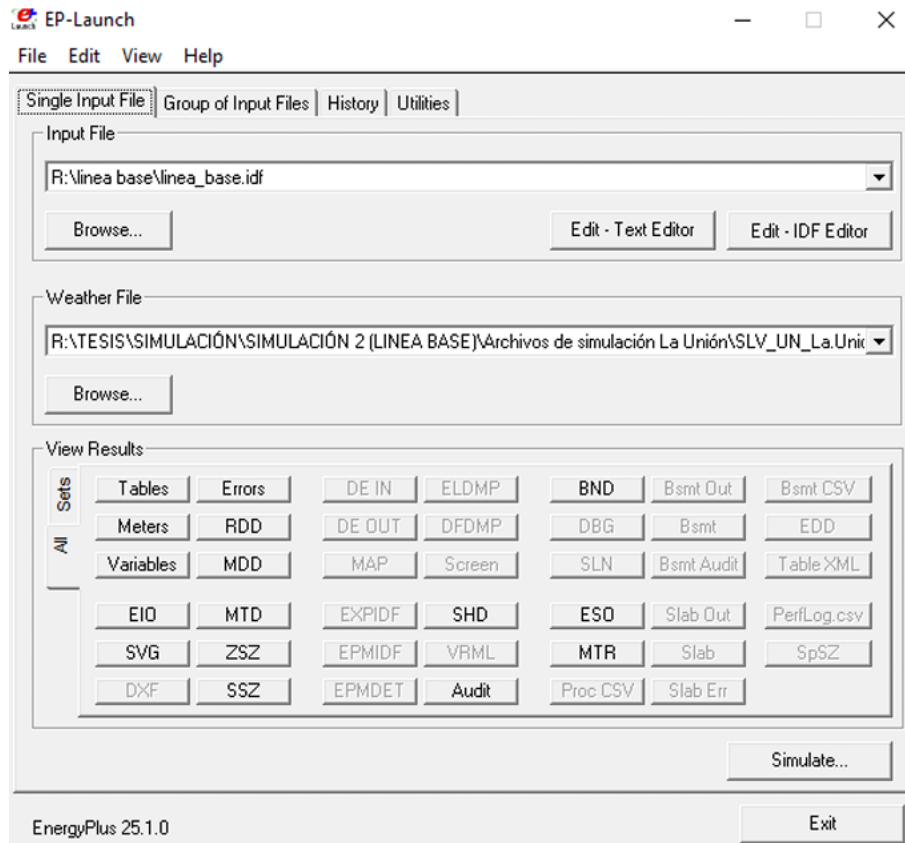


Figura 24 Entorno principal. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software EnergyPlus.

Además, en la página oficial de EnergyPlus, en el apartado de Weather, seleccionamos los datos meteorológicos para nuestra zona de análisis. Seleccionamos la región «North and Central América», luego «SLV-El Salvador» y descargamos el o los archivos necesarios para el análisis. Como la ubicación de El Tamarindo es costera, el archivo más cercano es Acajutla por tanto descargamos ese: (EnergyPlus, 2025).

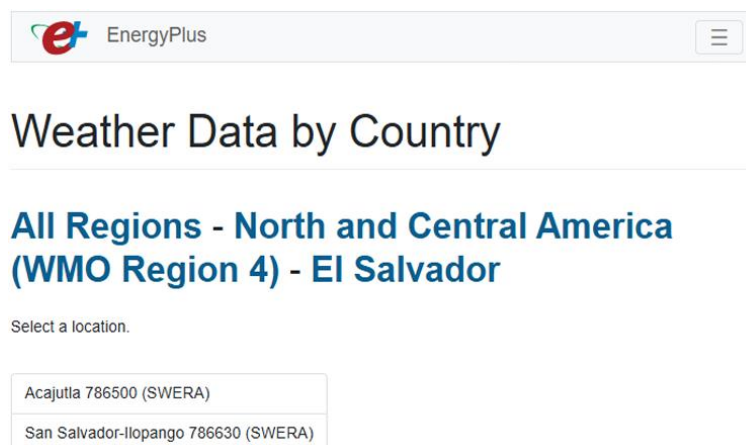


Figura 25 Descargar los archivos climáticos «Weather». Nota: Captura de pantalla realizada por el autor

Sin embargo, al tratar de simular con esos archivos nos muestra error

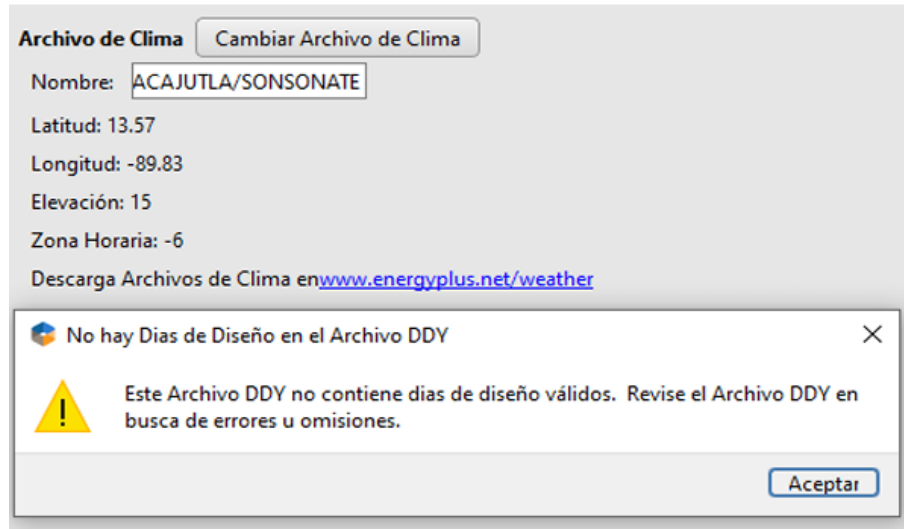


Figura 26 Ventana de error mostrado en OpenStudio al ingresar los archivos climáticos de Acajutla. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor

Para solucionar, encontramos (Climate.OneBuilding.Org, 2022)¹ que contiene datos de más lugares en El Salvador. Descargamos el de la ciudad de La Unión:

Navigation					
<parent>	<home>				
Details (List Below)					
SLV_CH_Comalapa-El.Salvador.Intl.AP.786660_TMYx.2004-2018.zip	350 K	SLV_SM_San.Miguel-El.Papalon.AP.786700_TMYx.2007-2021.zip	424 K	SLV_SS_San.Salvador-Ilopango.Intl.AP.786630_TMYx.2009-2023.zip	416 K
SLV_CH_Comalapa-El.Salvador.Intl.AP.786660_TMYx.2007-2021.zip	354 K	SLV_SM_San.Miguel-El.Papalon.AP.786700_TMYx.2009-2023.zip	424 K	SLV_SS_San.Salvador-Ilopango.Intl.AP.786630_TMYx.zip	423 K
SLV_CH_Comalapa-El.Salvador.Intl.AP.786660_TMYx.2009-2023.zip	356 K	SLV_SM_San.Miguel-El.Papalon.AP.786700_TMYx.zip	425 K	SLV_SS_Univ.San.Salvador.786620_TMYx.2007-2021.zip	442 K
SLV_CH_Comalapa-El.Salvador.Intl.AP.786660_TMYx.zip	408 K	SLV_SO_Acajutla.786500_TMYx.2004-2018.zip	387 K	SLV_SS_Univ.San.Salvador.786620_TMYx.2009-2023.zip	445 K
SLV_SA_Santa.Ana-El.Palmar.Station.786550_TMYx.2004-2018.zip	398 K	SLV_SO_Acajutla.786500_TMYx.2007-2021.zip	413 K	SLV_SS_Univ.San.Salvador.786620_TMYx.zip	440 K
SLV_SA_Santa.Ana-El.Palmar.Station.786550_TMYx.2007-2021.zip	419 K	SLV_SO_Acajutla.786500_TMYx.2009-2023.zip	413 K	SLV_UN_La.Union.786720_TMYx.2007-2021.zip	421 K
SLV_SA_Santa.Ana-El.Palmar.Station.786550_TMYx.2009-2023.zip	418 K	SLV_SO_Acajutla.786500_TMYx.zip	416 K	SLV_UN_La.Union.786720_TMYx.2009-2023.zip	420 K
SLV_SA_Santa.Ana-El.Palmar.Station.786550_TMYx.zip	418 K	SLV_SS_San.Salvador-Ilopango.Intl.AP.786630_TMYx.2004-2018.zip	375 K	SLV_UN_La.Union.786720_TMYx.zip	424 K
SLV_SM_San.Miguel-El.Papalon.AP.786700_TMYx.2004-2018.zip	404 K	SLV_SS_San.Salvador-Ilopango.Intl.AP.786630_TMYx.2007-2021.zip	416 K		

Figura 27 Archivos climáticos de diferentes zonas en El Salvador. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor

Analizador de potencia PCE-PC 8000

Permite medir y registrar la potencia de un circuito monofásico o trifásico. Para medir la potencia eléctrica del edificio de estudio, la configuración del equipo fue «Medición 1Φ3A (monofásico - tres alambres)» según el manual oficial del equipo. (PCE Ibérica). Las instrucciones para la conexión correcta son:

¹ Es un proyecto colaborativo que ofrece archivos climáticos gratuitos y de alta calidad para simulaciones energéticas de edificios. Estos archivos incluyen datos como temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento, entre otros, en formatos compatibles con EnergyPlus (EPW) y otros motores de simulación. El sitio es mantenido por un equipo de expertos liderado por Drury Crawley (uno de los principales desarrolladores de EnergyPlus mientras trabajaba en el Departamento de Energía de EE.UU.) y Linda Lawrie (participó en el desarrollo de BLAST y DOE-2, los predecesores de EnergyPlus).

1. Use la tecla POWER para encender el instrumento y enseguida presione la tecla 1Φ 3Φ para seleccionar 1Φ 3A, el nombre del sistema seleccionado se exhibe abajo del lado izquierdo de la pantalla 2.
2. Conecte la línea de voltaje L1, L2 y Vn (neutro) a las terminales V1, V2 y N del instrumento
3. Conecte las dos (2) pinzas (A1 y A2) a los conductores (A1) y (A2)
4. Conecte la pinza 1 y pinza 2 (A1 y A2) a las terminales A1 y A2 del instrumento
5. Los factores de medición relacionados se exhibirán en la pantalla.
6. Las definiciones de las mediciones se encuentran en el Apéndice 1 (5- 11)

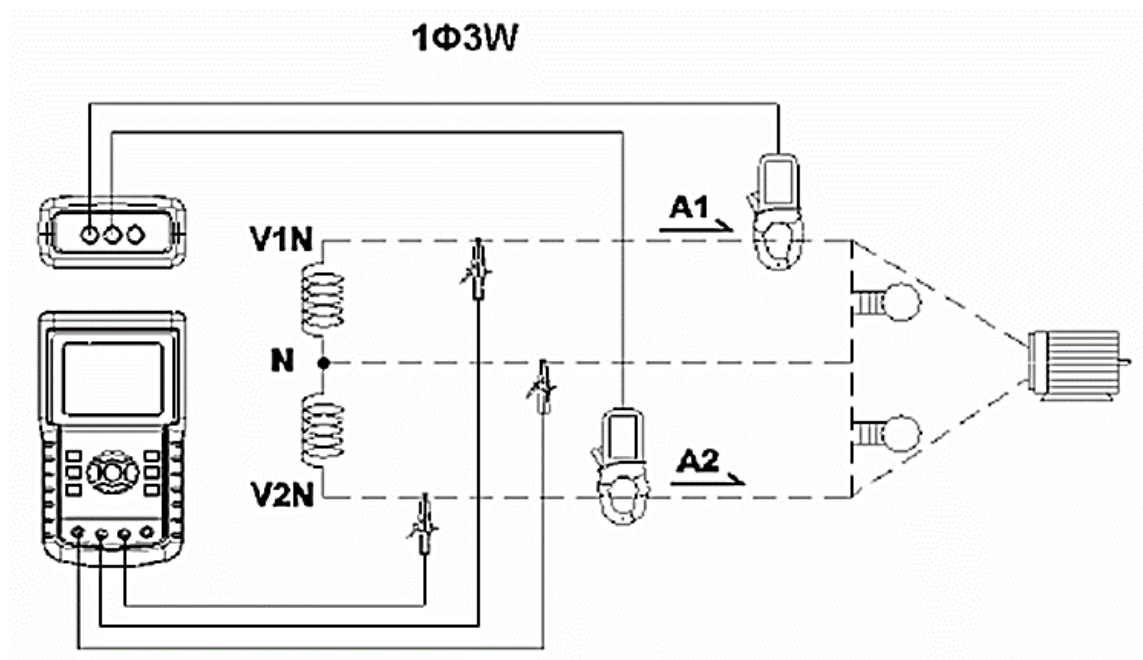


Figura 28 Diagrama eléctrico para la conexión de medición 1Φ3A. Fuente PCE-PC8000

La conexión del analizador de potencia en el tablero principal de El CUBO se observa a continuación:



Figura 29 Analizador de potencia PCE-PA 8000 conectado al tablero principal. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL EDIFICIO

Este capítulo presenta el levantamiento arquitectónico, la inspección física, la descripción de las instalaciones eléctricas y la recopilación de datos operativos y energéticos, incluyendo mediciones en sitio y análisis del historial de consumo. A partir de esta información se establece la línea base energética, que permite comprender el comportamiento real del inmueble y sustentar el modelado digital y las estrategias de mejora. Esta caracterización integra aspectos constructivos, funcionales y eléctricos, proporcionando una visión integral del estado actual del edificio.

A través de una reunión virtual, logramos los permisos para hacer las mediciones (físicas y eléctricas) que consideráramos necesarias, tener acceso a las áreas técnicas del edificio y tomar documentarlo. Sin embargo, no fue posible obtener los planos arquitectónicos, facturas de consumo eléctrico, fichas técnicas de equipos y horarios de uso.

Descripción de la Organización

La investigación se llevó a cabo en el edificio CUBO El Tamarindo, situado sobre la carretera principal de El Tamarindo, en el Distrito de Conchagua, Municipio de La Unión Sur, Departamento de La Unión, El Salvador. Esta ubicación se encuentra en la región costera oriental del país, específicamente en el entorno del Golfo de Fonseca, lo que influye en las condiciones climáticas locales relevantes para el análisis energético del edificio (cubo.gob.sv, 2025).



Figura 30 CUBO El Tamarindo dibujado en SketchUp. «Fuente: elaboración del autor»

El CUBO El Tamarindo es un Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades dedicado a brindar espacios educativos, recreativos y tecnológicos para jóvenes y comunidades vulnerables. Su propósito es fomentar el desarrollo social, la inclusión y la prevención de violencia. El proyecto forma parte de una iniciativa del gobierno salvadoreño para recuperar espacios públicos en zonas afectadas por violencia y exclusión social. En el caso de El Tamarindo, el CUBO busca:

- Reactivar el tejido social
- Ofrecer oportunidades educativas y recreativas
- Reducir la vulnerabilidad de la juventud
- Impulsar el turismo y la economía local

Levantamiento arquitectónico

A través de Google Maps, se determinó que el eje longitudinal principal del edificio presenta una desviación aproximada de 10° en sentido horario respecto al norte geográfico.



Figura 31 Orientación del edificio CUBO El Tamarindo. Fuente: Google Earth. Coordenadas: (13.186012876689835, -87.9177344748232)

Se realizó un recorrido técnico para verificar dimensiones, materiales, orientación, ubicación de aperturas (puertas y ventanas) y estado de equipos. A partir de las mediciones obtenidas, se elaboraron los planos arquitectónicos correspondientes a los dos niveles del edificio, los cuales se presentan en la siguiente figura.

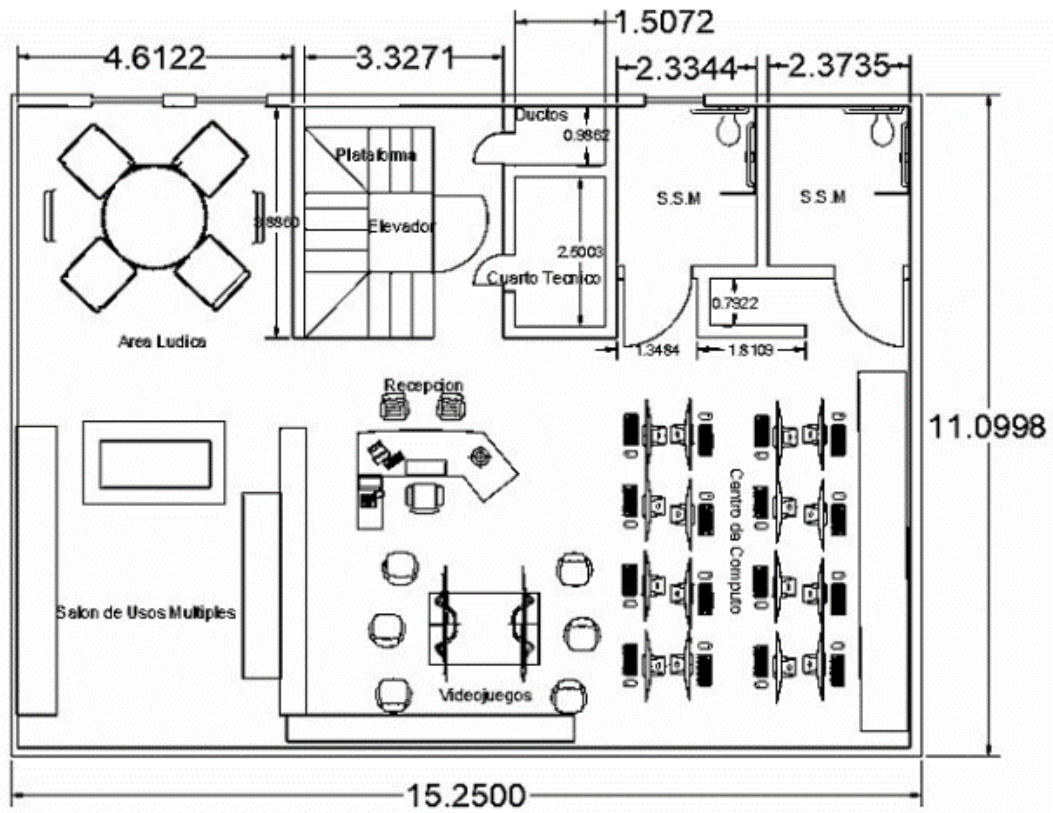
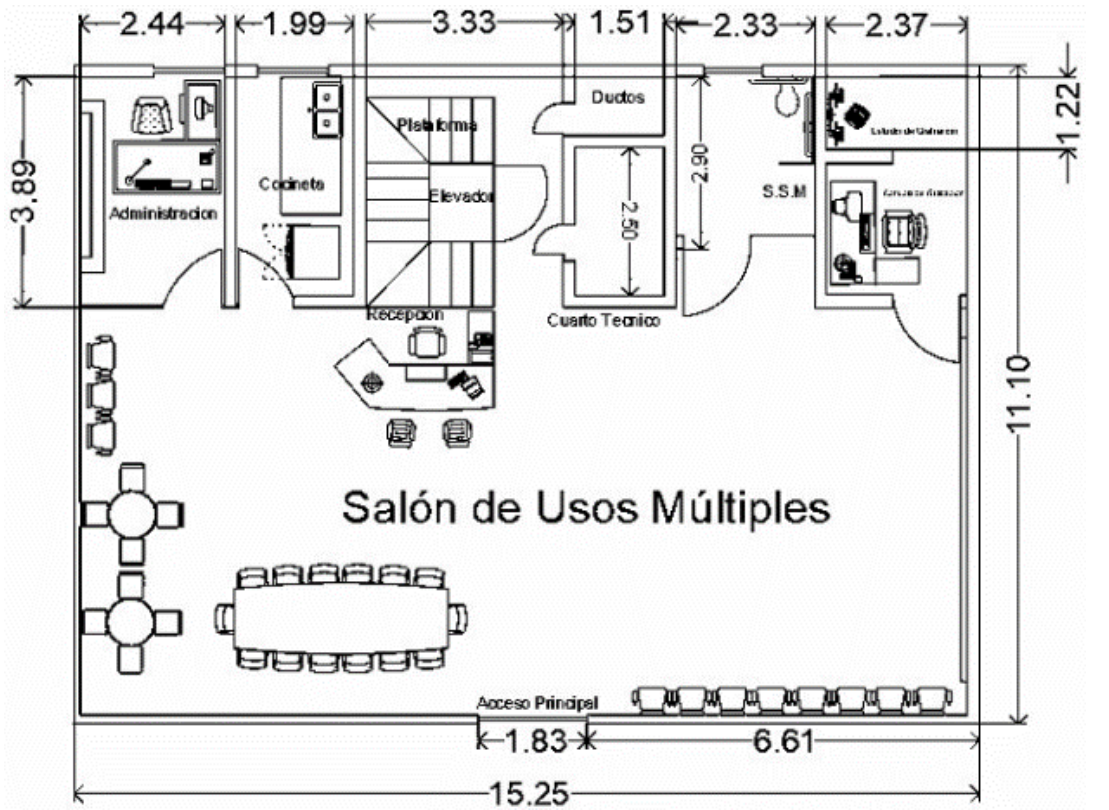


Figura 32 Plano arquitectónico del edificio CUBO El Tamarindo. Nota: Elaboración del autor en AutoCAD

Entre las áreas principales del edificio en el nivel uno, tenemos:



Figura 33 Salón principal. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

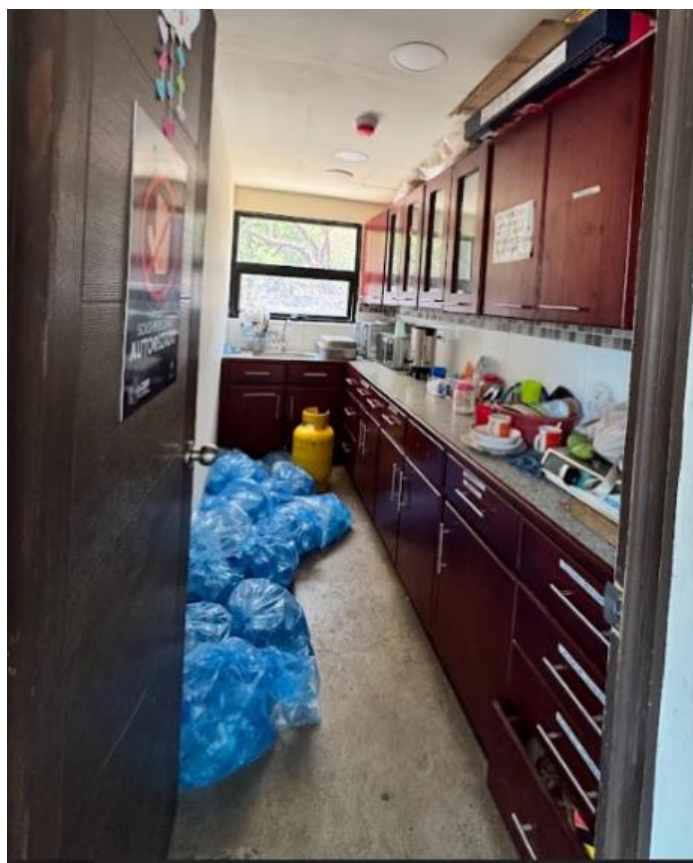


Figura 34 Cocineta. . Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

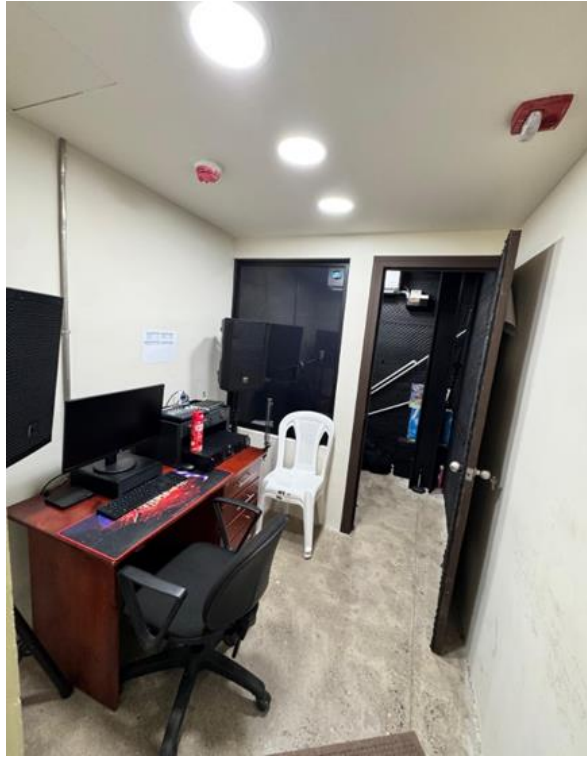


Figura 35 Estudio de grabación. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Además de oficina y baños. Entre las áreas del edificio del segundo nivel se encuentran:



Figura 36 Área de computadoras y videojuegos. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).



Figura 37 Biblioteca infantil. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

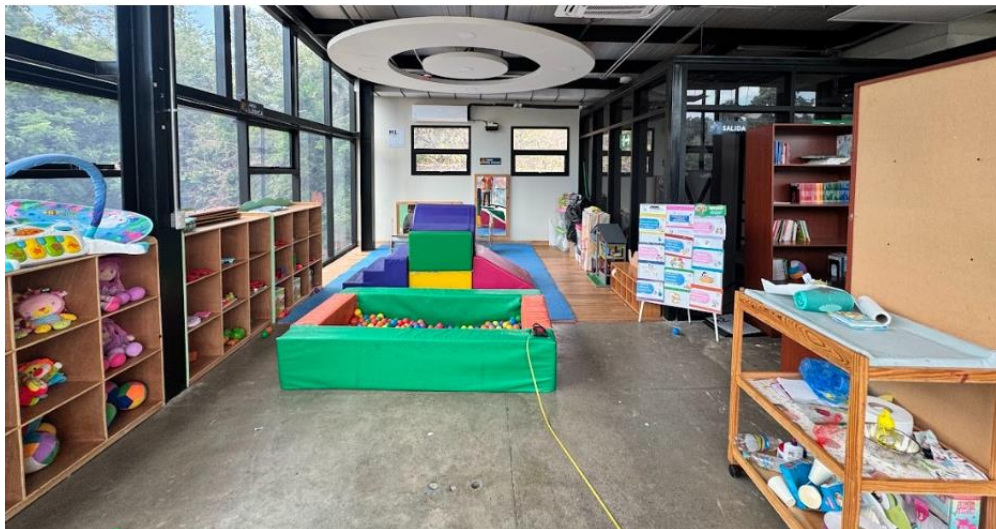


Figura 38 Área lúdica. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Además de los baños en ambos niveles

Características del sistema eléctrico

Desde las líneas principales, está conectado un transformador de 167 KVA tipo poste privado que está a disposición del edificio, llega al contador y continúa a través de una red subterránea. De ahí se obtienen las especificaciones siguientes:

Tabla 7 Especificaciones eléctricas del edificio. . Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025).

Medición	Baja tensión
Tensión nominal	120 V – 240 V
Tipo de conexión	Monofásico trifilar aérea
Frecuencia	60 Hz

El medidor utilizado es de la marca Elster A1800, con las características:

- Modelo: A1860RALN S200
- Tensión nominal: 120–480 V
- Frecuencia; 60 Hz
- Configuración: 3 fases, 4 hilos.



Figura 39 Medidor Elster A1800. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

En el área eléctrica encontramos 4 tableros. El principal con un interruptor termomagnético que desconecta todo el edificio. Y después tres tableros especificados para luminarias, tomas y aires acondicionados.

Línea base

La recolección de información sobre los horarios de visita, de electrodomésticos y equipos eléctricos (PC, TV, etc) y de los ocupantes del edificio fue a través de la entrevista. Se clasificaron luminarias, equipos de oficina y sistemas de aire acondicionado según su potencia y uso.

Tabla 8 Tabulación de línea base. . Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025).

Nivel	Zona de estudio	Descripción del equipo	Potencia [W]	Potencia total [W]	Horas de uso al día (aprox.)
1	COCINETA	3 Panel LED circular empotrado	24	72	0,5
		1 Microonda 20 L	700	700	0
		1 Microonda 30 L	1500	1500	0,5
		1 Cafetera	975	975	0,5
	SALA PRINCIPAL	8 Panel LED rectangular	60	480	6
		4 Aire acondicionado 3 TON	6400	25600	14
		1 Oasis Oster	150	150	18
		2 Bocina portatil smart	30	60	2
		1 Computadora de escritorio	150	150	14
		1 TV smart 55"	125	125	14
		4 AA tipo paquete 3 TON	6400	25600	14
	SALA DE GRABACIÓN	4 Panel LED circular empotrado	24	96	0,5
		1 Aire acondicionado mini split 2 TON	1870	1870	0,5
		1 Equipo de sonido (parlante, consola, amplificador)	1300	1300	0,5
		1 Computadora de escritorio	200	200	0,5
		1 AA MiniSplit 1 TON	1584	1584	14
	SALA DE ELECTRICIDAD	1 Lampara Luminaria Galponera	200	200	0,25
		1 Aire acondicionado mini split 1 TON	1089	1089	24
		1 Equipo de servidores	1000	1000	24
		1 AA MiniSplit 1 TON	1584	1584	14
	OFICINA	3 Panel LED circular empotrado	24	72	8
1 Aire acondicionado mini split 2 TON		1870	1870	8	
1 Computadora de escritorio		150	150	14	
BAÑOS	2 Panel LED circular empotrado	24	48	2	
SALA DE DUCTOS	1 Panel LED cuadrado empotrado	24	24	0,1	
2	SALON PRINCIPAL	10 Panel LED circular empotrado	24	240	6
		3 Lampara Luminaria Galponera	200	600	6
		10 Panel LED rectangular colgante	60	600	6
		4 Aire acondicionado 3 TON	6400	25600	14
		16 Computadoras de escritorio	150	2400	0,5
		1 Impresora 3D	240	240	0,1
		4 AA tipo paquete 3 TON	6400	25600	14
	SALA DE ELECTRICIDAD	1 Lampara Luminaria Galponera	200	200	0,1
		1 Enfriador evaporativo	185	185	24
	DUCTOS	1 Lampara Luminaria Galponera	200	200	0,1
	BAÑOS	2 Panel LED circular empotrado	24	48	1
Exterior	16 Lamparas exterior Sylvania	60	960	12	
	2 Bomba centrífuga acoplada a motor 1 HP	745	1490	2	

Medición eléctrica

Por otro lado, aunque se solicitó, no tuvimos acceso a las facturas eléctricas del edificio. Para solventarlo, se solicitó a la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador el préstamo de un equipo de medición, para registrar al menos dos semanas durante el periodo 02/07/2025 hasta 17/07/2025.

Se utilizó el analizador de potencia PCE-PA 8000 tal como se indicó en el apartado «Analizador de potencia PCE-PC 8000». Los parámetros que se midieron son la tensión, corriente, potencia activa, reactiva, factor de potencia, etc. las mediciones se realizaron en el tablero principal cada 10 segundos. El listado de los equipos y accesorios son

Tabla 9 Lista de equipos y accesorios para la medición de potencia eléctrica. Nota: Cuadro elaborado por el autor (2025).

Dona de amperímetro	Flexible AC Current Probe (Dona de amperímetro) Modelo I2000 serie 27080010 INV.
PCE-PA8000 power analyzer 3 phase UES-AR01 C1206089	<ul style="list-style-type: none"> • 3 current probe 1200A (donas) A1-A2-A3 • 4 pinzas de tensión R-N-Am-Az • 4 pinzas R-Az-Am-N • 1 fuente de alimentación Plug In Class 2 Transformer Model No. D12-10-1000 (HKSD- 991106) • Memoria SD 2GB • Maletín • Manual
Guantes de aislamiento 1000 Vac	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de cuero talla 11 • Guantes talla ANSI/ASTM CLASS 0 D120 TYPE 1 HONEYWELL SALISBURY • Guantes liner SALISBURY RN14163
Casco de protección	<ul style="list-style-type: none"> • Casco Blanco 3M H-700

Las mediciones quedaron registradas en la memoria SD, en la carpeta WTA01 y comprenden los archivos 1P301046 hasta el 1P301050 de extensión .xls. Tomando como referencia las fechas, unimos toda la información en un solo archivo .xls.



Figura 40 Registro de las mediciones del PCE-PA 8000. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

En total se registraron 143564 mediciones. Un total de 16 días y cerca de 15 horas. Es difícil trabajar con tal cantidad de datos, por ello se depuró para mostrar solamente los registros horarios.

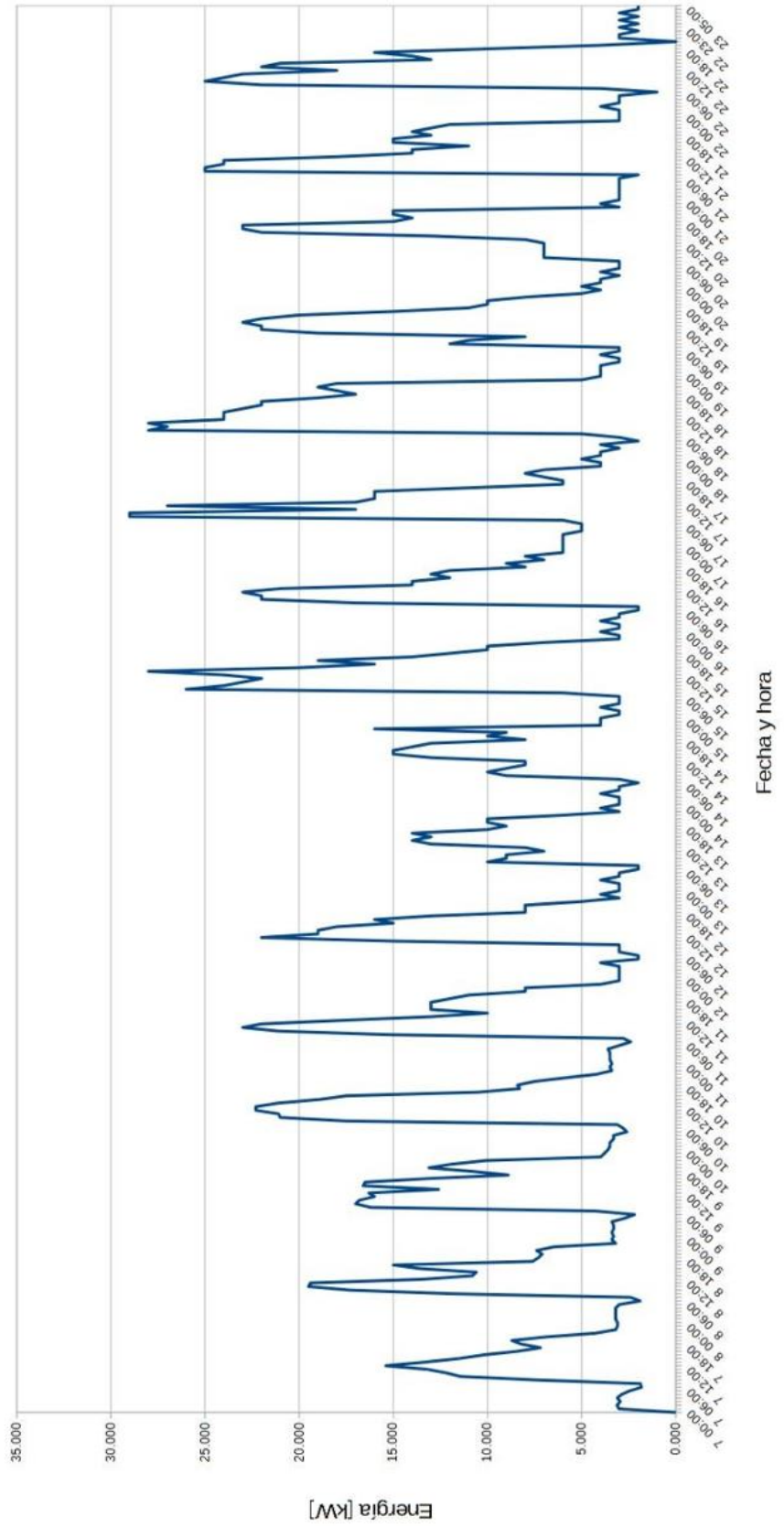


Figura 41 Consumo de energía eléctrica durante 16 días. Nota: Grafica elaborada por el autor (2025).

Sin embargo, debido a la aleatoriedad del sistema, se potencia la complejidad del análisis semanal. Por ello, consideramos trabajar solamente la primera semana, por lo que resulta:

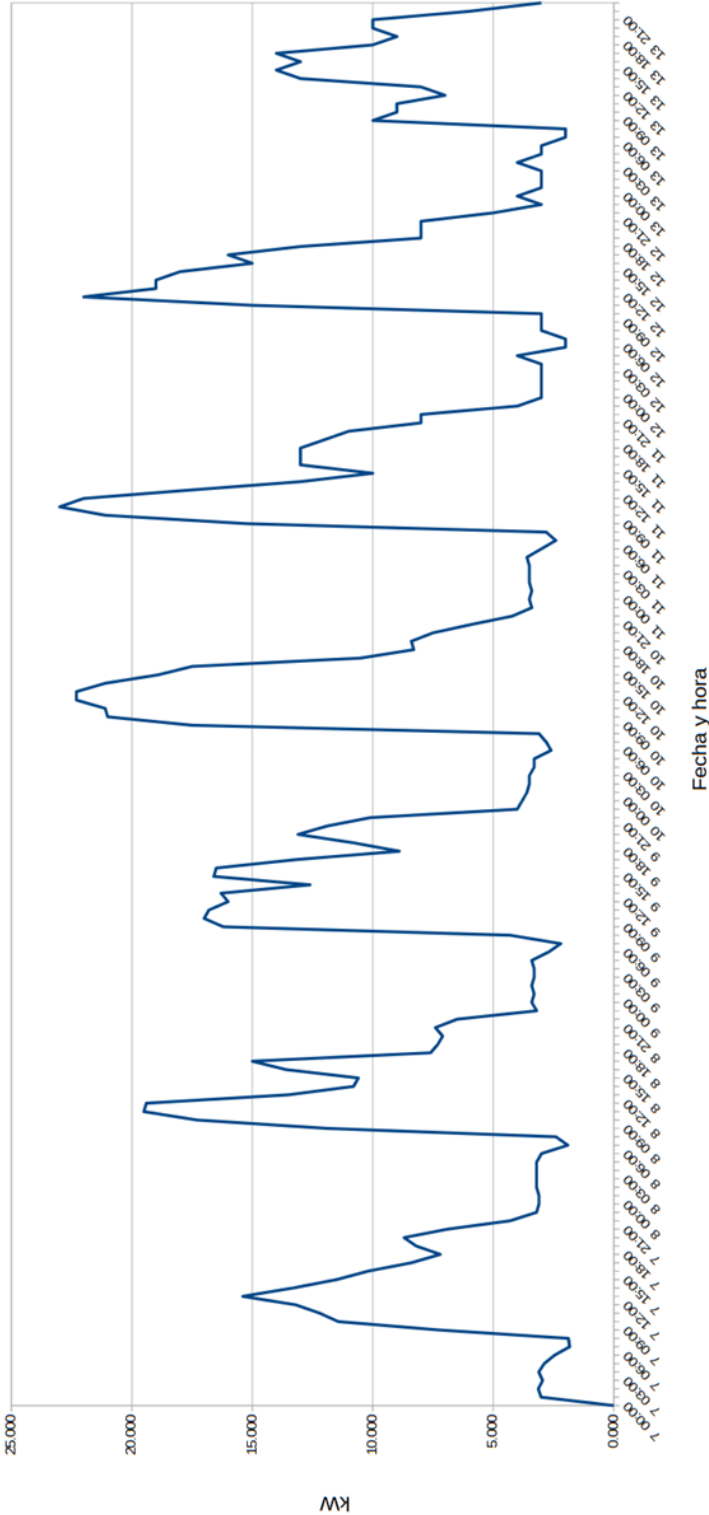


Figura 42 Potencia eléctrica durante una semana

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ENERGÉTICO

El diagnóstico es una etapa fundamental en la evaluación energética del edificio, ya que permite identificar las condiciones actuales de las instalaciones, equipos y protecciones eléctricas, así como su impacto en el desempeño energético general.

Este análisis se basa en observaciones directas en el sitio. A través de esta caracterización se busca no solo describir el estado físico y funcional, sino también detectar deficiencias, riesgos potenciales y oportunidades de mejora que puedan incidir en la eficiencia energética, la seguridad operativa y la continuidad de los servicios.

Sistemas de aire acondicionado

El edificio tiene 8 equipos de aire acondicionado de 3 toneladas, 2 de 2 toneladas y 2 de una tonelada.



Figura 43 Unidad Condensadora de Equipos de AA. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

El diagnóstico con relación a los equipos de aire acondicionado es:

- Los equipos tipo paquete los encienden todos a la vez al iniciar la jornada laboral, aun cuando hay pocos ocupantes en el edificio. Aunque por la tecnología de diseño, bajan la potencia a medida pasan del mediodía.
- Aun cuando no se esté utilizando, el AA del segundo nivel se mantiene encendido.
- El equipo de oficina y el de la sala de grabación se encienden cuando se hará uso de dichas áreas.
- El AA MiniSplit del área de electricidad pasa encendido 24/7.
- La temperatura a las que se programan es entre 18 y 20 °C.
- La puerta principal pasa mucho tiempo abierta por descuido. Esto afecta negativamente el aislamiento del edificio y hace trabajar más a los AA.



Figura 44 Fotografía de la unidad evaporadora. Se programó el AA a temperatura de 20 °C. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Área de electricidad

En esta área se encuentran el tablero principal y los subtableros de luces, tomacorriente y aires acondicionados; y también el sistema de servidores. El diagnóstico con el área de electricidad es:

- Se utiliza para guardar bolsas, utensilios de limpieza y diversas cosas de manualidades.

- Debido a que el enchufe principal del sistema de servidores no llega al tomacorriente de la pared está conectado con una regleta sencilla.
- Tienen un equipo de AA MiniSplit de 1 TON encendido 24/7 para los servidores.

Oasis como cargas

En el edificio hay dos oasis. Al calentar agua generan calor que contrarresta al trabajo de enfriamiento del AA. Estos se ubican en la oficina y en la sala principal. El diagnostico para estos equipos es:

- Los oasis se convierten en una carga térmicas para los aires acondicionados.

Equipos eléctricos

Los equipos eléctricos pasan encendidos aun cuando no están siendo útiles u ocupados con los ocupantes. El diagnostico detallado es el siguiente:

- Las computadoras donde registran a los ocupantes pasan encendidas desde que inicia la jornada laboral hasta que finalizan por la noche. Aunque durante varios minutos o incluso horas no se utilicen. Lo mismo sucede con la TV Smart 55” que pasa encendida, aunque no esté siendo utilizada o nadie la esté viendo.
- Los equipos eléctricos no se desenchufan al finalizar la jornada laboral.

El AA de la oficina

En la oficina pasan a lo mucho 2 ocupantes y está separado por paredes de vidrio del salón principal. El diagnóstico es el siguiente:

- El aire acondicionado de la oficina se enciende para acondicionar el lugar para la ocupante que pasa ahí. Ya que, al estar completamente aislado del salón principal, no comparten la temperatura de este.

Vidrio con lamina oscurecedora

Dos de las cuatro paredes del edificio son de vidrio. Sobre esto, el diagnóstico es:

- Se corroboró que el vidrio tiene una lámina oscurecedora y no polarizada.

Estado del sistema fotovoltaico

El diagnóstico se realiza a partir de una inspección visual. La descripción general del sistema es el siguiente:

Tabla 10 Descripción eléctrica y física de los equipos del sistema fotovoltaico. Nota: Tabla elaborada por el autor (2025).

Paneles solares	Marca Luxen, modelo LX545-72M
Potencia unitaria:	545 Wp por módulo
Cantidad instalada:	40 módulos
Potencia pico total instalada:	21.8 kWp
Configuración eléctrica:	No determinada (disposición de strings en serie y paralelo desconocida al momento del análisis)
Inversores:	2 unidades, marca BlueSun ESS, modelo BSE8KLNA
Baterías:	Módulos de litio Huawei ESM48100B1
Tipo de sistema:	Híbrido (interconectado a la red con respaldo de baterías)
Ubicación:	Paneles instalados en techo metálico; inversores y baterías ubicados en una sala técnica interior

Evaluación Técnica de los Componentes Principales

Módulos fotovoltaicos

Se observó acumulación de polvo y residuos afecta negativamente la eficiencia de los módulos, reduciendo su capacidad de generación. La suciedad persistente puede generar diferencias térmicas entre celdas, provocando microfallas o deterioro acelerado.



Figura 45 Paneles en mal estado. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Condiciones observadas:

- Acumulación significativa de polvo y residuos en la superficie de los paneles, especialmente en los bordes inferiores.
- Evidencia de pérdida de transparencia en el vidrio protector debido a suciedad incrustada.
- Presencia de suciedad localizada que puede provocar puntos calientes (hot-spots).
- Distribución regular de los módulos en el techo, sin daños físicos aparentes. Suciedad visible en zonas de difícil acceso.

Inversores

Se observó que la pantalla muestra valores negativos de potencia. La potencia negativa puede indicar retorno de energía no deseado o desequilibrio de fases. La lectura sin corriente, pese al voltaje, sugiere desconexión de strings, fallo en MPPT o irradiancia deficiente. El inversor sin datos debe ser revisado urgentemente.



Figura 46 Inversores BlueSun. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Condiciones observadas:

- Instalación ordenada en pared, con ductos metálicos adecuados.
- Lecturas anómalas en pantalla: potencia negativa en L1 (-90 W), corriente nula con presencia de voltaje en otra unidad.
- Un inversor presenta pantalla activa, pero sin datos de generación.
- Sin alarmas visibles; etiquetas técnicas accesibles.

Banco de Baterías

Se observó mucho polvo en las baterías. El polvo puede obstruir la ventilación, incrementando la temperatura de operación y reduciendo la vida útil. Es necesario un programa de limpieza y monitoreo del sistema BMS.



Figura 47 Banco de baterías. Nota: Fotografía capturada por el autor (2025).

Condiciones observadas:

- Polvo acumulado en la carcasa, conectores y ventiladores de los módulos Huawei.
- Indicadores LED funcionales (RUN, CHG, DCHG).
- Instalación en bastidor metálico sin protección contra polvo.
- Espacio reducido para operaciones de mantenimiento.

Estimación de producción energética del sistema fotovoltaico del CUBO El Tamarindo

El sistema fotovoltaico instalado en el CUBO El Tamarindo está compuesto por 40 módulos solares de 545 W cada uno, dando como resultado una potencia total instalada de 21.8 kWp. A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para estimar la producción teórica y real del sistema, incluyendo la corrección por pérdidas y el efecto de la orientación oeste.

1. Cálculo de la Potencia Instalada

La potencia total se obtiene multiplicando la cantidad de módulos por la potencia nominal de cada uno

$$P_{inst} = 40 \cdot 545 \text{ W} = 21.8 \text{ kWp}$$

2. Producción Ideal a partir de Horas Sol Pico (PSH)

Las horas sol pico (PSH) representan cuántas horas equivalentes de irradiación de 1000 W/m² recibe diariamente el sitio. La energía diaria teórica sin considerar pérdidas se obtiene con:

$$E_{dia.ideal} = P_{inst} \cdot PSH$$

Con $PSH = 4.54$, la producción diaria ideal es:

$$E_{dia.ideal} = 21.8 \text{ kW} \cdot 4.54 \text{ h} = 98.972 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

La producción anual ideal se obtiene multiplicando por 365 días:

$$E_{anual.ideal} = 98.972 \cdot 365 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} = 36\,124.78 \frac{\text{kWh}}{\text{anual}}$$

3. Corrección por Pérdidas: Performance Ratio (PR)

El Performance Ratio (PR) representa las pérdidas reales del sistema (temperatura, inversor, suciedad, cables, desbalances, etc.). Se aplica mediante:

$$E_{real} = E_{ideal} \cdot PR$$

Para un valor representativo $PR = 0.80$

$$E_{anual.PR} = 36\,124.78 \cdot 0.80 = 28899.82 \frac{\text{kWh}}{\text{anual}}$$

La energía diaria corregida queda como:

$$E_{diaPR} = 98.972 \cdot 0.80 = 79.178 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

4. Corrección Adicional por Orientación Oeste

La orientación ideal en El Salvador es hacia el sur. Al estar orientados hacia el oeste, los módulos presentan pérdidas típicas entre 15% y 25% debido a la desviación del ángulo óptimo de incidencia solar. La corrección se aplica de forma empírica mediante un factor multiplicativo:

$$E_{orient} = E_{real} \cdot (1 - L_{az})$$

Donde L_{AZ} es el porcentaje de pérdida por orientación. A continuación, se presentan tres escenarios:

Escenario A – Pérdida del 15%

$$E_{anual15} = 28899.82 \cdot 0.85 = 24\,554.85 \frac{\text{kWh}}{\text{anual}}$$

Escenario B – Pérdida del 20% (más representativo)

$$E_{anual15} = 28899.82 \cdot 0.80 = 23\,119.86 \frac{kWh}{anual}$$

Escenario C – Pérdida del 25%

$$E_{anual15} = 28899.82 \cdot 0.75 = 21\,674.86 \frac{kWh}{anual}$$

Tabla 11 Análisis de la producción de kW. Nota: Tabla elaborada por el autor (2025).

Escenario	Producción Anual (kWh)	Producción Mensual (kWh)	Producción diaria (kWh)
Ideal	36,128.78	3,010	98.97
Real con PR 0.80	28,899.82	2,408	79.18
Oeste 15%	24,554.85	2,046	67.30
Oeste 20%	23,119.86	1,927	63.34
Oeste 25%	21,674.86	1,806	59.38

Considerando:

- 21,674.86
- 1,806
- 21.8 kWp instalados
- PSH en El Tamarindo
- PR = 0.80
- Orientación oeste con una corrección del 20%

La producción energética anual estimada del sistema fotovoltaico es:

$$E_{final} = 23\,119.86 \frac{kWh}{anual}$$

Esto equivale a aproximadamente:

$$E_{mensual} = \frac{23119.86}{12} = 1926.65 \frac{kWh}{mes}$$

$$E_{diario} = \frac{1926.65}{30} = 63.34 \frac{kWh}{dia}$$

Sin embargo, la posición de los paneles es incorrecto, como se muestran a continuación:

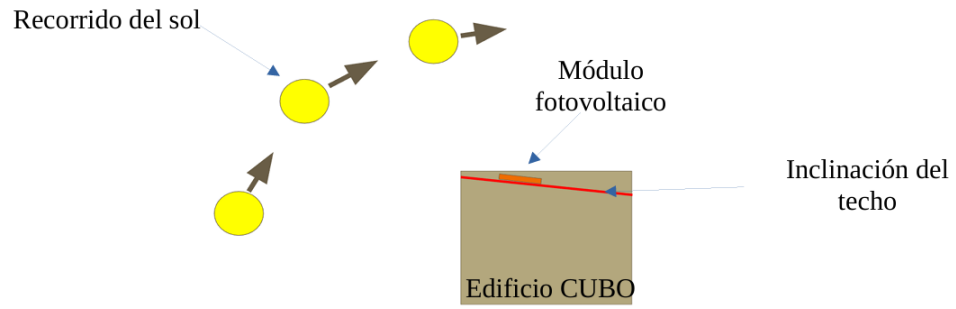


Figura 48 Ilustración del recorrido del sol y la ubicación del módulo fotovoltaico. Nota: Imagen elaborada por el autor (2025).

CAPÍTULO V. MODELADO GEOMÉTRICO

El levantamiento arquitectónico constituye la base para la modelación digital y la evaluación energética posterior. El objetivo es documentar la geometría, orientación y uso de los espacios el edificio con el fin de generar un modelo fiel que permita simular su comportamiento térmico y energético. El levantamiento arquitectónico se modeló utilizando SketchUp 2023, que luego fue exportado a OpenStudio mediante el plug-ins oficial.

Modelado 3D del edificio

Para la configuración del modelo energético, es posible descargar una plantilla predefinida desde OpenStudio, que proporciona datos estandarizados sobre construcciones, cargas internas, zonas climáticas, equipos eléctricos, entre otros parámetros relevantes. Estas plantillas resultan útiles para incorporar valores ya normalizados en la simulación, evitando la necesidad de ingresarlos manualmente.

Para este caso, al tratarse de un edificio con funciones educativas, se selecciona la plantilla «Primary School». Al aceptar esta plantilla, se integran automáticamente datos asociados a una escuela típica, incluyendo horarios de ocupación, características constructivas, cargas térmicas y eléctricas, entre otros. Si bien esta plantilla simplifica el proceso de modelado, cabe destacar que no representan fielmente el comportamiento específico del edificio en estudio. Por ello, se ajustó o complementó algunos parámetros con información propia del inmueble, asegurando que la simulación refleje con mayor precisión las condiciones reales.

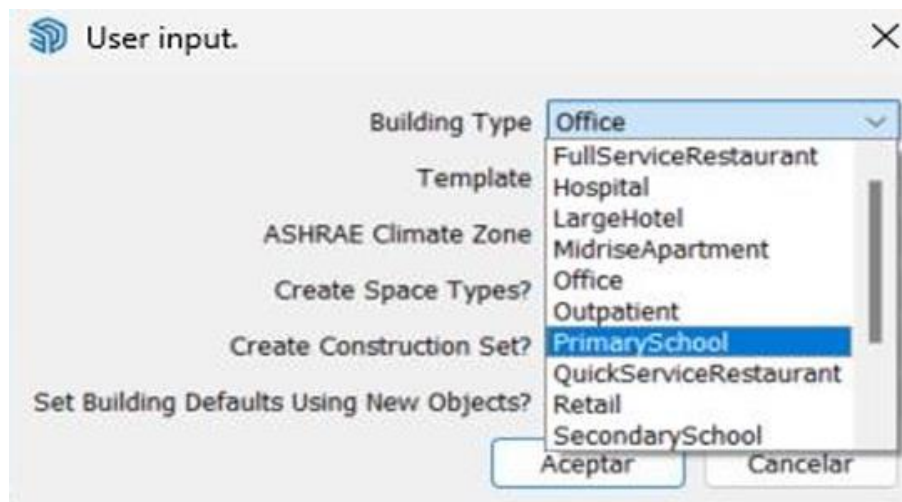


Figura 49 Selección de Primary School. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Con plano arquitectónico, se dibujan las dimensiones del edificio y las habitaciones.

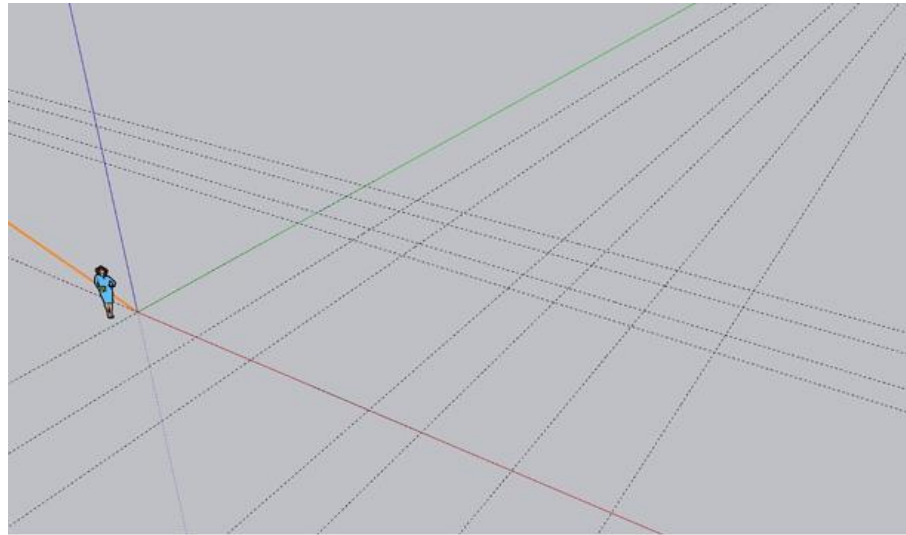


Figura 50 Se delinear las dimensiones del edificio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Con la herramienta rectángulo se dibujan los cuadros en el suelo que indican las dimensiones del edificio (rectángulo exterior) y las habitaciones (rectángulos interiores).

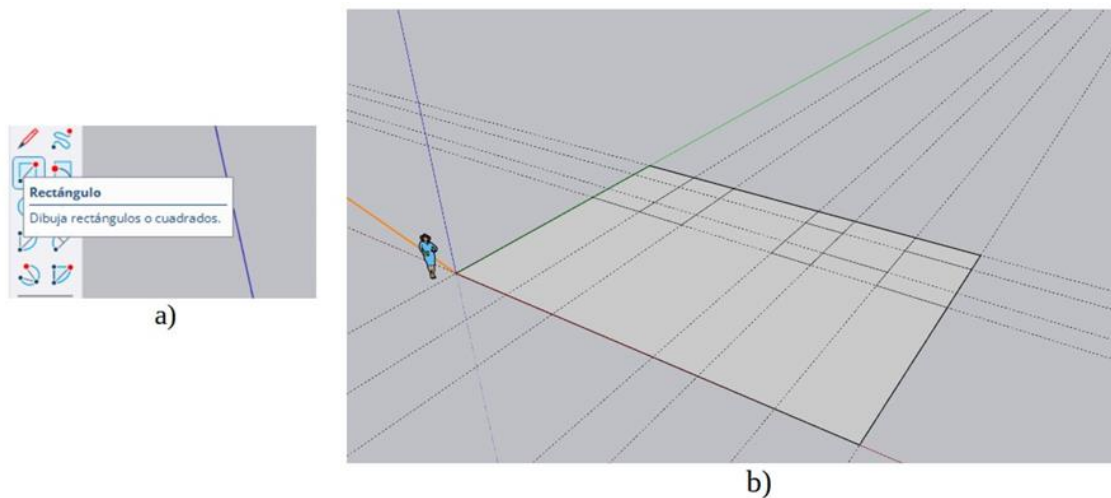


Figura 51 Delineamiento de las paredes del edificio. a) Herramienta de rectángulo utilizado. b) Suelo dibujado. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Con la herramienta Create Spaces From Diagram del plug-ins OpenStudio, indicado que esos «rectángulos» que se dibujó representan las dimensiones del edificio. En ella se indica los niveles del edificio y la altura de los niveles.

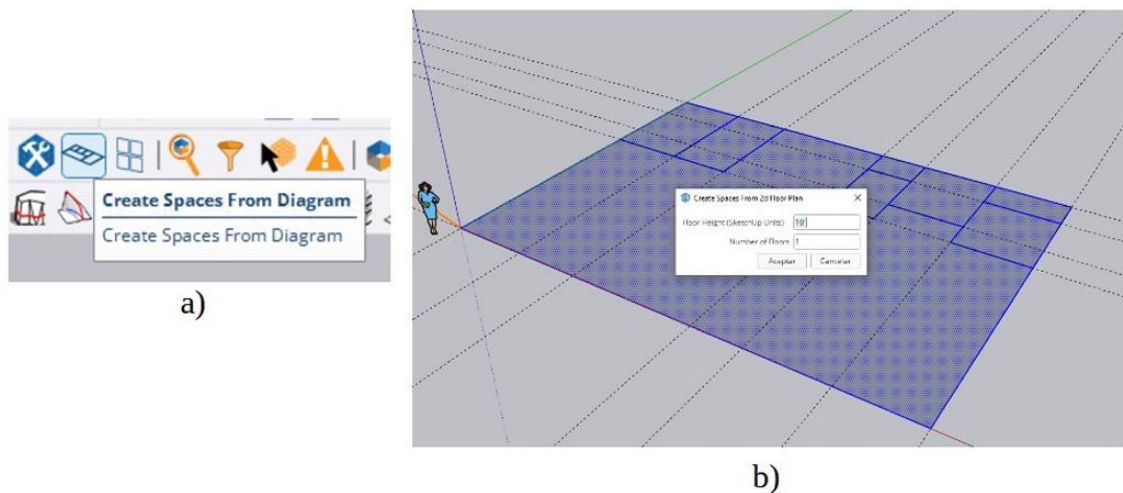


Figura 52 Herramienta para indicar los niveles y altura del edificio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

El resultado se muestra a continuación:

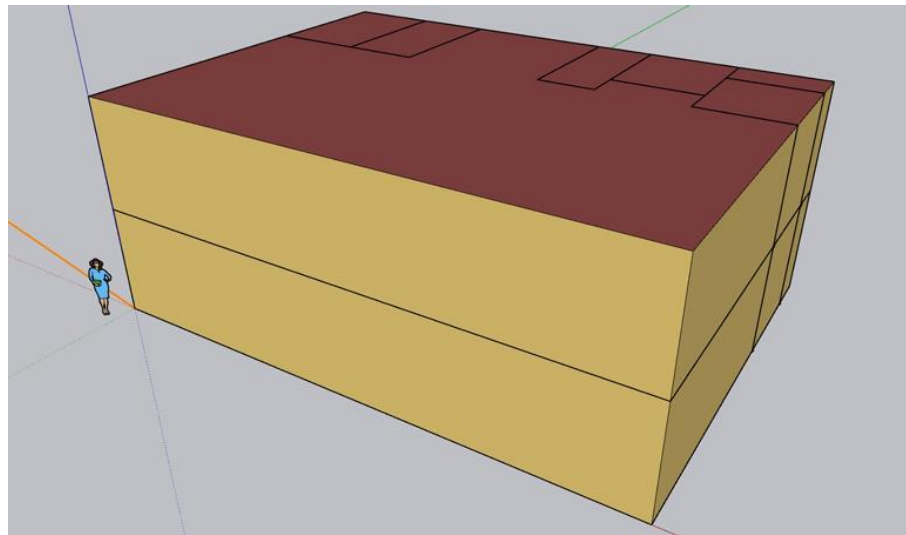


Figura 53 Edificio resultante. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Mediante la herramienta Surface Matching es posible identificar las intersecciones entre los distintos espacios del modelo, permitiendo que cada zona reconozca correctamente sus recintos adyacentes. Esto asegura que las superficies compartidas, como muros, pisos o techos, queden correctamente enlazadas entre espacios contiguos. Al activar esta función, se despliega un cuadro de diálogo en el que se deben aplicar de forma secuencial las opciones «Intersect in Entire Model» y posteriormente “Match in Entire Model”, garantizando así la coherencia geométrica del modelo para una simulación energética precisa.

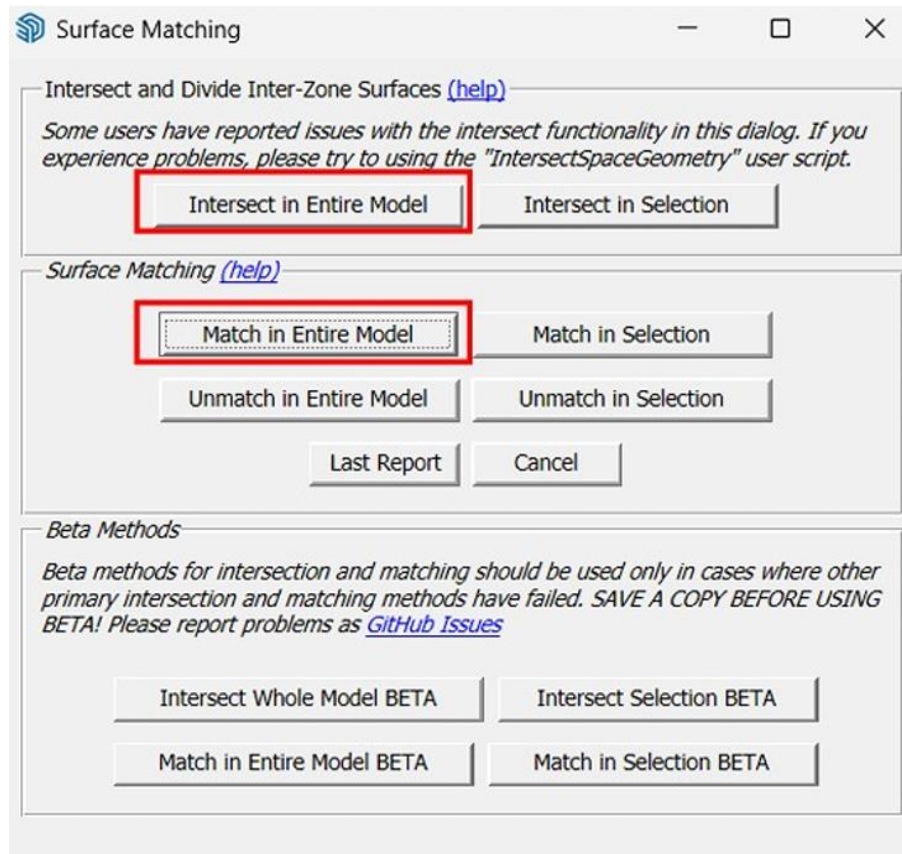


Figura 54 Cuadro de diálogo de Surface Matching. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Para poder editar el primer nivel se utiliza la herramienta Plano de sección:

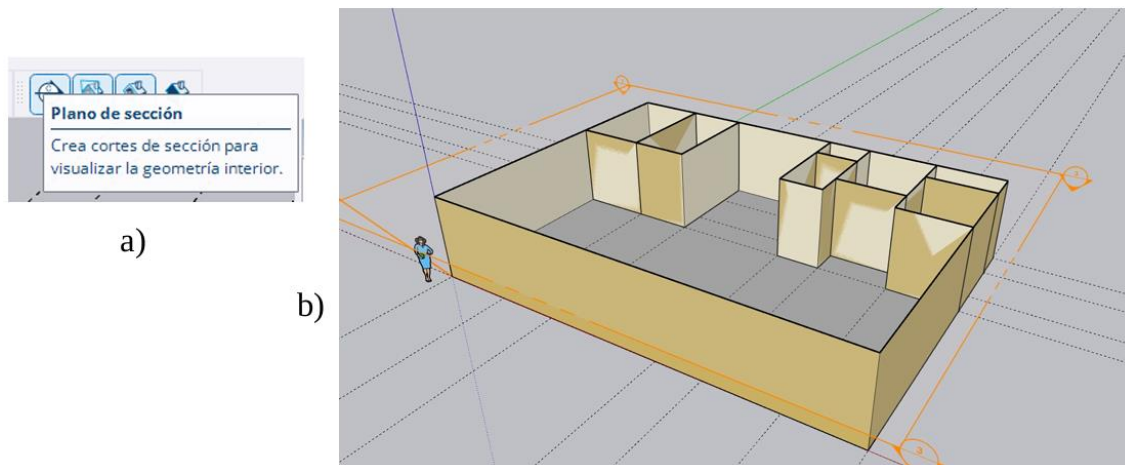


Figura 55 Modificación de primer nivel. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Se modifica entonces las ventanas y las puertas, como se muestra:

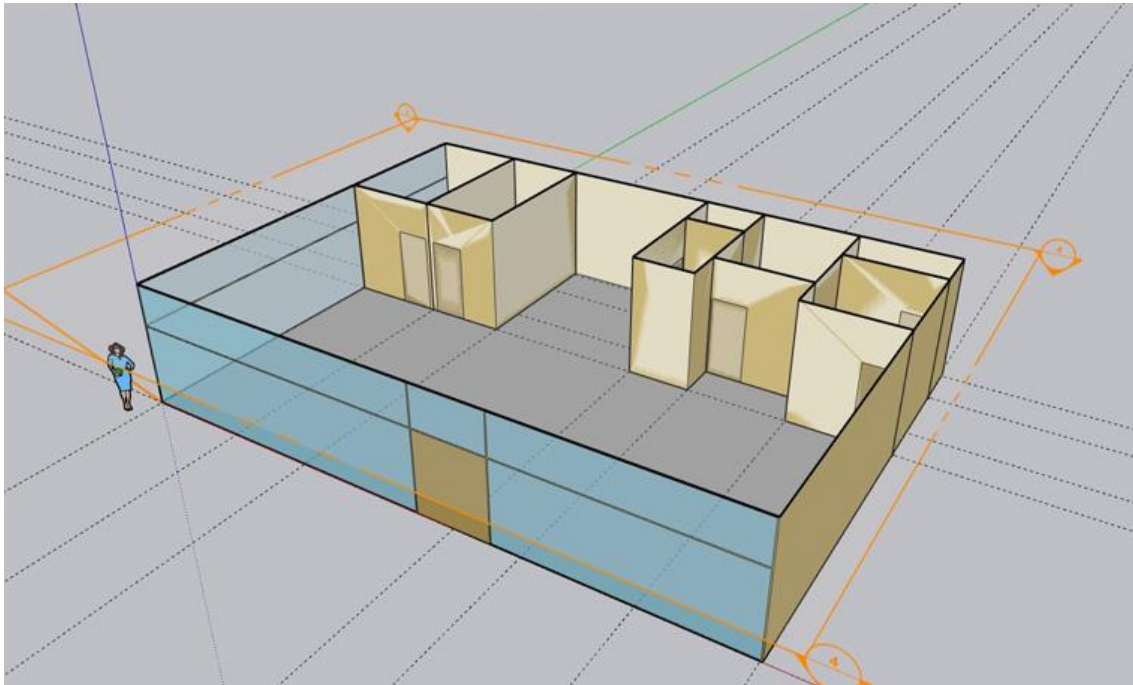


Figura 56 Ventanas y puertas del nivel 1. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Así mismo se modifican las puertas y ventanas del segundo nivel.

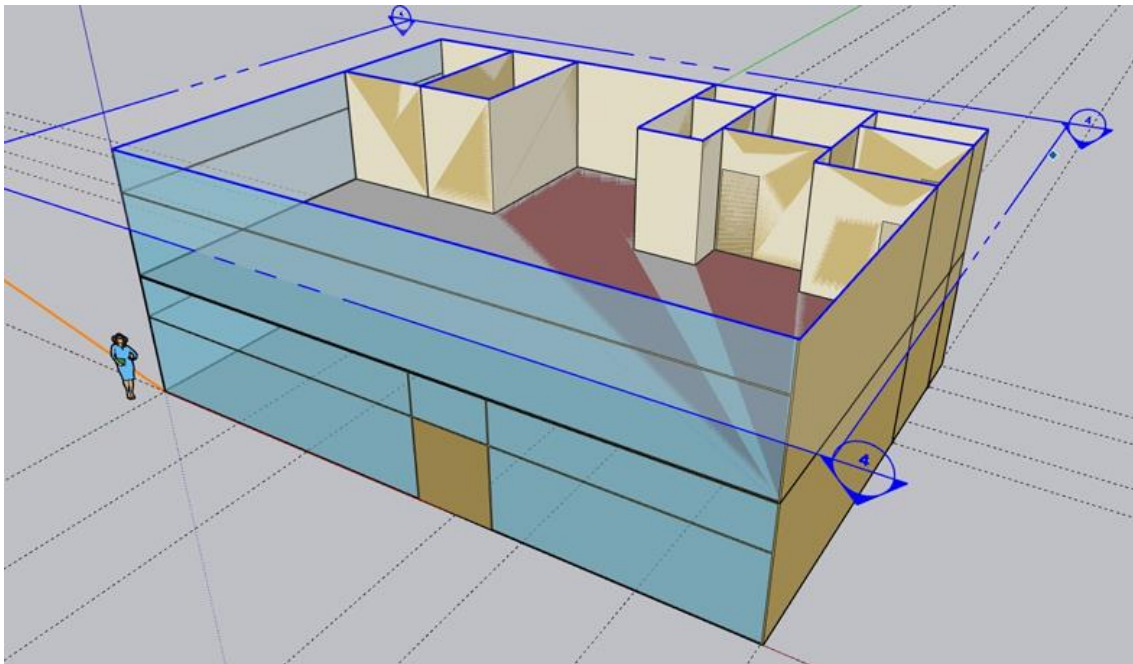


Figura 57 Puertas y ventanas del nivel 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Con la herramienta OpenStudio Inspector nombramos los salones, paredes y ventanas.

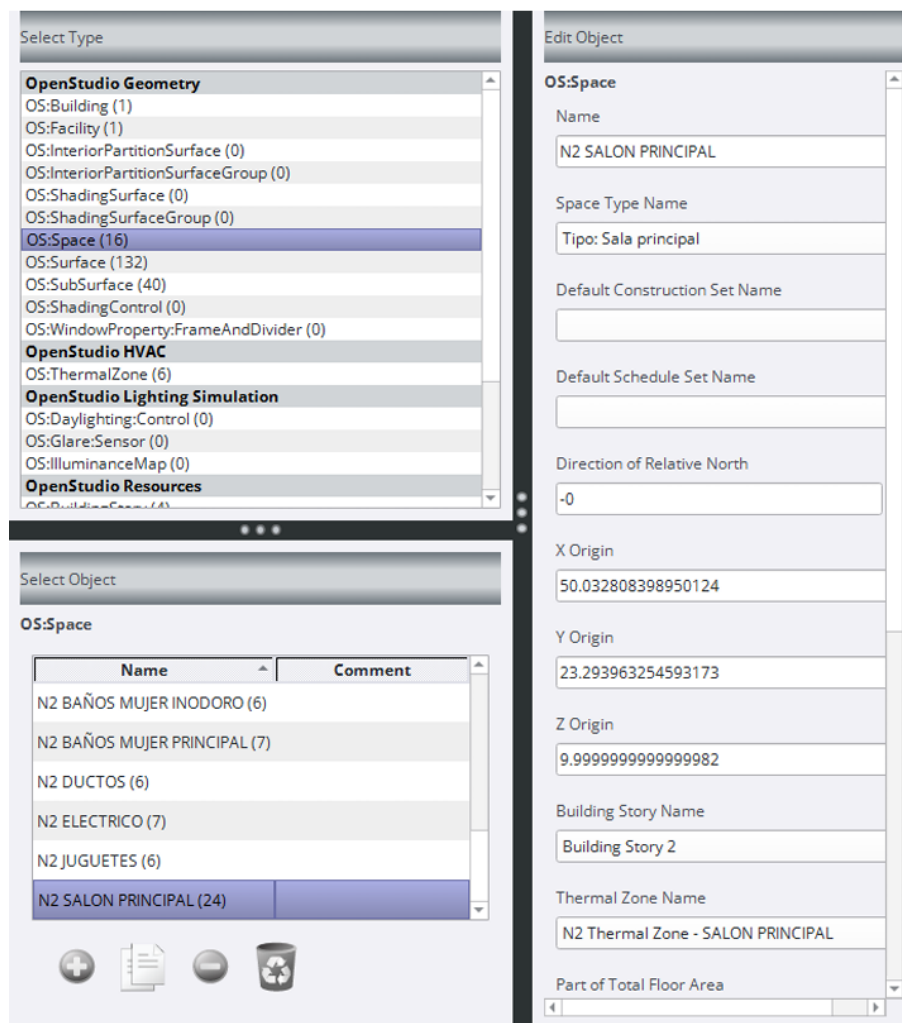


Figura 58 Cuadro de diálogo de OpenStudio Inspector. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Definición de espacios y zonas térmicas

Se agruparon los espacios según criterios de uso y control climático. En







Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates
	<input type="checkbox"/>		<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>	<input type="button" value="Apply to Selected"/>
Tipo: Baños	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Baño	90.1-2010 - PrISchl - Restro	<input type="text"/>
Tipo: Cocineta	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Cocineta	90.1-2010 - PrISchl - Kitche	<input type="text"/>
Tipo: Electrica	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Area electric	90.1-2010 - PrISchl - Mech	<input type="text"/>
Tipo: Estudio de grabacion	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Estudio de g	90.1-2010 - PrISchl - Lobby	<input type="text"/>
Tipo: Oficina	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Oficina	90.1-2010 - PrISchl - Office	<input type="text"/>
Tipo: Sala principal	<input type="checkbox"/>		Materiales estandar de esci	Perfil horario: Salon de clas	90.1-2010 - PrISchl - Classr	Sala principal: infiltracion <input type="text"/>

Figura 59 Se muestran los tipos de espacios. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

OpenStudio se refleja de la siguiente manera:

Se define primeramente en SketchUp y puede visualizarse con colores, como se muestra:

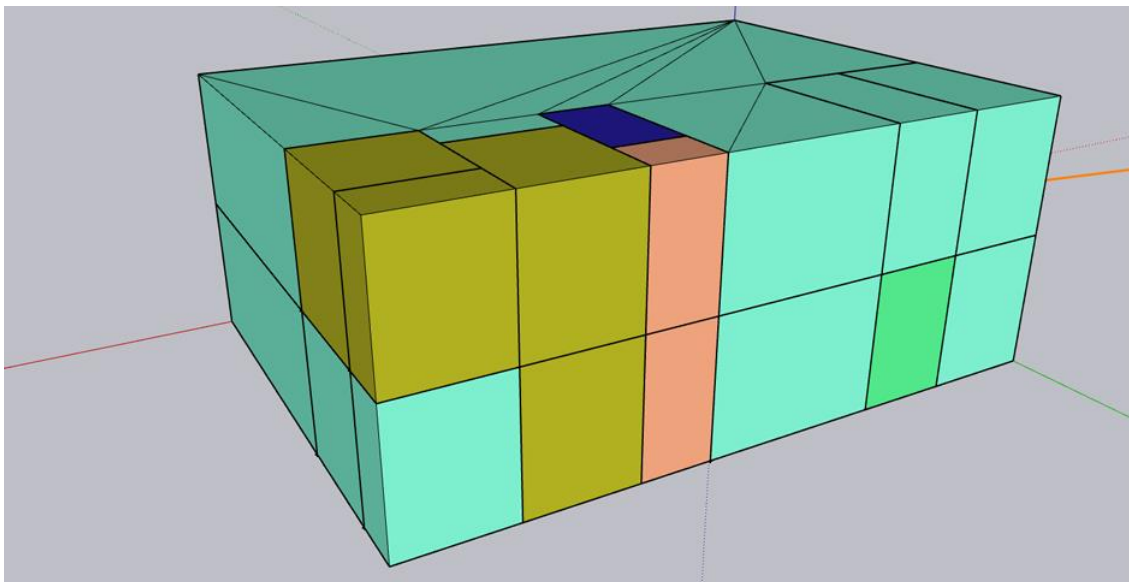


Figura 60 Muestra de los espacios. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Asignación de parámetros en OpenStudio

Una vez finalizado el modelado geométrico del edificio en SketchUp, se procede a la configuración de los parámetros energéticos en OpenStudio, plataforma que permite vincular la geometría con los datos necesarios para la simulación energética.

En esta etapa se definen aspectos como los tipos de espacios, zonas térmicas, construcciones, cargas internas, sistemas HVAC, horarios de ocupación y condiciones climáticas externas. Esta información es esencial para que el motor de simulación EnergyPlus pueda calcular con precisión el comportamiento térmico y energético del edificio bajo distintos escenarios de uso y eficiencia.

En la pestaña Site agregamos los archivos climáticos descargados. En archivo del clima añadimos el archivo con extensión .epw y en días de diseño agregamos el archivo con extensión .ddy. El resultado es como se muestra:

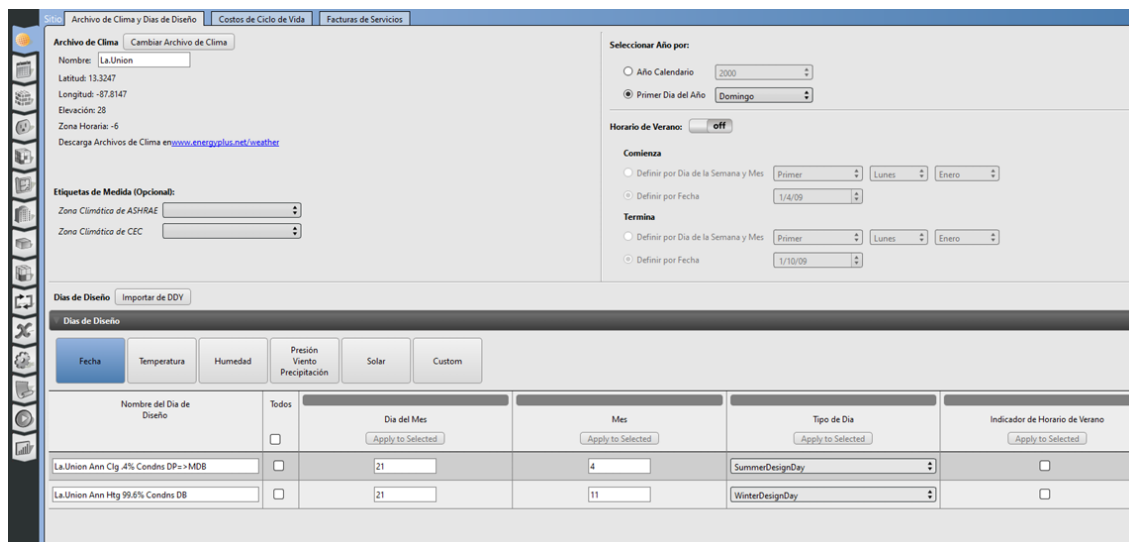


Figura 61 Pestaña Site en OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En la pestaña Schedules se crean los perfiles horarios para las cargas y temperaturas, además de la ocupación de las áreas. Se definieron según nos lo indicaron con las entrevistas que hicimos a los empleados, hasta ajustarlo a las mediciones eléctricas que se hicieron.

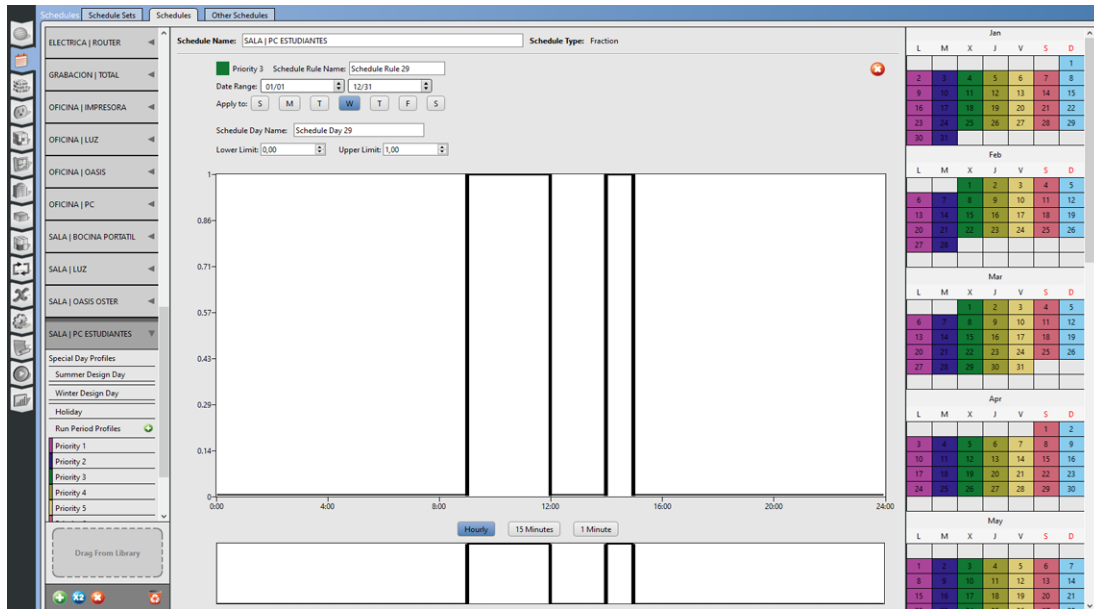


Figura 62 Pestaña Schedules de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En la pestaña Construction se establecen los materiales. La mayoría de las configuraciones se dejan tal las predefinidas con la plantilla Primary School.

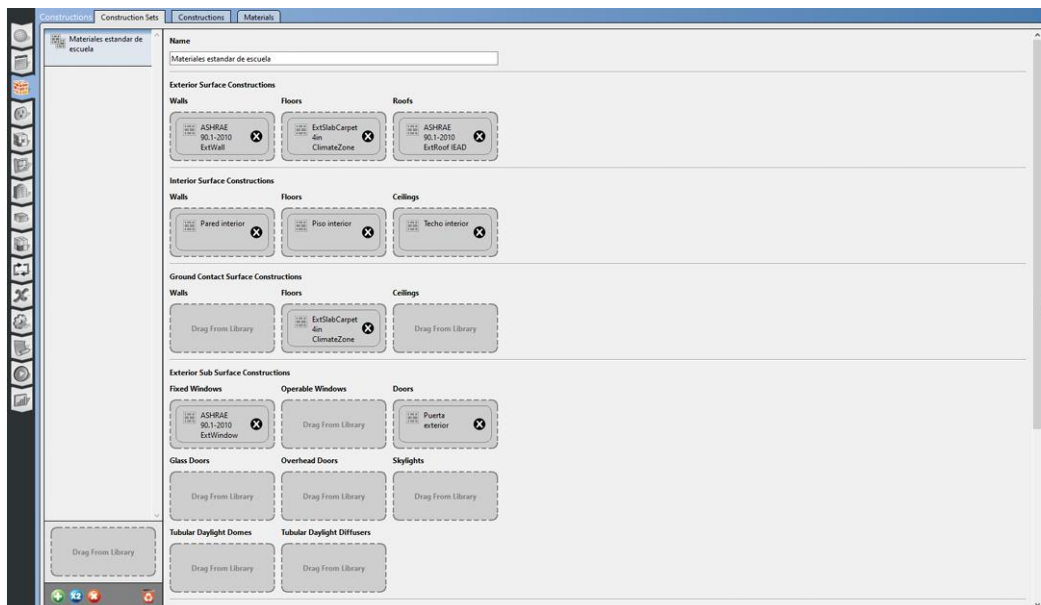


Figura 63 Pestaña Construction en OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En la pestaña load se definieron las cargas de los electrodomésticos, las luminarias, así como la cantidad de personas por área.

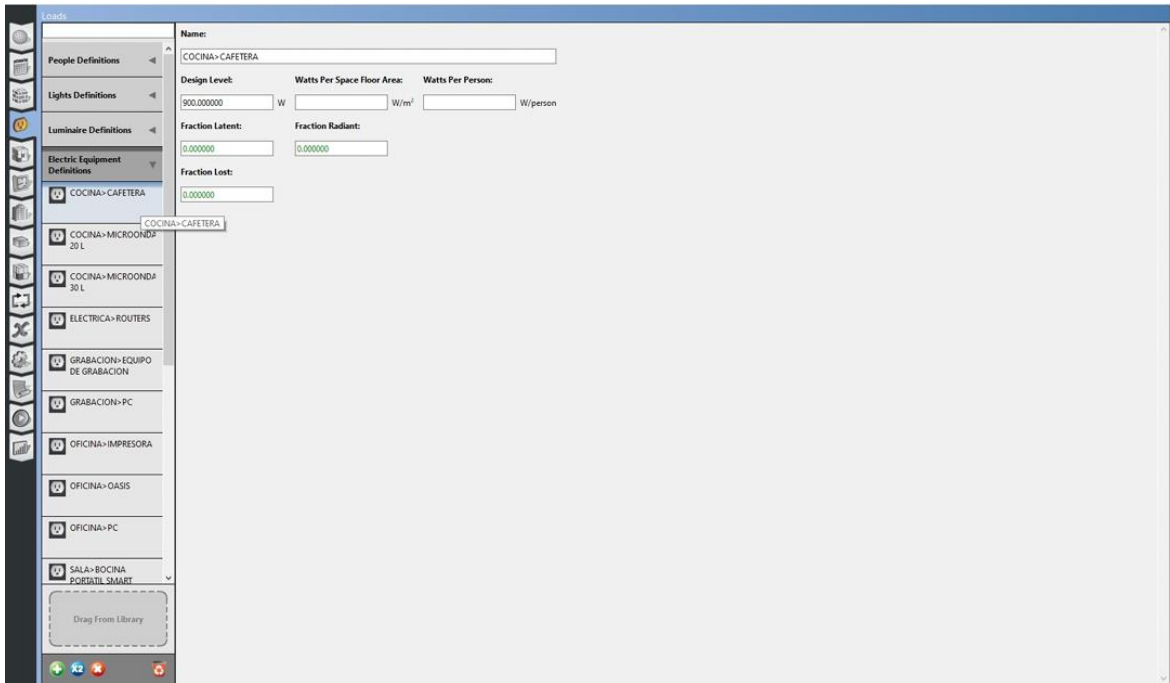


Figura 64 Pestaña Loads de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En la pestaña Spaces Type se organizan cada una de las cargas en las áreas.

Space Type Name	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Tipo: Baños	Personas en el baño	1.000000	Personas en el baño	-BAÑOS TOTAL	-ACTIVIDAD (W/PERSON)
	Luminarias: Baños	1.000000	Luminarias: Baños	-BAÑOS TOTAL	
Tipo: Cocineta	Personas en la cocineta	1.000000	Personas en la cocineta	-COCINA TOTAL	-ACTIVIDAD (W/PERSON)
	Luminarias: Cocineta	1.000000	Luminarias: Cocineta	-COCINA TOTAL	
	MICROONDA 30 L	1.000000	COCINA>MICROONDA 30 L	-COCINA MICRO 30 L	
	CAFETERA	1.000000	COCINA>CAFETERA	-COCINA CAFETERA	
	MICROONDA 20 L	1.000000	COCINA>MICROONDA 20 L	-COCINA MICRO 20 L	
Tipo: Electrica	Personas en area electrica	1.000000	Personas en area electrica	-ELECTRICA OCUPACION	-ACTIVIDAD (W/PERSON)
	Luminarias: Area electrica	1.000000	Luminarias: Area electrica	-ELECTRICA LUZ	
	Electric Equipment 1	1.000000	ELECTRICA>ROUTERS	-ELECTRICA ROUTER	
Tipo: Grabacion	Personas en estudio de grabacion	1.000000	Personas en estudio de grabacion	-GRABACION TOTAL	-ACTIVIDAD (W/PERSON)
	Luminarias: Estudio de grabacion	1.000000	Luminarias: Estudio de grabacion	-GRABACION TOTAL	

Figura 65 Pestaña Spaces Type de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En la pestaña Geometry se observa la geometría dibujada en SketchUp. Acá no se hizo nada ya que todo se hizo en SketchUp.

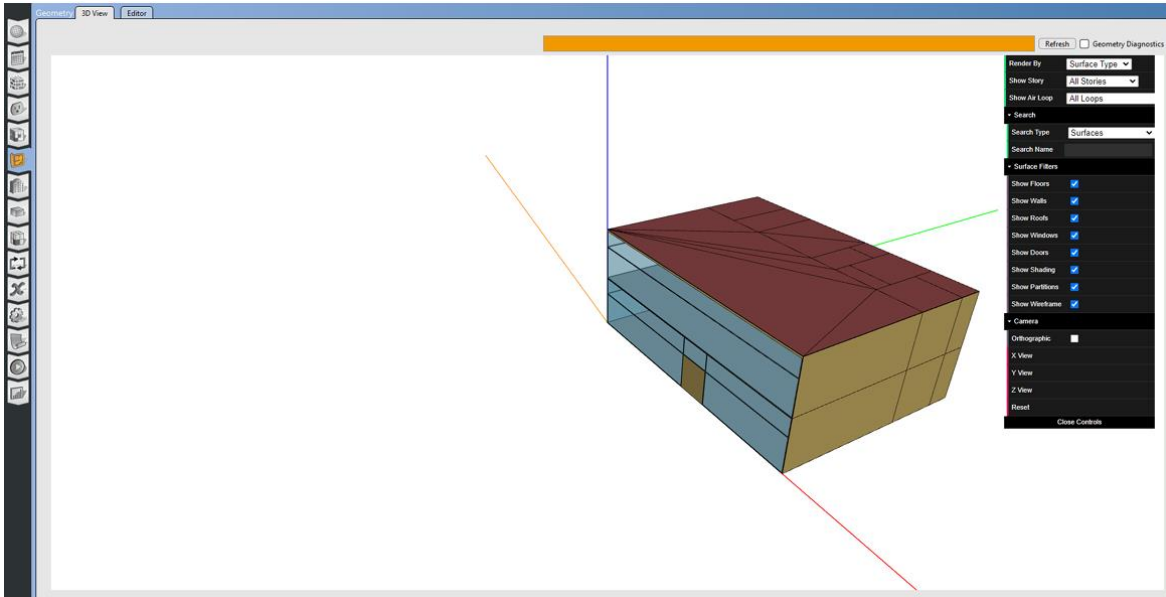


Figura 66 Pestaña Geometry de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

La pestaña Facility permite definir los parámetros generales del edificio. Se especifican datos como el nombre del proyecto, ubicación geográfica, altitud, zona horaria y archivo climático.

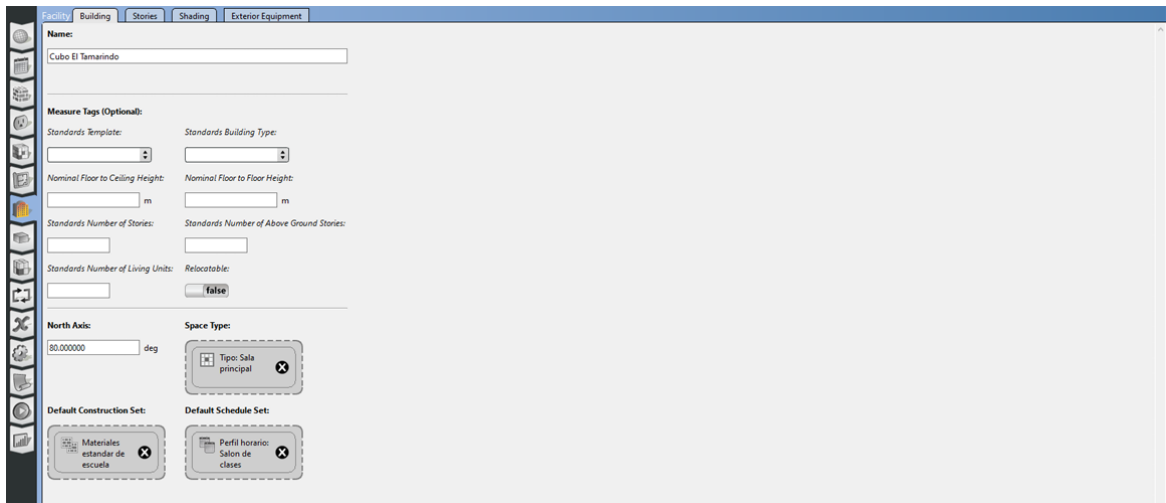


Figura 67 Pestaña Facility de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Esta sección permite asignar tipos de espacios según su uso funcional (oficinas, aulas, pasillos, baños, etc.). Cada tipo incluye valores predefinidos de ocupación, iluminación, equipos eléctricos y horarios.

Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
N1 AREA DE GRABACION	Building Story 1	N1 Thermal Zone - ESTUD	Tipo: Oficina			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 BAÑOS	Building Story 1	N1 Thermal Zone - SALON	Tipo: Baños			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 CABINA DE GRABACION	Building Story 1	N1 Thermal Zone - ESTUD	Tipo: Oficina			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 COCINETA	Building Story 1	N1 Thermal Zone - SALON	Tipo: Cocineta			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 DUCTOS	Building Story 1	N1 Thermal Zone - SALON	Tipo: Estudio de grabacion			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 ELECTRICO	Building Story 1	N1 Thermal Zone - ELECT	Tipo: Electrica			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 OFICINA	Building Story 1	N1 Thermal Zone - OFICIN	Tipo: Oficina			<input checked="" type="checkbox"/>
N1 SALON PRINCIPAL	Building Story 1	N1 Thermal Zone - SALON	Tipo: Sala principal			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 AREA DE JUEGOS	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Sala principal			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 BAÑOS HOMBRE	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Baños			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 BAÑOS MUJER INODORO	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Baños			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 BAÑOS MUJER PRINCIPAL	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Baños			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 DUCTOS	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Estudio de grabacion			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 ELECTRICO	Building Story 2	N2 Thermal Zone - ELECT	Tipo: Electrica			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 JUGUETES	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Sala principal			<input checked="" type="checkbox"/>
N2 SALON PRINCIPAL	Building Story 2	N2 Thermal Zone - SALON	Tipo: Sala principal			<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 68 Pestaña Spaces de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

La pestaña Thermal Zones se agrupan los espacios en zonas térmicas, que comparten condiciones similares de temperatura y control climático. Esta clasificación es esencial para definir el comportamiento del sistema HVAC.

Name	Rendering Color	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule	Humidifying Setpoint Schedule	Dehumidifying Setpoint Schedule	Multiplier
N1 Thermal Zone - ELECT	■	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 2	Diffuser 2	AA1 TEMP. DE ELECTRICA				1
N1 Thermal Zone - ESTUD	■	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 3	Diffuser 3	AA1 TEMP. EQ. GENERAL				1
N1 Thermal Zone - OFICIN	■	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 1	Diffuser 1	AA1 TEMP. EQ. GENERAL				1
N1 Thermal Zone - SALON	■	<input type="checkbox"/>	Package Rooftop Air Con	Air Terminal Single Duct Cc	AA1 TEMP. EQ. GENERAL				1
N2 Thermal Zone - ELECT	■	<input type="checkbox"/>	Air Loop HVAC 4	Diffuser 4	AA1 TEMP. EQ. GENERAL				1
N2 Thermal Zone - SALON	■	<input type="checkbox"/>	Package Rooftop Air Con	Air Terminal Single Duct Cc	AA1 TEMP. EQ. GENERAL				1

Figura 69 Pestaña Thermal Zones de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Aquí se configuran los sistemas de ventilación y aire acondicionado. Se definieron 4 AA MiniSplit y 8 tipo paquete.

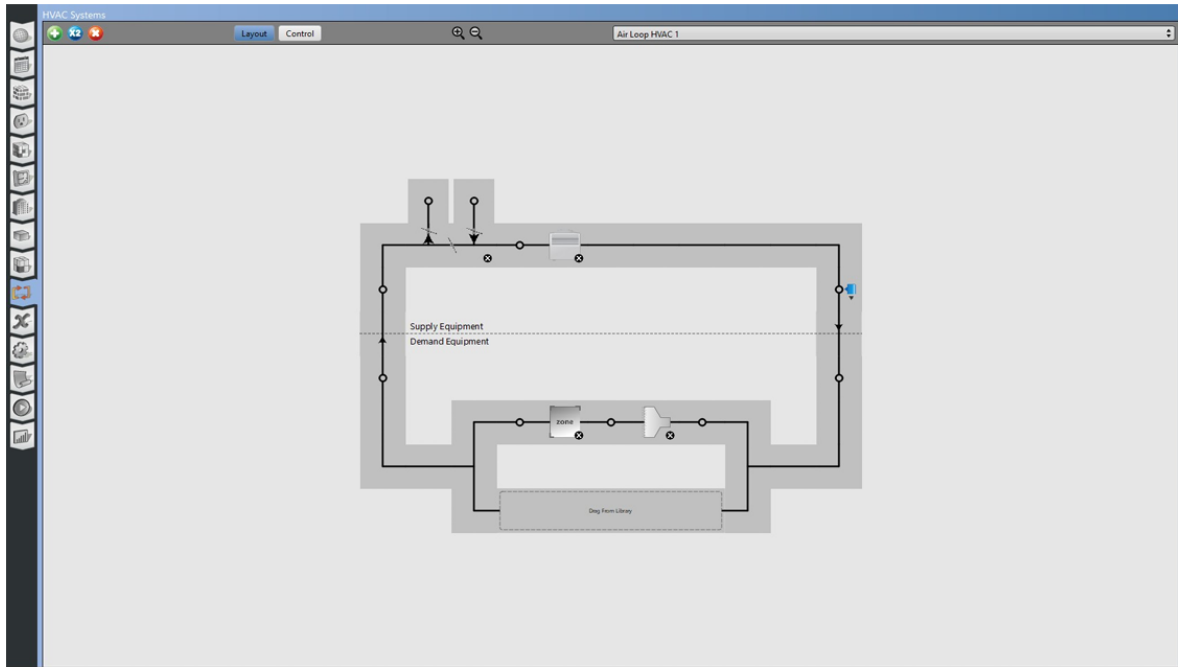


Figura 70 Pestaña HVAC System de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

La pestaña Simulation Settings se ajustó parámetros técnicos de la simulación, como el período de análisis, la resolución temporal (horaria), etc.

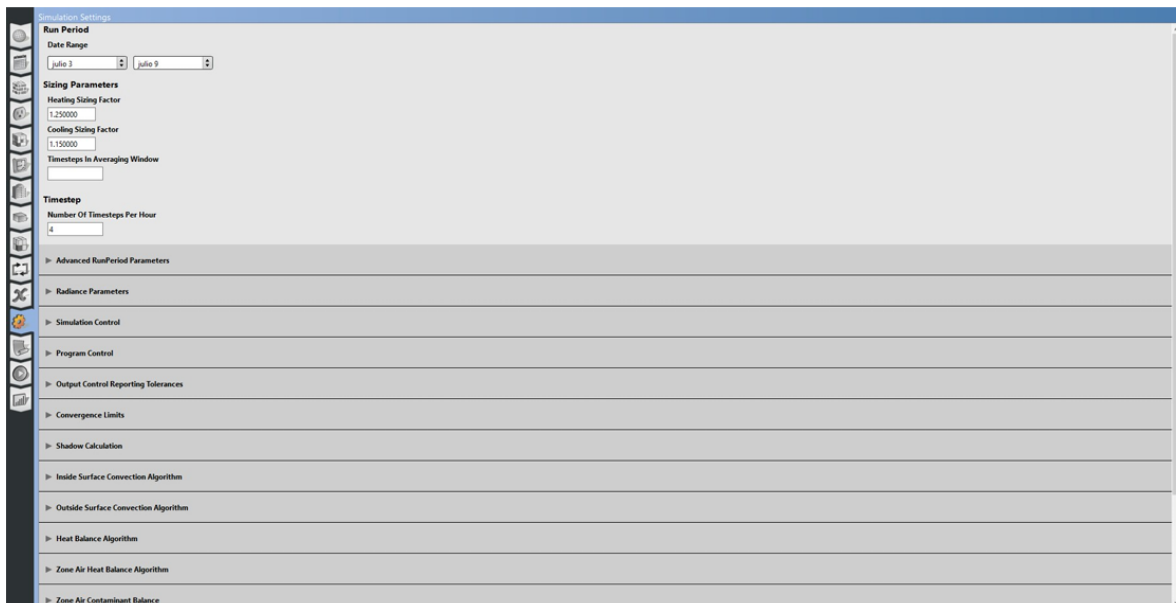


Figura 71 Pestaña Simulation Setting de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Configuramos la salida para visualizarlo de mejor manera con la salida OpenStudio Results.

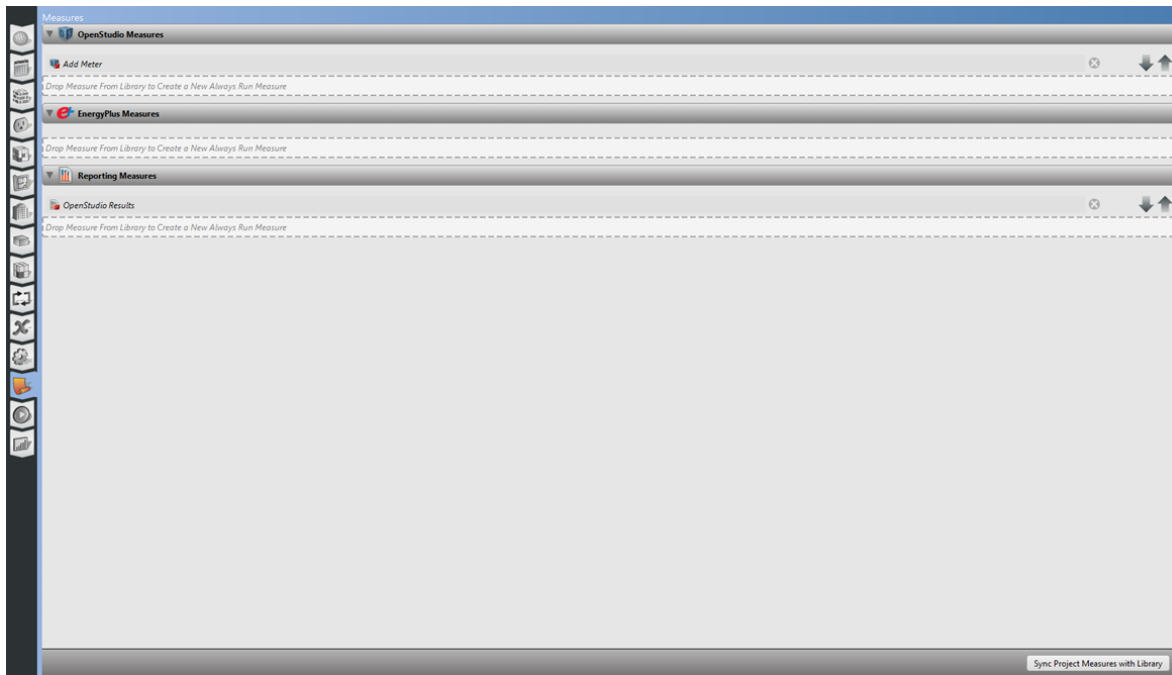


Figura 72 Pestaña Measure de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

En Run se inicia la simulación, después de reparar todos los errores que tenía, finalmente se logró sin mular sin errores, pero con advertencias.

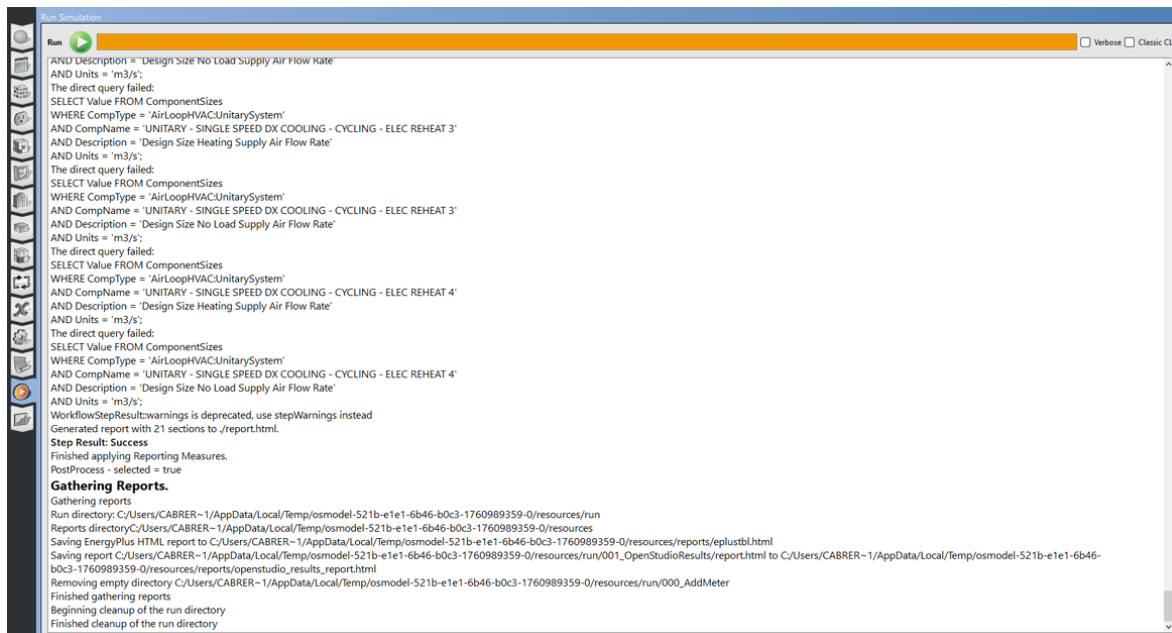


Figura 73 Pestaña Run Simulation de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Las advertencias están escritas en color rojo. La primera fue sobre archivo climático en OpenStudio, es decir, el archivo EPW:

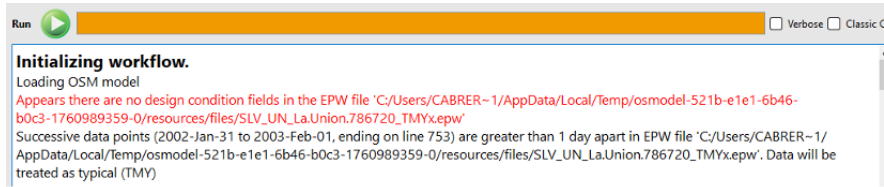


Figura 74 Advertencia 1. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

El párrafo (en rojo) indica que no contiene los campos específicos de condiciones de diseño climático, como temperaturas extremas para dimensionar sistemas HVAC. La segunda advertencia tiene que ver con el sensor EMS.

Translating the OpenStudio Model to EnergyPlus.

Beginning the translation to IDF

OS_ProgramControl is not currently translated

Key Name for Sensor 'Energy_Management_System_Sensor_1' is UID but does not exist, it will not be translated.

Key Name for Sensor 'Energy_Management_System_Sensor_2' is UID but does not exist, it will not be translated.

Successfully translated to IDF

Figura 75 Advertencia 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Indica que el sensor EMS hace referencia a una variable o componente, pero ese objeto no existe en el modelo y por ello no está incluido en el archivo IDF. Sin embargo, estas advertencias no representan errores tal que impidan la simulación.

La última pestaña muestra los resultados de la simulación.

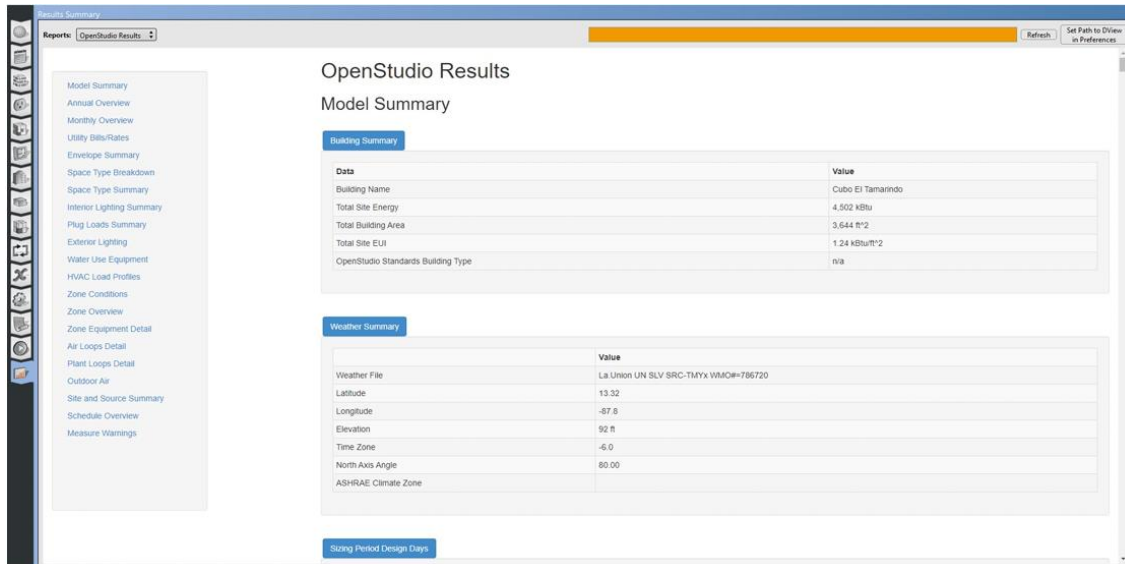


Figura 76 Pestaña Results Summary de OpenStudio. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

CAPÍTULO VI. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Este capítulo presenta el proceso de simulación energética aplicado al edificio CUBO en El Tamarindo, La Unión, con el objetivo de analizar su comportamiento térmico y consumo energético. El análisis incluye las cargas eléctricas y térmicas, es decir, va más allá de un análisis puramente eléctrico, y entra al campo de la termodinámica. Sin embargo, antes de entrar en el análisis técnico, mostraremos la implementación de la metodología general para análisis de eficiencia energética, tomando de base las normas indicadas en el Marco Teórico.

La simulación se realizó utilizando herramientas como SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus y DesignBuilder ResultViewer. Se modelaron las cargas internas, envolvente térmica, horarios de uso y sistemas HVAC para obtener indicadores de desempeño energético y establecer una línea base representativa.

Limitaciones y consideraciones de la simulación

La investigación contiene varios supuestos y limitaciones que aumentan el error de los cálculos, por ejemplo:

- Los datos climáticos .epw no son de años recientes. El de La Unión es del año 2006, el de Acajutla es del año 2016-2019.
- La precisión de los datos de entrada en la simulación como las dimensiones físicas, características de los materiales, horarios de utilización y potencia de los equipos. El comportamiento de los ocupantes no es algo que podamos ingresar con precisión a la simulación.
- Falta de acceso a los documentos del edificio como planos civiles y eléctricos, además de las facturas de consumo eléctrica.

Configuración del modelo energético

Se verificó la coherencia geométrica para corregir los errores de simulación. Por ejemplo, con el techo se tuvieron dificultades en algunas uniones y una forma de resolverlo fue creando un techo triangulado que evita dejar «abombamientos».

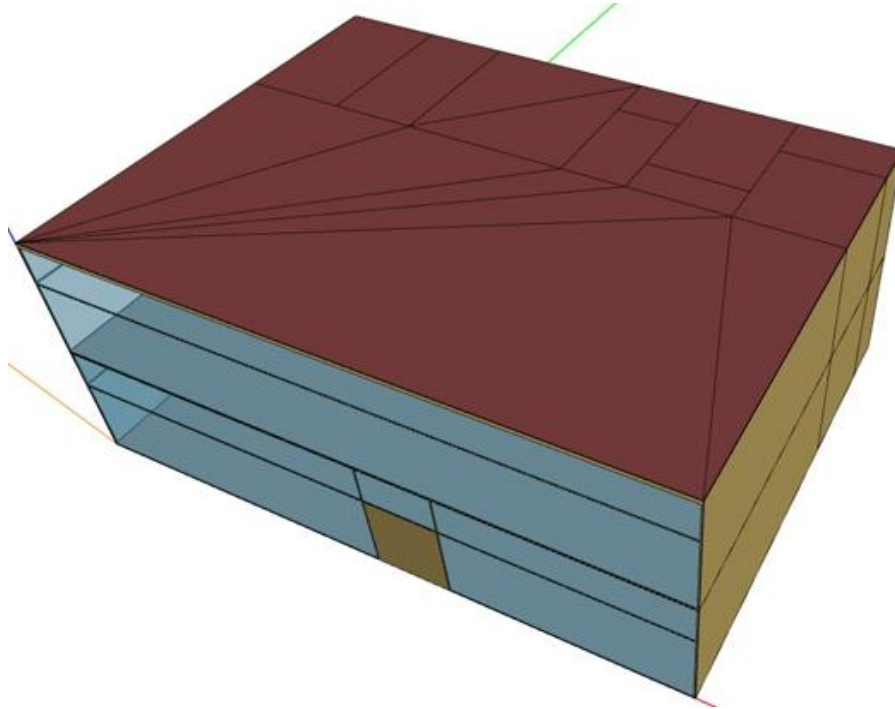


Figura 77 Reparación de la geometría del techo. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Gracias a la herramienta de SketchUp llamada Inspect and repair solid groups and component que verifica que cada habitación del edificio este correctamente unida en las paredes y esquina y que no haya líneas mal hechas.



Figura 78 Herramienta de Solid inspector 2. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

A partir de acá, se configurará los parámetros para ajustar la simulación a los escenarios propuestos anteriormente:

Escenario 0. Ajuste del modelo para alineación con modelo de línea base

Una vez establecido la línea base con las cargas y horarios, ahora corresponde ubicar las horas de utilización de las cargas dinámica. Por ejemplo, en el caso de los AA que se encienden al entrar y se apagan por la noche, no existe mayor dificultad. Por otro lado, las computadoras para las estudiantes que son encendidas al menos unas 2 horas al día de manera variable, la complejidad radica en atinar, con el menor error posible, en qué horarios del día se ubican esas dos horas. Que, por lo general, es a diferente horario para cada día de la semana. Continuando con el ejemplo de las computadoras para los estudiantes, se ajustan sus horarios de consumo tomando en cuenta dos parámetros:

1. Las horas que se encienden según nos indicaron los empleados.
2. La curva de demanda energética simulada con la medida.

Resultando los siguientes horarios para el día martes (morado) y miércoles (verde);

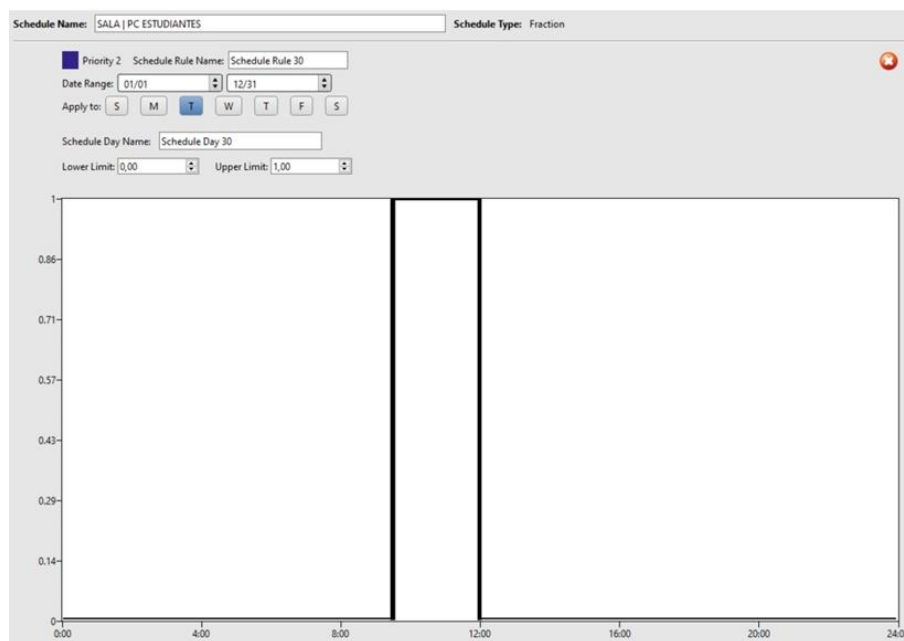


Figura 79 Las PC se encienden a las 10 y se apagan a las 12 el martes. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

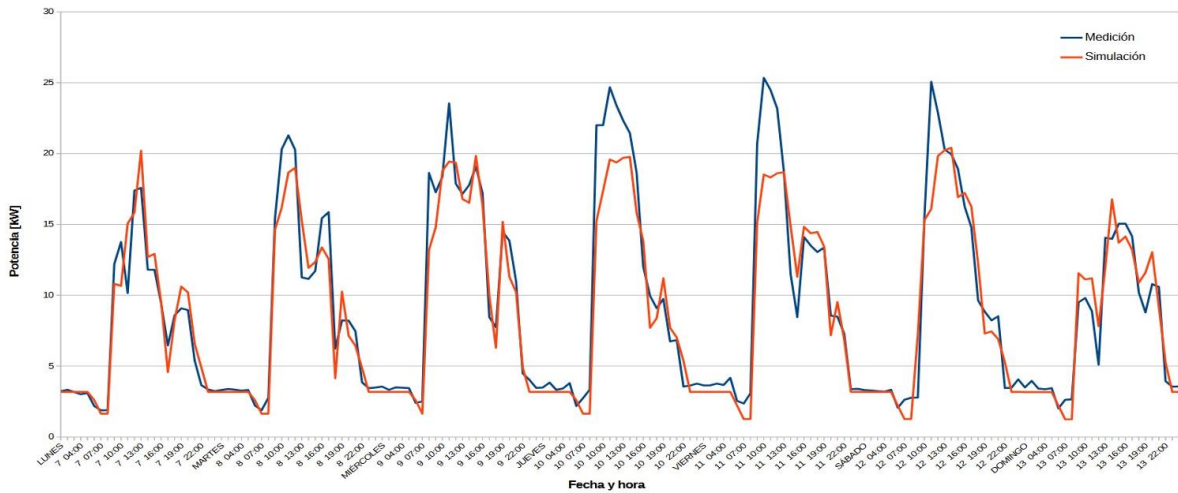
Para cada día está definido un horario diferente como se muestra a continuación:

Jan						
L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Figura 80 Horarios para cada día de la semana. Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software SketchUp 2023.

Cada color representa un horario. De esa manera, como un proceso iterativo de ajuste de horarios, se encontró finalmente un horario que coincide bastante bien con el modelo medido y que se mostró en la Error: no se encontró el origen de la referencia. A continuación, se muestra la curva de los valores medidos con los valores simulados en OpenStudio:

Gráfico 2 Comparación de curva de demanda eléctrica medida contra registrada. Nota: Tabla obtenida de OpenStudio



Para calcular el error utilizamos la ecuación:

$$error = \left| 1 - \frac{kWh_{medidos}}{kWh_{simulados}} \right|$$

Al obtener la media de estos errores, nos resulta un error del 19.39%.

Consumo de energía simulado

De la simulación anual se obtuvo la demanda de potencia y el consumo.

Tabla 12 Consumo eléctrico mensual de línea base [kWh] . Nota: Tabla obtenida de OpenStudio

Linea base													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	2050.1	2004.3	2369.9	2411.9	2528.9	2487.5	2521.4	2551.5	2397.4	2336.1	2280.6	2237.1	28176.5
Interior Lighting	994.4	898.8	996.0	962.6	994.4	964.1	994.4	994.5	964.1	994.4	962.6	996.0	11716.2
Interior Equipment	1724.6	1570.6	1753.8	1669.1	1743.0	1692.5	1724.8	1750.5	1684.8	1724.6	1695.2	1727.7	20461.0
Fans	991.2	907.9	1018.5	968.4	1004.6	977.8	993.8	1013.1	977.1	991.2	982.5	1004.4	11830.4
Total	5760.2	5381.6	6138.2	6011.9	6270.9	6121.8	6234.4	6309.5	6023.3	6046.3	5920.8	5965.1	72184.0

Gráfico 3 Consumo eléctrico mensual [kWh]. Nota: Gráfica obtenida de OpenStudio

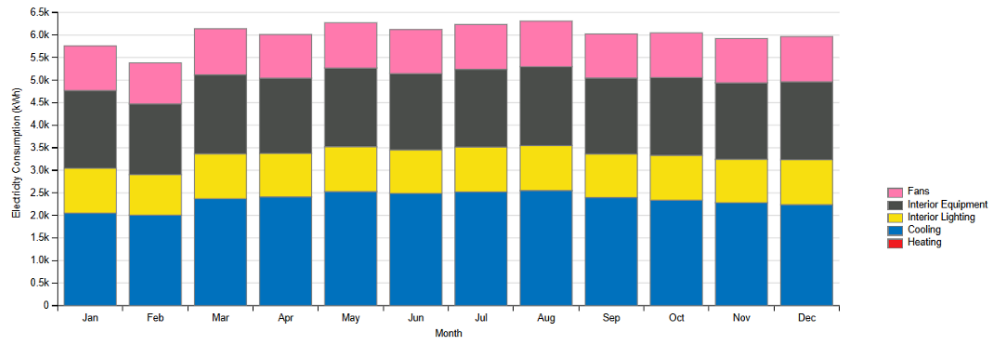
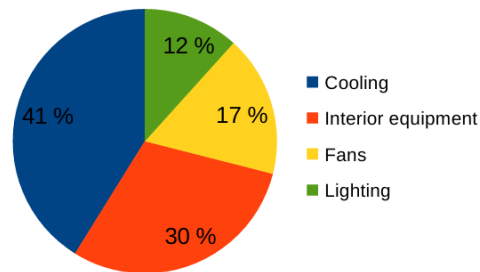


Gráfico 4 Distribución de consumo eléctrico anual. Nota: Gráfica obtenida de OpenStudio



Los equipos de climatización (Cooling y Fans) tienen un consumo anual del 58%, los equipos eléctricos representan un consumo anual del 30% y las luminarias tienen un consumo anual del 12%.

Indicadores de desempeño energético (IDEn)

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. Para ellos establecemos inicialmente al área total ocupada del edificio que es el área de los niveles:

$$\text{Área total ocupada del edificio} = 338.55 \text{ m}^2$$

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Área total ocupada del edificio}} = \frac{72\,184 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 213.22 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energético anual})}{\text{Área total ocupada del edificio}} = 151.28 \frac{\text{Kg}_{CO_2}}{\text{m}^2}$$

Los indicadores anteriores pueden ser clasificados según su desempeño, conforme a la tabla:

Tabla 13 Valores indicativos según la normativa vigente en la UE

Calificación	Consumo de energía	Emisiones de CO ₂
A	< 55 kWh/m ² año	< 15 kg CO ₂ /m ² año
B	55-85 kWh/m ² año	15-25 kg CO ₂ /m ² año
C	85-125 kWh/m ² año	25-40 kg CO ₂ /m ² año
D	125-175 kWh/m ² año	40-55 kg CO ₂ /m ² año
E	175-230 kWh/m ² año	55-85 kg CO ₂ /m ² año
F	230-275 kWh/m ² año	85-105 kg CO ₂ /m ² año
G	≥ 275 kWh/m ² año	≥ 105 kg CO ₂ /m ² año

Por lo tanto, el IGDE tiene clasificación E y la ICO₂ tiene clasificación G.

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

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

Para calcular el costo de la energía utilizamos el pliego tarifario según SIGET:

MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	DEC
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-mes	0.867998	1.015107	0.786919	0.923566	0.821532	1.566566	0.867936	1.031851
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.194827	0.185629	0.191509	0.183983	0.195619	0.171692	0.187937	0.129803
Energía en Resto	US\$/kWh	0.164001	0.153495	0.162367	0.160247	0.168196	0.144925	0.151648	0.117569
Energía en Valle	US\$/kWh	0.192810	0.182531	0.188783	0.181927	0.193948	0.167760	0.185365	0.128169
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	8.044023	9.156741	14.151259	19.220377	20.870146	9.942488	10.688800	5.447846

Figura 81 Pliego tarifario Ago-01 hasta Oct-31. Nota: Tabla obtenida de (SIGET_pliego_tarifario, 2025)

A continuación, se muestran los costos de energía y de potencia totales para el año.²

Tabla 14 Costos de consumo de energía modelo base. Nota: Tabla elaborada por el autor

mes	kWh/mes	punta	valle	resto	Costo total mensual por kWh
enero	5760.21	\$230.61	\$124.39	\$612.63	\$967.63
febrero	5381.61	\$215.45	\$116.21	\$572.37	\$904.03
marzo	6138.16	\$245.74	\$132.55	\$652.83	\$1,031.12
abril	6011.92	\$240.69	\$129.83	\$639.40	\$1,009.91
mayo	6270.92	\$251.05	\$135.42	\$666.95	\$1,053.42
junio	6121.76	\$245.08	\$132.20	\$651.09	\$1,028.37
julio	6234.44	\$249.59	\$134.63	\$663.07	\$1,047.29
agosto	6309.46	\$252.60	\$136.25	\$671.05	\$1,059.90
septiembre	6023.3	\$241.14	\$130.07	\$640.61	\$1,011.83
octubre	6046.29	\$242.06	\$130.57	\$643.06	\$1,015.69
noviembre	5920.82	\$237.04	\$127.86	\$629.71	\$994.61
diciembre	5965.13	\$238.81	\$128.82	\$634.43	\$1,002.05
				Total anual	\$12,125.86

² Los costos monetarios que se calculan incluyen el impuesto del IVA (13%), el cual no se refleja en las tarifas de los pliegos tarifarios

Tabla 15 Costos de consumo de potencia y total costos (kWh + kW) modelo base. Nota: Tabla elaborada por el autor

Mes	Consumo mensual [kW]	Costo potencia [\$/kW-mes]	Total \$ mensual por kW	Costo total mensual [kWh+kW]
enero	23	\$19.22	\$442.06	\$1,592.95
febrero	23.11	\$19.22	\$444.18	\$1,523.48
marzo	24.28	\$19.22	\$466.67	\$1,692.50
abril	25.38	\$19.22	\$487.81	\$1,692.43
mayo	24.12	\$19.22	\$463.60	\$1,714.23
junio	25.03	\$19.22	\$481.09	\$1,705.68
julio	24.29	\$19.22	\$466.86	\$1,711.00
agosto	24.74	\$19.22	\$475.51	\$1,735.01
septiembre	24.42	\$19.22	\$469.36	\$1,673.74
octubre	23.88	\$19.22	\$458.98	\$1,666.38
noviembre	25.28	\$19.22	\$485.89	\$1,672.97
diciembre	23.31	\$19.22	\$448.03	\$1,638.59
		Total anual	\$5,590.05	\$20,018.97

Por tanto, el ICEE será:

$$ICEE = \frac{\$20,018.97}{338.55 \text{ m}^2} = \$59.13 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

- **Indicador de desempeño energético en refrigeración (IDER)³**

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{(28178 + 11831) \cdot \text{kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 118.18 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{8717 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 25.7 \text{ kWh}$$

³ El valor del consumo energético anual de refrigeración es la suma de la energía producida por los AA y los ventiladores de los serpentines

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{20461 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 60.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 1. Cambio horario y programación de temperatura de los AA

En Japón las temperaturas máximas de verano rondan los 44 °C con humedades arriba de 80%. En las oficinas, los ocupantes que estaban vestidos con traje formal (camisas manga larga, sacos y corbatas) tenían la necesidad de programar el aire acondicionado a bajas temperaturas, produciendo huellas de carbono y un gasto de energía significativos.

Para contrarrestar este fenómeno, el gobierno japonés y las empresas idearon un concepto llamado “Cool Biz”. Este movimiento emplea estrategias con el tipo de vestimenta de verano y la utilización de equipos optimizados para mantener la temperatura más refrescante (FASHIONSAP , 2011). Cool Biz recomienda programar la temperatura interior a 28 °C para refrigeración y 20 °C.



Figura 82 Estrategia con la vestimenta. Obtenida de (Lallana, 2022)

El Software Climate Consultant 6.0 muestra la temperatura de confort para El Salvador según ASHRAE Std. 55, siendo la mínima de 22 con ropa de invierno y máxima de 27 °C con ropa de verano.

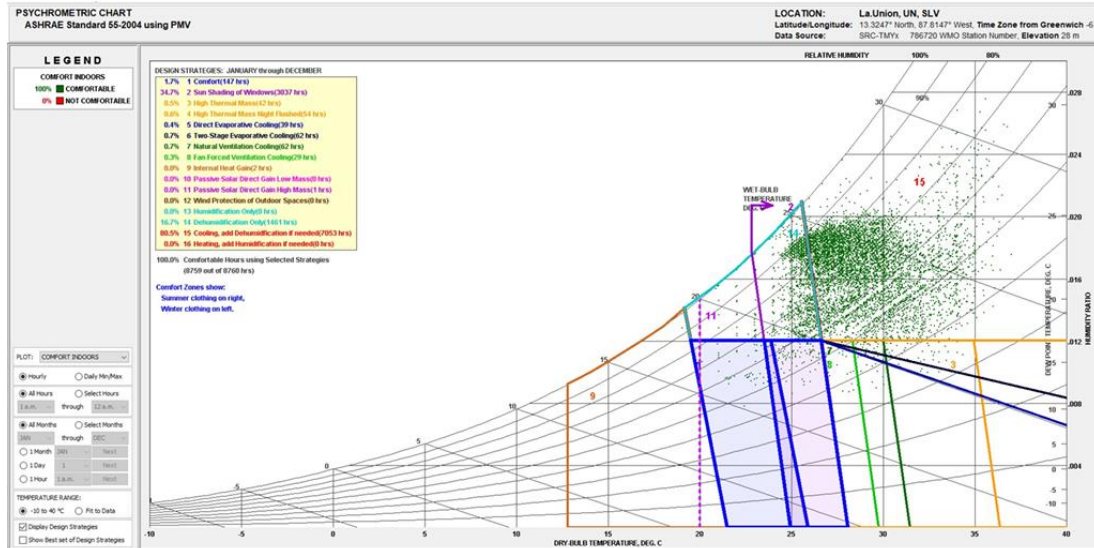


Figura 83 Temperaturas de confort para El Salvador según la ASHRAE Std. 55, Nota: Captura de pantalla realizada por el autor utilizando el software Climate Consultant.

Además, el (CNE), a fin de incentivar el buen uso y consumo racional de las fuentes de energía, da indicaciones sobre electrodomésticos y aires acondicionados. En apoyo a las recomendaciones de Cool Biz, ASHRAE Std. 55 y el CNE, se propone sobre los aires acondicionados lo siguiente:

Programación de temperatura

- Programar a 26 °C. Y conforme en el edificio se reúnan más personas, se podrá programar un grado menos, hasta un mínimo recomendado de 21°C.
- Utilizar la función de movimiento (swing) para acondicionar el aire en menos tiempo.

Cambio horario

- Por la mañana, encender gradualmente a partir de las 08:30 a.m. a 12:00 p.m.
- Al almuerzo, reducir al mínimo posible la utilización.
- Por la tarde, mantener encendidos hasta las 04:00 p.m.
- Por la tarde-noche, apagar gradualmente los equipos de la 04:00 p.m. hasta 09:30 p.m.

Prácticas de confort térmico

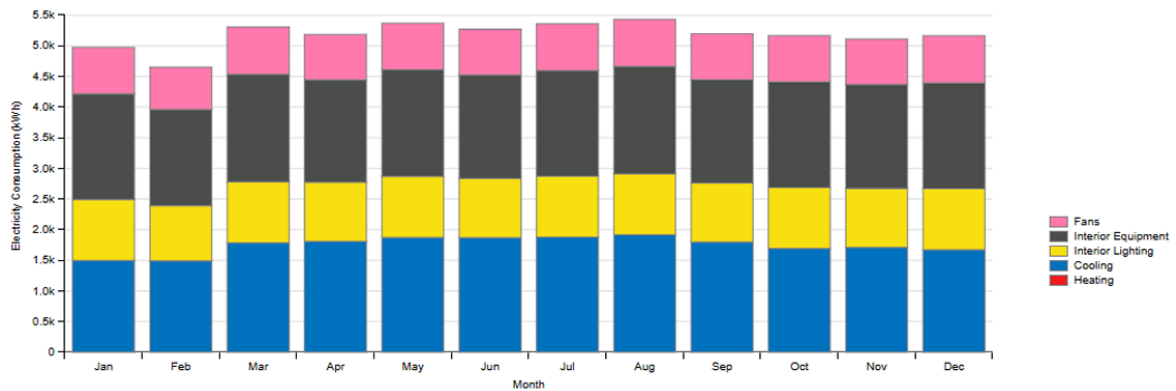
- Mantener las puertas cerradas para aumentar aislamiento.
- Apagar el equipo de aire acondicionado cuando no haya nadie en el área que éste climatizando.
- Evitar encender todos los equipos si no está agendada la visita de estudiantes.
- Utilizar ropa de color claro y fresca o ligera para evitar que la sensación de calor sea causada por vestuario con retención térmica.

Consumo de energía simulado para el CUBO

Tabla 16 Consumo eléctrico mensual para escenario 1 [kWh]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	1498.11	1490.88	1784.34	1810.99	1872.32	1870.03	1878.12	1917.2	1798.35	1693.19	1709.89	1672.17	20995.58
Interior Lighting	994.44	898.79	995.96	962.55	994.44	964.08	994.43	994.45	964.07	994.44	962.56	995.95	11716.17
Interior Equipment	1724.56	1570.61	1753.8	1669.09	1742.95	1692.45	1724.76	1750.49	1684.78	1724.56	1695.16	1727.74	20460.95
Fans	754.92	691.13	770.69	742.36	759.26	744.53	760.36	767.43	747.8	754.92	743.44	769.62	9006.47
Total	4972.03	4651.41	5304.79	5185	5368.98	5271.09	5357.67	5429.56	5195	5167.11	5111.05	5165.48	62179.16

Gráfico 5 Consumo eléctrico mensual del escenario 1



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

Con los criterios explicados en el modelo de línea base, por tanto, solo se mostrarán los resultados.

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{62179.2 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 183.66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energetico anual})}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{36\,841.2 \text{ Kg}_{CO_2}}{338.55 \text{ m}^2} = 108.82 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energia anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{\$18,868.85}{338.55 \text{ m}^2} = \$55.73 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{30\,002.05 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 88.62 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,716.17 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 34.61 \text{ kWh}$$

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{20\,460.95 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 60.44 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 2. Reubicación de cargas y gestión eficiente de equipos eléctricos

Cuando los oasis calientan agua se convierten en cargas térmicas para el aire acondicionado. Además, para enfriar el equipo de servidores que están encerrados en el área de electricidad pasa encendido un equipo de aire acondicionado. Los equipos pueden estar a temperaturas más altas, como las de la sala principal. Además, muchos de los equipos eléctricos se mantienen encendidos cuando no son utilizados. Se propone sobre estas cargas térmicas y los equipos eléctricos lo siguiente:

Reubicación de cargas térmicas

- Reubicar el sistema de servidores hasta la sala principal, ubicado cerca de las unidades interiores. Esto eliminará el AA del área eléctrica.
- Reubicar los oasis que se encuentran en la oficina y en la sala principal hacia la cocina.

Gestión eficiente de equipos eléctricos

- Activar el modo standby o ahorro de energía de computadoras cuando se encuentren en inactividad.
- Apagar y desenchufar las computadoras, TV, impresoras, oasis, UPS, cafeteras, cargadores de celular, bocinas, etc., cuando no se utilicen y al finalizar la jornada laboral.
- Encender la TV Smart 55” hasta tener visitas escolares, especiales o haya una cantidad significativa de personas.

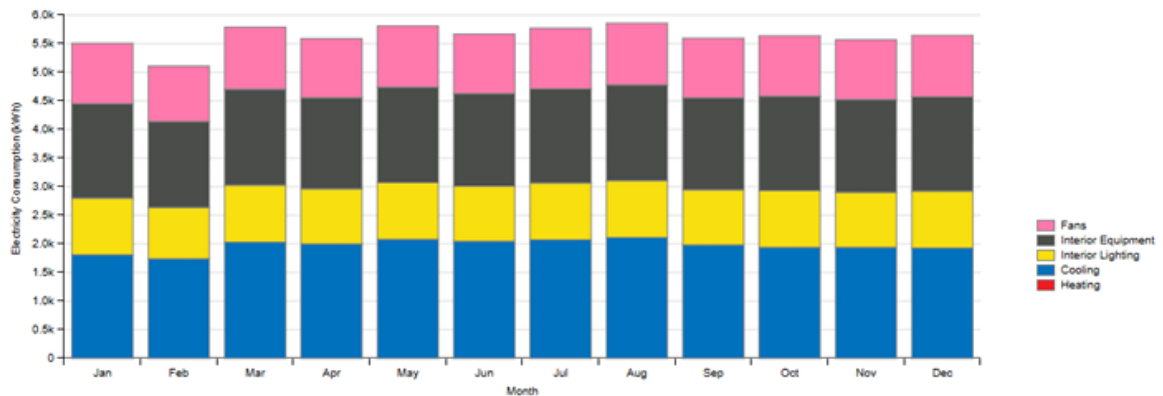
Consumo de energía simulado para el CUBO

De la simulación anual se obtuvo la demanda de potencia y el consumo.

Tabla 17 Consumo eléctrico mensual para escenario 2 [kWh]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	1807.2	1740.4	2030.8	2000.4	2079.6	2045.3	2070.7	2111.9	1981.6	1939.8	1940.3	1927.4	23675.5
Interior Lighting	993.3	897.8	994.8	961.5	993.3	963.0	993.3	993.3	963.0	993.3	961.5	994.8	11703.0
Interior Equipment	1648.8	1501.8	1677.4	1595.1	1667.2	1618.6	1648.5	1674.5	1610.8	1648.8	1621.3	1651.2	19564.1
Fans	1055.5	966.9	1084.6	1031.2	1069.8	1041.2	1058.3	1078.8	1040.5	1055.5	1046.3	1069.5	12598.0
Total	5504.8	5106.8	5787.7	5588.2	5809.9	5668.1	5770.8	5858.6	5595.9	5637.4	5569.4	5642.9	67540.6

Gráfico 6 Consumo eléctrico mensual del escenario 2



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{67\,540.6 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 199.50 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energetico anual})}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{40\,017.8 \text{ Kg}_{CO_2}}{338.55 \text{ m}^2} = 118.20 \frac{\text{Kg}_{CO_2} \cdot \text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energia anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{\$18,812.58}{338.55 \text{ m}^2} = \$55.57 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{36\,273.5 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 107.14 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,703 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 34.57 \text{ kWh}$$

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{19\,564.1 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 57.79 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 3. Desactivar AA MiniSplit de la oficina

La oficina, que está al costado de la sala principal, la utiliza solamente un ocupante, y casualmente, está otro más. Por tanto, se propone lo siguiente:

- Desactivar el AA MiniSplit de la oficina.
- Instalar ventanas tipo persiana o solaire que permitan el flujo de aire desde la sala.



Figura 84 Ventana tipo persiana

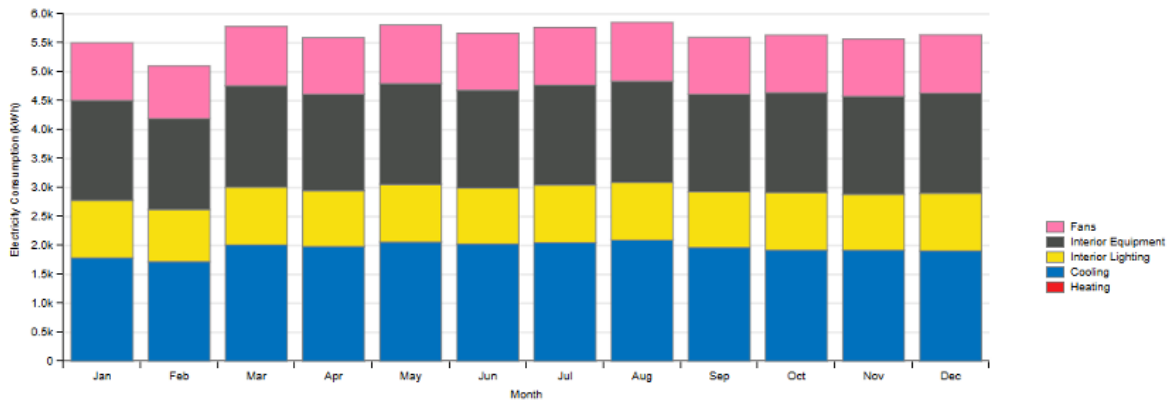
Consumo de energía simulado

De la simulación anual se obtuvo la demanda de potencia y el consumo.

Tabla 18 Consumo eléctrico mensual para escenario 3

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	1785.5	1722.0	2010.3	1982.5	2060.8	2026.7	2051.4	2093.5	1964.3	1921.6	1920.6	1906.9	23446.1
Interior Lighting	994.4	898.8	996.0	962.6	994.4	964.1	994.4	994.5	964.1	994.4	962.6	996.0	11716.2
Interior Equipment	1724.6	1570.6	1753.8	1669.1	1743.0	1692.5	1724.8	1750.5	1684.8	1724.6	1695.2	1727.7	20461.0
Fans	996.7	912.9	1024.0	973.8	1010.2	983.1	999.4	1018.6	982.5	996.7	987.9	1009.9	11895.6
Total	5501.1	5104.4	5784.1	5587.9	5808.4	5666.4	5769.9	5857.1	5595.6	5637.3	5566.2	5640.5	67518.8

Gráfico 7 Consumo eléctrico mensual del escenario 3



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{57\,518.8 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 199.44 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energético anual})}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{40\,004.9 \text{ Kg}_{CO_2}}{338.55 \text{ m}^2} = 118.17 \frac{\text{Kg}_{CO_2} \cdot \text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energía anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{\$18,808.27}{338.55 \text{ m}^2} = \$55.56 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energético anual de refrigeración}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{35\,028.06 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 104.39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,716.17\text{kWh}}{338.55\text{ m}^2} = 34.61\text{ kWh}$$

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{20\,460.95\text{ kWh}}{338.55\text{ m}^2} = 60.44\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 4. Instalación de película polarizada

Las paredes frontales o de un costado del edificio son de vidrio que tienen una lámina oscurecedora. Esto evita que las personas se deslumbren debido a la luz del sol, sin embargo, no filtra los rayos UV y el calor infrarrojo.

Existe en el mercado una Película de control solar V-KOOL 70% transparente. Tiene un precio mayor, sin embargo, es importante para aprovechar la luz natural, mediante fachada y particiones acristaladas que permiten la entrada de luz. Gracias a la ubicación del edificio y de las paredes de vidrio se puede aprovechar la luz del sol a lo largo del año como se muestra en la siguiente imagen.

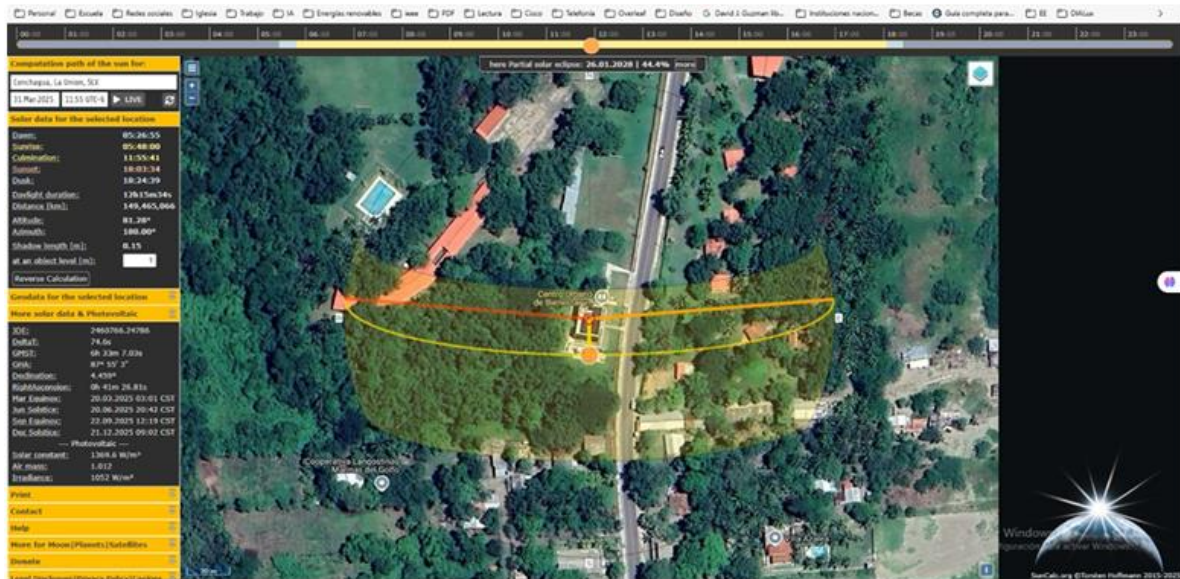


Figura 85 Recorrido del sol a lo largo del año

Por tanto, se propone:

- Instalación de lámina polarizada en los vidrios exteriores del edificio.

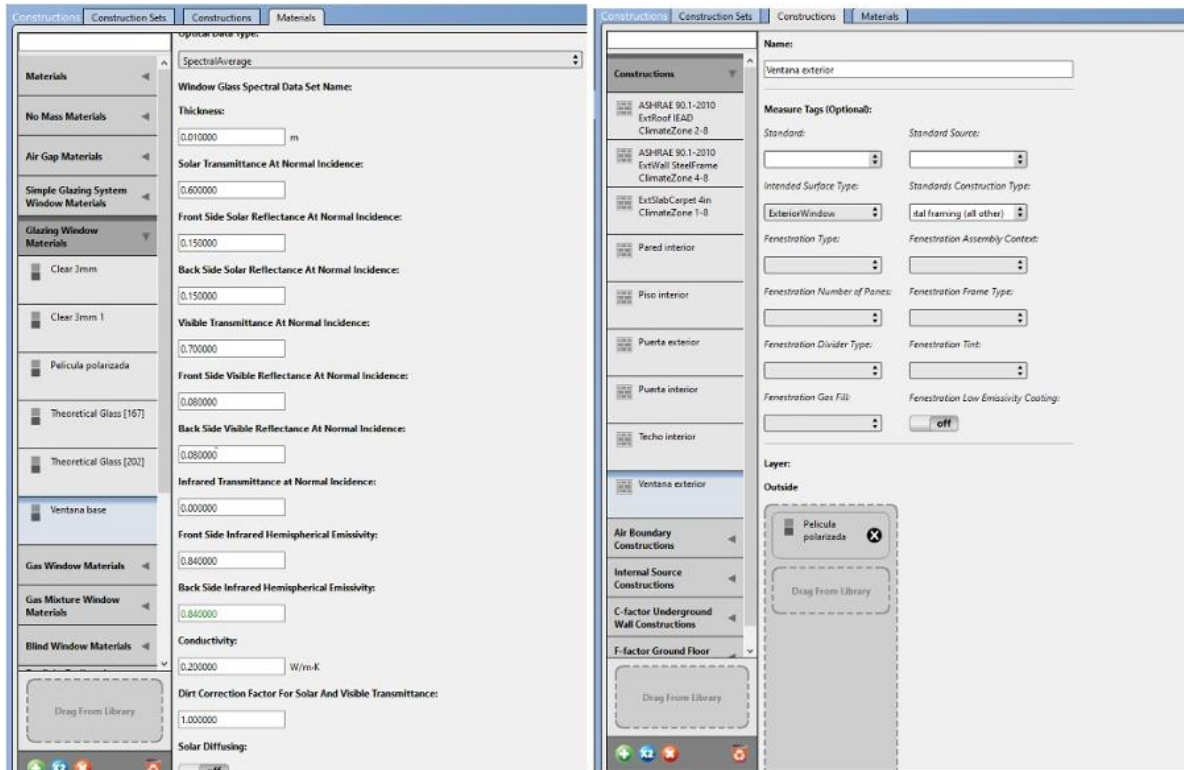


Figura 86 Configuración de parámetros en OpenStudio para lograr propiedades de vidrio polarizado

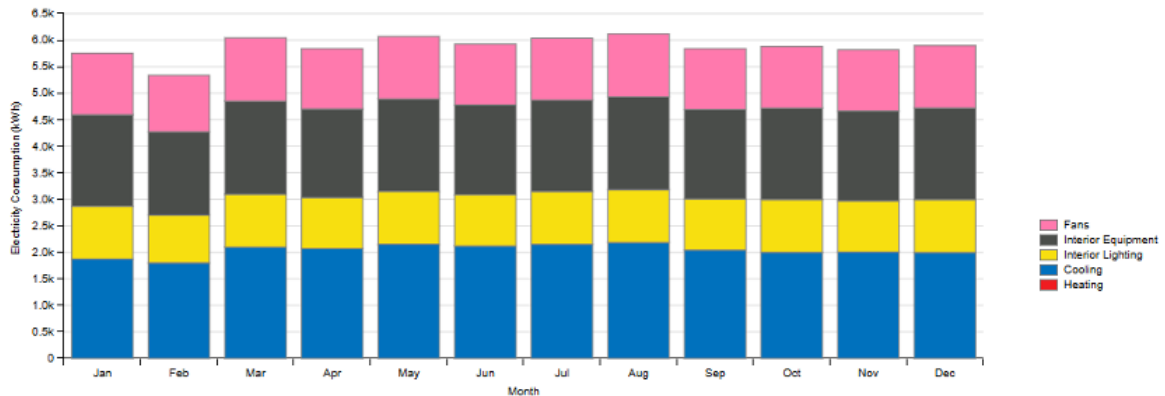
Consumo de energía simulado para el CUBO

De la simulación anual se obtuvo la demanda de potencia y el consumo.

Tabla 19 Consumo eléctrico mensual para escenario 4

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	1873.3	1801.0	2099.5	2069.6	2152.6	2120.9	2151.1	2186.3	2042.2	1999.2	2006.9	1996.6	24499.0
Interior Lighting	994.4	898.8	996.0	962.6	994.4	964.1	994.4	994.5	964.1	994.4	962.6	996.0	11716.2
Interior Equipment	1724.6	1570.6	1753.8	1669.1	1743.0	1692.5	1724.8	1750.5	1684.8	1724.6	1695.2	1727.7	20461.0
Fans	1161.3	1063.2	1192.0	1134.4	1176.3	1144.6	1164.4	1185.8	1144.0	1161.3	1150.0	1176.3	13853.5
Total	5753.6	5333.6	6041.2	5835.6	6066.3	5922.0	6034.7	6116.9	5835.1	5879.5	5814.6	5896.6	70529.7

Gráfico 8 Consumo eléctrico mensual del escenario 4



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Área total ocupada del edificio}} = \frac{70\,529.7 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 208.33 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año (ICO₂)**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energético anual})}{\text{Área total ocupada del edificio}} = \frac{41\,788.9 \text{ Kg}_{CO_2}}{338.55 \text{ m}^2} = 123.43 \frac{\text{Kg}_{CO_2} \cdot \text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energía anual}}{\text{Área total ocupada del edificio}} = \frac{\$19,583.13}{338.55 \text{ m}^2} = \$57.84 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energético anual de refrigeración}}{\text{Área total ocupada del edificio}} = \frac{38\,352.5 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 113.28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,716.17 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 34.61 \text{ kWh}$$

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{20\,460.95 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 60.44 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 5. Reactivación del sistema fotovoltaico

Son tres los factores principales que involucran el sistema fotovoltaico: los módulos, los inversores y el banco de baterías. Las recomendaciones técnicas para cada uno de ellos serían los siguientes:

Estimación Teórica de Producción del Sistema

Cabe aclarar, que esta es una dimensión complementaria del estudio de tesis, es decir, que esta estimación tiene fines teóricos y no representa una simulación integral.

Tabla 20 Parámetros estimados del sistema fotovoltaicos

Parámetros considerados	Potencia instalada:	21.8 kWp (40 módulos de 545 Wp)
	Irradiancia media diaria:	4.5 HSP (El Salvador)
Producción estimada	Diaria:	21.8 kWp × 4.5 h = 98.1 kWh/día
	Mensual:	8.1 kWh/día × 30 días = 2,943 kWh/mes
Limitaciones	No se consideran pérdidas por suciedad, cableado, temperatura o condiciones de instalación.	
	No incluye análisis del perfil de consumo energético real.	

Para reactivar el sistema fotovoltaico hace falta una inspección que esté dirigida por un profesional en el área acompañado por equipo. La inspección se realizaría de la siguiente forma:

- Inspección de las 40 celdas fotovoltaicas (cableado, conectores, valores eléctricos) y corroborar que no haya partes dañadas o quemadas.
- Inspección de las protecciones y verificar que estén en condiciones de activarse.
- Inspección del cableado que va hacia los inversores y verificar que no estén quemados.

- Revisar el BMS y la causa de porque unas baterías están activas y otras no lo están.
- Inspeccionar el inversor y determinar por qué no está habilitado.

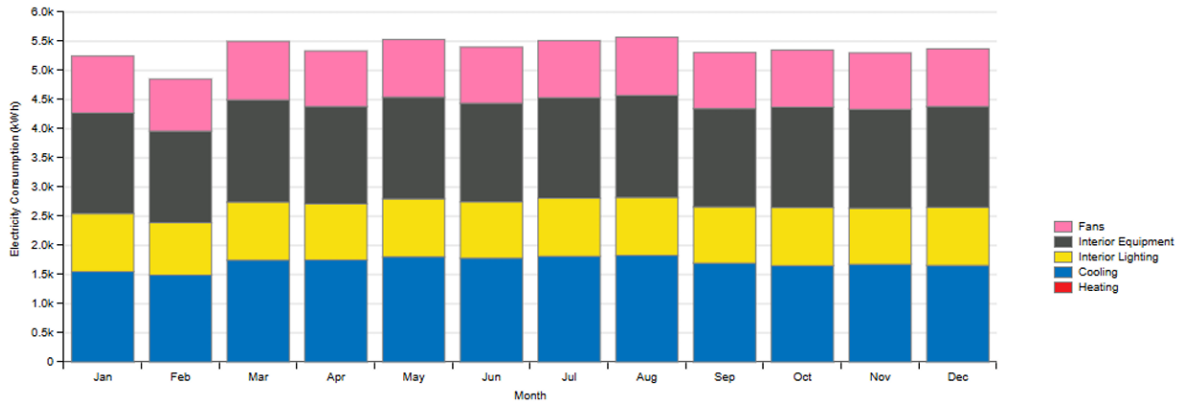
La inspección permitirá determinar el estado de los componentes, detectar las fallas y solucionarlas. Bajo el supuesto de que no existen equipos ni partes dañados y que necesiten cambiarse, la reactivación del sistema fotovoltaico costaría alrededor de \$5000.00.

Consumo de energía simulado

Tabla 21 Consumo eléctrico mensual para escenario 5

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	1551.0	1490.3	1746.4	1749.7	1804.0	1781.7	1814.6	1827.9	1696.4	1653.6	1676.0	1657.5	20449.2
Interior Lighting	994.4	898.8	996.0	962.6	994.4	964.1	994.4	994.5	964.1	994.4	962.6	996.0	11716.2
Interior Equipment	1724.6	1570.6	1753.8	1669.1	1743.0	1692.5	1724.8	1750.5	1684.8	1724.6	1695.2	1727.7	20461.0
Fans	976.6	894.5	1003.3	954.1	989.7	963.2	979.2	998.0	962.6	976.6	967.9	989.5	11655.1
Total	5246.6	4854.2	5499.4	5335.5	5531.1	5401.4	5513.0	5570.8	5307.8	5349.3	5301.6	5370.7	64281.5

Gráfico 9 Consumo eléctrico mensual del escenario 5



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

- Indicador global de desempeño energético (IGDE)

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{64\,231.5 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 189.87 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO2/m2 al año (ICO2)**

$$ICO2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO2})(\text{Consumo energetico anual})}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{38\,086.8 \text{ Kg}_{CO2}}{338.55 \text{ m}^2} = 112.50 \frac{\text{Kg}_{CO2} \cdot \text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energia anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{\$17,917.78}{338.55 \text{ m}^2} = \$52.93 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energetico anual de refrigeracion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{32\,104.3 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 94.83 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energetico anual de iluminacion}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,716.17 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 34.61 \text{ kWh}$$

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

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energetico anual de equipos electricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{20\,460.95 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 60.44 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Escenario 6. Combinación de todos los escenarios anteriores

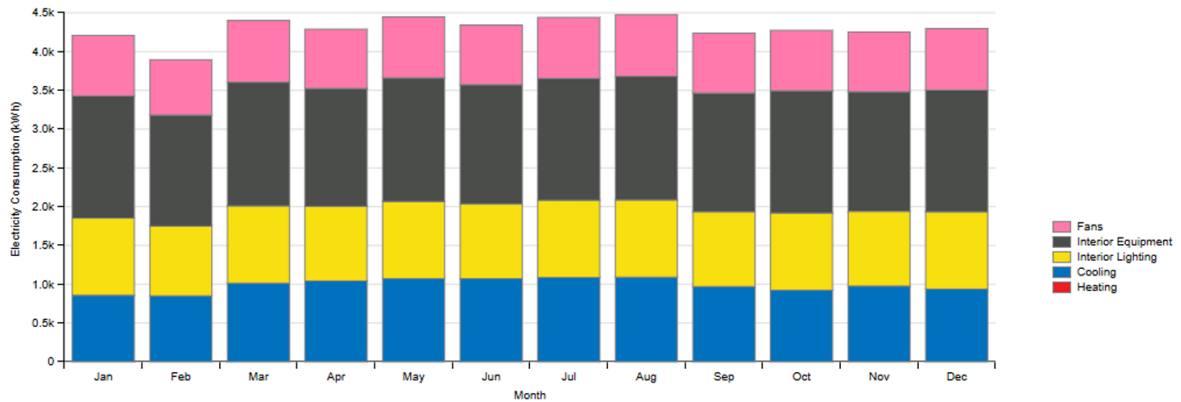
Es la combinación de todos los escenarios anteriores juntos. Con los mismos parámetros y procedimientos indicados, por tanto, no se volverán a indicar acá; solo mostraremos los resultados.

Consumo de energía simulado

Tabla 22 Consumo eléctrico mensual escenario 6

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Cooling	858.06	851.82	1014.7	1043.07	1073.13	1072.56	1088.93	1091.89	970.88	924.45	976.97	938.29	11904.75
Interior Lighting	993.79	898.21	995.32	961.93	993.79	963.46	993.79	993.8	963.46	993.79	961.94	995.31	11708.59
Interior Equipment	1576.83	1431.14	1594.89	1519.8	1594.45	1536.96	1572.82	1595.45	1531.27	1576.83	1543.1	1571.59	18645.12
Fans	778.39	713.38	796.64	763.81	785.76	768.9	784.69	793.17	770.66	778.39	769.42	791.04	9294.26
Total	4207.08	3894.54	4401.56	4288.62	4447.13	4341.87	4440.23	4474.31	4236.26	4273.46	4251.42	4296.23	51552.71

Gráfico 10 Consumo eléctrico mensual del escenario 6



Indicadores de desempeño energético (IDEn)

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

$$IGDE = \frac{\text{Consumo energético anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{51\,552.7 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 152.28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

- **Indicador de kg CO₂/m² al año (ICO₂)**

$$ICO_2 = \frac{(0.5925 \text{ Kg}_{CO_2})(\text{Consumo energético anual})}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{30\,545.0 \text{ Kg}_{CO_2}}{338.55 \text{ m}^2} = 90.22 \frac{\text{Kg}_{CO_2} \cdot \text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$ICEE = \frac{\text{Costo de la energía anual}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{\$15,417.71}{338.55 \text{ m}^2} = \$45.54 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

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

$$IDER = \frac{\text{Consumo energético anual de refrigeración}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{21\,199.01 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 62.62 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

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

$$IDEI = \frac{\text{Consumo energético anual de iluminación}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{11\,708.59 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 34.58 \text{ kWh}$$

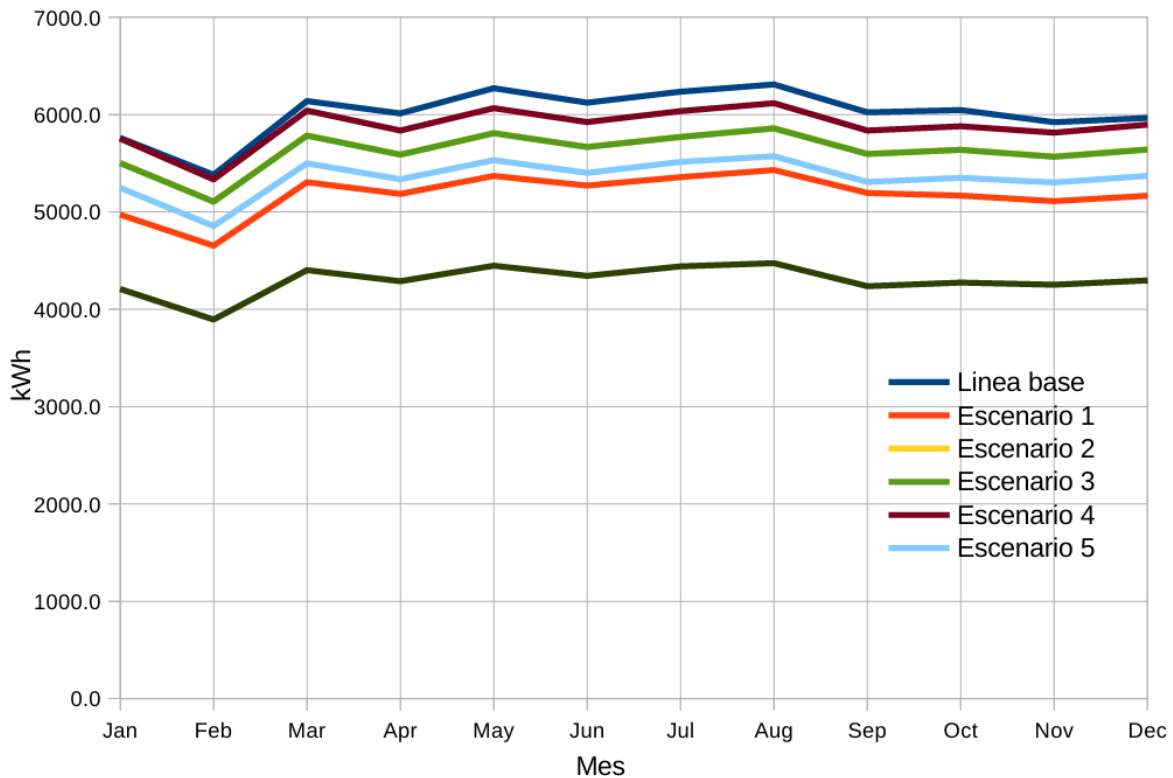
- **Indicador de desempeño energético en equipos eléctricos (IDEE)**

$$IDEE = \frac{\text{Consumo energético anual de equipos eléctricos}}{\text{Area total ocupada del edificio}} = \frac{18\,645.12 \text{ kWh}}{338.55 \text{ m}^2} = 55.07 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Comparativa de la demanda energética

Al comparar el consumo eléctrico anual se observa el comportamiento de cada escenario.

Gráfico 11 Consumo eléctrico mensual de cada escenario



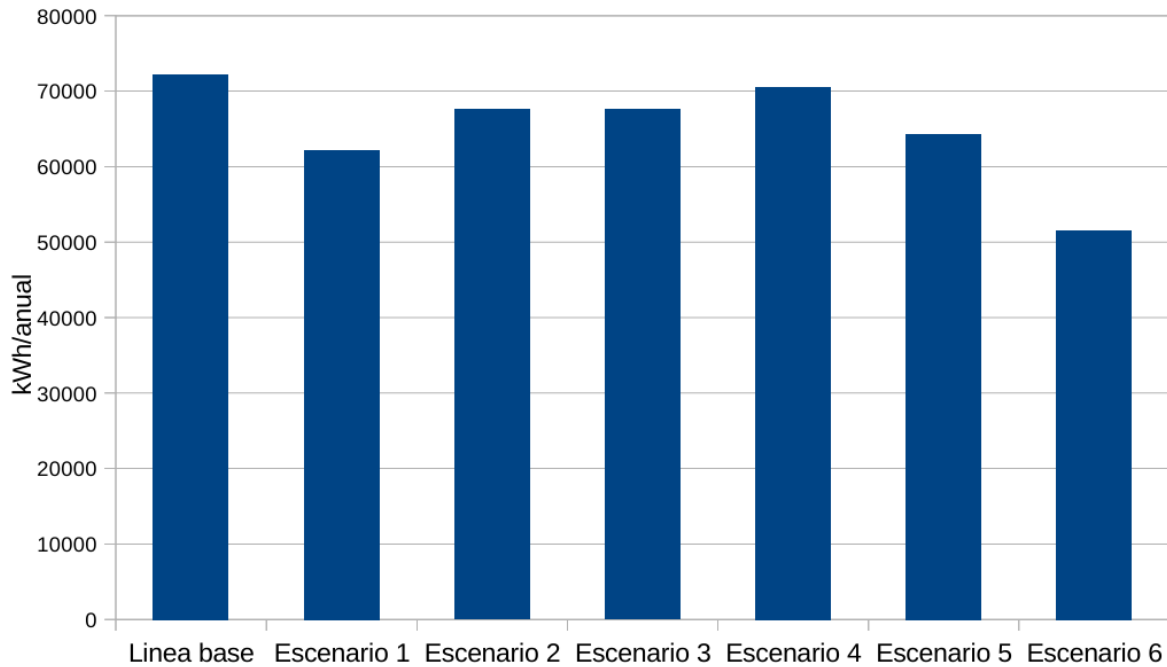
Nota: La línea amarilla del escenario 2 está «detrás» de la línea verde del escenario 3.

El consumo energético anual de cada escenario es un indicativo del impacto que genera.

Tabla 23 Consumo anual de los escenarios energéticos

Escenario	Linea base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Consumo anual [kWh]	72184	62179.16	67540.6	67518.8	70529.7	64281.5	51552.71

Gráfico 12 Consumo eléctrico anual de los escenarios



Comparativa de los indicadores de desempeño energéticos

En la descripción de los escenarios se encontró los valores de los indicadores energéticos de cada uno. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 24 Tabla de Indicadores de Desempeño Energético

	Línea base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
IGDE	213.22	183.66	199.50	199.44	208.33	189.87	152.28
ICO2	126.33	108.82	118.20	118.17	123.43	112.50	90.22
ICEE	59.21	53.53	55.57	55.56	57.84	52.93	45.54
IDER	118.17	88.62	107.14	104.39	113.28	94.83	62.62
IDEI	34.61	34.61	34.57	34.61	34.61	34.61	34.58
IDEE	60.44	60.44	57.79	60.44	60.44	60.44	55.07

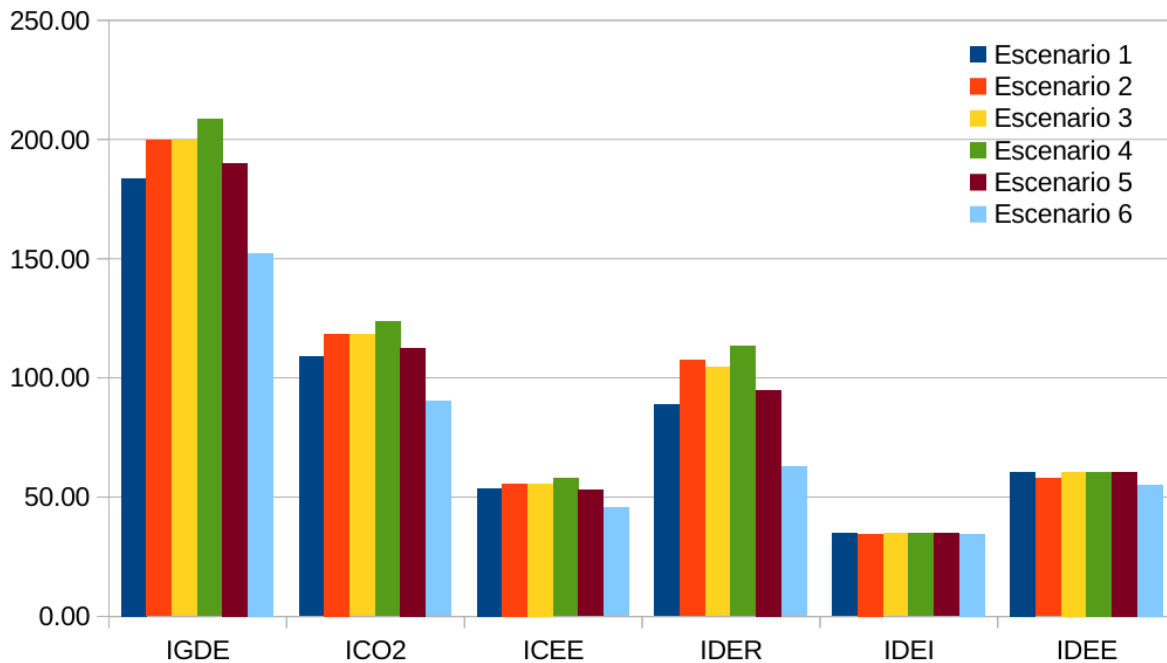
Donde con relación al IGDE, la línea base y los escenarios 1 al 5 tienen clasificación E, solamente el escenario 6 tiene clasificación D. Así mismo con ICO2, la línea base y los escenarios 1 al 5 tienen clasificación G y solamente el escenario 6 tiene clasificación F.

Tabla 25 Valores indicativos para clasificación energética

Calificación	Consumo de energía	Emisiones de CO ₂
A	< 55 kWh/m ² año	< 15 kg CO ₂ /m ² año
B	55-85 kWh/m ² año	15-25 kg CO ₂ /m ² año
C	85-125 kWh/m ² año	25-40 kg CO ₂ /m ² año
D	125-175 kWh/m ² año	40-55 kg CO ₂ /m ² año
E	175-230 kWh/m ² año	55-85 kg CO ₂ /m ² año
F	230-275 kWh/m ² año	85-105 kg CO ₂ /m ² año
G	≥ 275 kWh/m ² año	≥ 105 kg CO ₂ /m ² año

Al graficar estos resultados se hace más evidente el comportamiento de los Indicadores de Desempeño Energético en cada escenario.

Gráfico 13 Comparación de Indicadores de Desempeño Energéticos



Periodo de recuperación

Partiendo de la base de que el gasto eléctrico anual estimado de línea base es de \$20,047.20, se estima el periodo de recuperación de cada escenario.

Tabla 26 Periodo de recuperación

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Gasto de energía eléctrica	\$18,121.26	\$18,812.58	\$18,808.27	\$19,583.13	\$17,917.78	\$15,417.70
Ahorro de energía	\$1,925.93	\$1,234.61	\$1,238.92	\$464.06	\$2,129.41	\$4,629.50
Costo de inversión	\$100.00	\$1,000.00	\$1,400.00	\$4,830.75	\$5,000.00	\$12,330.75
Periodo de recuperación	0.05	0.81	1.13	10.41	2.35	2.66

Es de notar que el impacto individual de cada escenario particular, es mayor a cuando todos los escenarios se juntan.

Plan de acción para la gestión energética

Es recomendable establecer una metodología de control, seguimiento y mantenimiento periódico en el Edificio CUBO El Tamarindo. Esto se logra a través de un programa que registre el diagnóstico y los resultados obtenidos tras cada análisis de ahorro energético.

Medidas de ahorro

- El proceso debe iniciar con la sensibilización de los usuarios del edificio respecto a la necesidad de reducir el consumo energético, como base para el cambio de hábitos y la implementación efectiva de medidas de eficiencia, como los indicados para la implementación de los Escenarios 1 y 2.
- Implementaría la aplicación de estándares de eficiencia energética, de forma coordinada con las herramientas existentes, que permitan alcanzar una reducción en el consumo de energía.
- Aplicar una rehabilitación sostenible que implica la renovación o mejora de estructuras existentes con criterios de eficiencia energética, reducción de impacto ambiental y optimización de recursos. La Estrategia Energética Andaluza 2020, presenta oportunidades para el sector de la Edificación de las que se destacan 3: vigilancia energética, domótica y contadores inteligentes.

Control

- Establecer un Comité Energético responsable de supervisar la implementación de las acciones propuestas y mantenga un monitoreo sistemático de su progreso.

- Concientizar e incentivar a los ocupantes del edificio a través charlas o por medio de carteles que indiquen las buenas prácticas energéticas en las diferentes áreas y para los diferentes equipos.

Seguimiento

- Una vez levantada la línea base (diagnóstico), se sugieren los cambios y se planifica en una línea de tiempo. Posiblemente muchos cambios no se podrán ejecutar en corto plazo, ya sea por razones técnicas o económicas; independiente de esto, es necesario tomar acción para hacer frente a los planes trazados por la gerencia y equipo técnico.
- Realizar un seguimiento regular del consumo de energía eléctrica con el fin de validar el logro de las metas de eficiencia energética.
- Luego de plantearse el levantamiento de la línea base de los planes de acción, es indispensable una constante medición de resultados. Esto permitirá modificar parámetros y variables con la finalidad de alcanzar mejores resultados y por consiguiente, el cumplimiento de los objetivos.
- Todos los miembros del comité y actores implicados deberán participar activamente en capacitaciones periódicas que fortalezcan la mejora continua del desempeño energético.

CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El diagnóstico energético realizado en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO), El Tamarindo, revela que la climatización (HVAC) no solo es el servicio dominante, sino también el foco principal de ineficiencia. Con un 58% del consumo total destinado a mantener el confort térmico en una zona de alta incidencia solar como La Unión, el edificio enfrenta un desafío técnico que combina el diseño arquitectónico con la gestión operativa. Los resultados obtenidos a través del modelo de línea base, que arrojó un consumo anual estimado de 72,184 kWh y un costo de \$20,047.20, sirven como un recordatorio crítico de que la infraestructura pública sin una política de eficiencia energética activa genera costos operativos elevados que comprometen la sostenibilidad del proyecto.

Uno de los puntos más críticos discutidos en esta investigación es el estado del sistema fotovoltaico de 21.8 kWp. A pesar de ser una infraestructura moderna y costosa, su inoperatividad actual debido a la falta de mantenimiento y fallas técnicas en los inversores (lecturas de potencia negativa) representa una oportunidad perdida de ahorro. La discusión técnica sugiere que no basta con instalar tecnología renovable; es imperativo garantizar el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema. Por ejemplo, la limpieza de los módulos, pues la acumulación de polvo en zonas costeras reduce drásticamente la transparencia del vidrio protector y la eficiencia de generación.

La evaluación de los escenarios de mejora permite una discusión profunda sobre la relación costo-beneficio. Es notable que el Escenario 1 (ajuste de horarios y temperaturas de aire acondicionado) sea la medida más eficaz, logrando por sí sola el 11% del ahorro total proyectado con una inversión mínima de apenas el 10% en comparación con otros escenarios. Esto demuestra que, en edificios institucionales, la gestión del comportamiento humano y la programación de equipos son las herramientas más importantes. La práctica observada de programar equipos a 20 °C es técnicamente injustificada bajo la norma ASHRAE 55, que sugiere rangos de confort más elevados para climas tropicales, lo que innecesariamente incrementa la carga de trabajo de los compresores.

Finalmente, la comparación de los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) sitúa al edificio en una clasificación "G", el nivel más bajo de eficiencia según los estándares utilizados. Esta calificación no debe verse solo como un dato negativo, sino como la justificación técnica para la implementación del Plan de Acción para la Gestión Energética propuesta. El ahorro potencial de \$4,629.50 anuales mediante la

combinación de todos los escenarios no solo es una mejora operativa, sino un beneficio financiero con un periodo de recuperación de la inversión de 2.66 años.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES

La presente investigación concluye que la optimización del desempeño energético en el Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades (CUBO), El Tamarindo, es no solo una necesidad técnica, sino una oportunidad financiera y operativa de impacto para los edificios, lograda a través del levantamiento arquitectónico y la implementación de herramientas informáticas compuesto por EnergyPlus, OpenStudio, SketchUp y DView, las cuales permitieron la creación digital del edificio con un margen de error del 19.39 % respecto al consumo real facturado, una cifra que valida la precisión del modelo de simulación para la toma de decisiones estratégicas en ingeniería eléctrica.

A partir de este modelo de línea base, se ha podido diagnosticar que el consumo eléctrico anual estimado asciende a 72,184 kWh, revelando una estructura de demanda donde el sistema de climatización es el consumidor predominante con un 58% del total, seguido por un 30% destinado a equipos eléctricos diversos y un 12% al sistema de iluminación, lo cual sitúa el costo operativo anual en \$20,047.20 y evidencia el uso ineficiente de los recursos térmicos.

En este sentido, la evaluación de los escenarios de mejora permite concluir que la implementación integral de medidas de bajo consumo reduce el gasto anual a \$15,417.70, generando un ahorro tangible de \$4,629.50 anuales que, frente a una inversión requerida de \$12,330.75, arroja un periodo de recuperación de la inversión de tan solo 2.6 años, una cifra atractiva para proyectos de infraestructura social.

Resulta imperativo destacar que, a pesar de estas proyecciones de ahorro, la clasificación actual del edificio según la Tabla de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) es de nivel "G" para todos los escenarios evaluados, lo que denota un desempeño bajo que solo podrá revertirse mediante la ejecución estricta del Plan de Acción para la Gestión Energética propuesto en este estudio, el cual busca no solo la mejora técnica, sino la instauración de una cultura de eficiencia energética persistente.

El hallazgo más significativo de esta investigación señala que el mayor potencial de mejora reside en la gestión de los equipos de climatización, los cuales operaban históricamente sin criterios de confort colectivo ni planificación horaria; se concluye que acciones tan sencillas como el ajuste de los termostatos y la regulación estricta de horarios de encendido y apagado son capaces de generar por sí solas el 11% del ahorro total proyectado, siendo además la medida que requiere la menor inversión económica (aproximadamente un 10% en comparación con el siguiente escenario más económico), lo que significa que el ahorro generado en el primer mes de aplicación operativa sería suficiente para cubrir la totalidad de los costos de capacitación del

personal. Respecto a la gestión de cargas, se concluye que los Escenarios 2 y 3 presentan resultados comparables pero específicos, donde el Escenario 2 se enfoca en la eliminación de un equipo de aire acondicionado de 1 TON de uso continuo y el Escenario 3 aborda uno de 2 TON de uso parcial, demostrando que la racionalización del parque de equipos instalados es fundamental para reducir la carga base del edificio.

Por otro lado, la investigación concluye con especial preocupación que el Sistema Fotovoltaico de 21.8 kWp se encuentra severamente comprometido debido a una falta sistemática de mantenimiento preventivo, manifestada en suciedad acumulada y lecturas anómalas en los inversores que sugieren una degradación acelerada; no obstante, su reactivación mediante una inversión de \$5,000.00 presenta un retorno de inversión de 2.35 años, permitiendo una reducción del 23% en los costos de facturación desde su primer año de operación plena.

Finalmente, se concluye que el diseño e instalación original del sistema fotovoltaico adolece de errores críticos de ingeniería, específicamente en la orientación e inclinación de los paneles, la cual es contraria a las recomendaciones técnicas para la latitud de la zona, lo que provoca una reducción considerable en la potencia real entregada frente a la capacidad nominal instalada, subrayando la necesidad de correcciones físicas inmediatas para transformar el CUBO El Tamarindo en un modelo de sostenibilidad energética institucional que cumpla con los estándares de eficiencia que el contexto climático y económico de El Salvador demanda actualmente.

CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES

Sobre el CUBO El Tamarindo

- Realizar campañas informativas a la comunidad que visita las instalaciones del Centro Urbano de Bienestar y Oportunidades El Tamarindo que promuevan la capacitación en eficiencia energética, asegurando que los ocupantes comprendan y apliquen principios de uso racional de la energía.
- Fijar los equipos de enfriamiento a una temperatura de confort de 26 °C únicamente en las horas propuestas en este documento.
- Controlar el cierre de puertas para evitar un mayor esfuerzo y consumo de los equipos de enfriamiento.
- Realizar un estudio de prefactibilidad que evalúe el costo-beneficio de aplicar acciones que permitan obtener mejores evaluaciones de los Indicadores de Desempeño Energético.

Sobre futuras edificaciones

- Dar continuidad al uso de las herramientas informáticas de análisis térmico y energético como lo es EnergyPlus o OpenStudio para el análisis y diseño de un futuro CUBO a ser construido en el país.
- Así como el caso de (Ministerio de Energía, 2022), recomendamos a las Autoridades nacionales competentes lo siguiente:
 - Estándar de energía neta cero. Desarrollar una estrategia a largo plazo para apoyar la renovación energética del parque construido de edificaciones, tanto públicas como privadas, que les permitan alcanzar altos niveles de eficiencia energética, y de modo que estos alcancen un estándar de energía neta cero.
 - Calificación energética de edificaciones. Implementar el etiquetado obligatorio para nuevas edificaciones de uso público como el CUBO (puede extenderse a edificaciones gubernamentales, privados, comerciales y de oficina). Para edificaciones existentes, se promoverá la calificación energética de carácter voluntario.

Sobre el mantenimiento

- Módulos fotovoltaicos
 - Programar limpieza ordinaria cada 2-3 meses según condiciones ambientales.

- Realizar inspecciones termográficas para detección de puntos calientes.
- Documentar y rotular la disposición de strings para facilitar mantenimiento.
- Inversores
 - Validar parámetros de configuración y conexiones de strings.
 - Limpiar externamente y verificar ventilación.
 - Evaluar funcionamiento del sistema de monitoreo y del MPPT.
- Banco de Baterías
 - Limpieza con aire seco y paño antiestático.
 - Inspección regular de terminales y tornillería.
 - Revisión de temperatura y estado de ciclos de carga/descarga mediante BMS.
 - Mejorar accesibilidad al banco para mantenimiento.
- Aspectos de la instalación y seguridad
 - Implementar rotulación estándar en todos los componentes clave.
 - Evaluar instalación de sistemas de ventilación/extracción en el cuarto técnico.
 - Presencia de interruptores de seguridad accesibles.
 - Realizar capacitaciones básicas al personal operativo.
 - Establecer un plan de mantenimiento trimestral y revisiones visuales mensuales.

BIBLIOGRAFÍA

- Baransu. (15 de octubre de 2025). *Baransu. (2020, 6 de diciembre)*. . Obtenido de ¿La ventilación natural de mi habitación es adecuada?: <https://baransu.net/ventilacion-natural-es-adecuada/>
- CEPAL. (2017). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4106-eficiencia-energetica-america-latina-caribe-avances-desafios-ultimo-quinquenio>
- Climate.OneBuilding.Org. (2022). *Development of Global Typical Meteorological Years (TMYx)*. Obtenido de <https://climate.onebuilding.org>
- Clod Ensemble. (10 de diciembre de 2025). *Clod Ensemble. Open House: Clod Ensemble Studios*. Obtenido de <https://www.clodensemble.com/whatson/open-house-clod-ensemble-studios>
- CNE. (2007). *Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía*. Obtenido de Asamblea Legislativa: https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117_072913170_archivo_documento_legislativo.pdf
- COAMSS. (2018). *Guía de Hábitats Urbanos Sostenibles del AMSS (HAUS)*. Obtenido de opamss.org.sv: https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2021/10/GUIA_HAUS.pdf
- cubo.gob.sv. (febrero de 2025). *Dirección de Reconstrucción del Tejido Social*. Obtenido de El Tamarindo – CUBO: <https://cubo.gob.sv/cubo/el-tamarindo>
- Cueva Villafranco, R. A. (2024). *Análisis energético con énfasis en la eficiencia energética en los Centros Urbanos de Bienestar u Oportunidades, CUBO: Eestudio caso Mejicanos, San Salvador. Universidad de El Salvador*. San Salvador.
- DGEHM. (28 de julio de 2025). *Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas, Manuales de uso eficiente de la energía. Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas*. Obtenido de <https://estadisticas.dgehm.gob.sv/biblioteca/documentos-eficiencia-energetica/manuales-de-uso-eficiente-de-la-energia>
- DGEHM sobre sostenibilidad. (18 de agosto de 2025). *Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (2017)*. Obtenido de Por la sostenibilidad energética en el sector público [PDF]: <https://estadisticas.dgehm.gob.sv/wp->

content/uploads/2017/09/por-la-sostenibilidad-energética-en-el-sector-público.pdf

- DIALux Community. (4 de diciembre de 2025). *How to install the light shelf in Dialux*. Obtenido de <https://community.dialux.com/get-support-with-dialux/post/how-to-install-the-light-shelf-in-dialux-S9PabHRWC7bCvR9>
- Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas. (15 de enero de 2026). Obtenido de Manuales de uso eficiente de la energía. Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas: <https://estadisticas.dgehm.gob.sv/biblioteca/documentos-eficiencia-energetica/manuales-de-uso-eficiente-de-la-energia>
- Eco Home Essentials. (20 de enero de 2026). *Is Spray Foam Insulation Any Good? Eco Home Essentials*.
- EnergyPlus. (marzo de 2025). *U.S. Department of Energy*. Obtenido de Weather data for El Salvador (WMO Region 4): https://energyplus.net/weather-region/north_and_central_america_wmo_region_4/SLV%20
- FASHIONSAP . (mayo de 2011). *どこまでOK？クールビズ、はるやま1030人に意識調査*. Obtenido de <https://www.fashionsnap.com/article/2011-05-17/haruyama-save-biz%20>
- Fermosell, R. S. (16 de abril de 2014). *Se presenta en asamblea legislativa el Anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética en El Salvador* . Obtenido de Suelosolar: <https://suelosolar.com/noticias/eficiencia-energetica/el-salvador/16-4-2014/se-presenta-asamblea-legislativa-anteproyecto-ley-eficiencia-energetica-salvador>
- Flensburg, G. (2020). *Hacia la construcción de la pirámide energética: desafíos en los alojamientos turísticos de la provincia de Buenos Aires, Argentina*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. : Aportes y Transferencias, 18(.
- GIZ/MEN. (2019). *Guía para realizar una auditoría energética*.
- Grau, J. S., & Ayerra, J. L. (2018). *Pavimentos reflectantes para la mitigación del cambio* . pp. 28.
- Greenroofs.com. (15 de enero de 2026). *Nanyang Technological University (NTU) School of Art, Design and Media*. Obtenido de Nanyang Technological University (NTU) School of Art, Design and Media: <https://www.greenroofs.com/projects/nanyang-technological-university-ntu-school-of-art-design-and-media-adm/>

- Guía HAUS. (25 de julio de 2025). *Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) (2021)*. Obtenido de Guía HAUS: Herramienta de apoyo para la sostenibilidad urbana [PDF]: https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2021/10/GUIA_HAUS.pdf
- Hihausbm.com. (29 de agosto de 2025). *Guangzhou Hihaus Building Materials Co., Ltd.*. Obtenido de Ventanas del triforio: ilumina tu hogar: <https://es.hihausbm.com/clerestory-windows>
- HUB-HAUS. (3 de marzo de 2021). *Sistemas de Gestión de Energía: una estrategia para alcanzar la eficiencia energética*. Obtenido de <https://opamssproyectos.com/haus/blog/sistema-de-gestion-de-energia>
- Lallana, M. [. (18 de mayo de 2022). [Tweet]. *X. Eso fue lo que empezó a hacer Japón a partir de 2005 para reducir el consumo eléctrico de los aires acondicionados en oficinas: aligerar los códigos de vestimenta*. Obtenido de <https://x.com/MartinLallanaS/status/1526824141315362816>
- Liu, K. K., & Baskaran, B. A. (2005). *Thermal performance of extensive green roofs in cold*.
- Ministerio de energía. (2022). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026, Gobierno de Chile*. Obtenido de [energia.gob.cl: https://energia.gob.cl/sites/default/files/eficiencia-energetica_16-nov.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/eficiencia-energetica_16-nov.pdf)
- OpenStudio Coalition. (marzo de 2025). *Installation and introductory tutorial*. Obtenido de OpenStudio Coalition User Docs: https://openstudiocoalition.org/getting_started/getting_%20%20
- OpenStudio Manual. (Marzo de 2025). *Una descripción más completa del software en la presentación de National Renewable Energy Laboratory*. Obtenido de OpenStudio Interface Quick Start Guide.
- PRASPAN. (20 de enero de 2026). *PRASPAN® Паркинг купить в Екатеринбурге от производителя*. Obtenido de PRASPAN®: <https://praspan.ru/product/polimernye-nalivnye-poly/gotovye-resheniya-dlya-polimernykh-polov/praspan-parking>
- reevEnergy. (15 de febrero de 2026). *Iluminación solar. reevEnergy (WordPress)*. Obtenido de <https://reevenergy.wordpress.com/2012/02/08/iluminacion-solar>
- SIGET_pliego_tarifario. (10 de abril de 2025). *Los pliegos tarifarios del suministro de energía eléctrica al consumidor final vigentes del 15 de enero al 14 de abril de 2025*. Obtenido de <https://www.siget.gob.sv/download/los-pliegos->

tarifarios-del-suministro-de-energia-electrica-al-consumidor-final-vigentes-
del-15-de-enero-al-14-de-abril-de-2025

SketchUp Help. (marzo de 2025). *Descargar SketchUp. SketchUp Help*. Obtenido de
Trimble Inc: <https://help.sketchup.com/es/downloading-sketchup>

U. S. Department of Energy. (marzo de 2025). *EnergyPlus Downloads*. Obtenido de
<https://energyplus.net/downloads>.

Valle, A. M. (2018). Oportunidades en el entorno de la Eficiencia Energética. *Bravo
Comunicación*.