



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

PROPUESTA INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO PÚBLICO MEDIANTE
SOFTWARE SIMULACIÓN ENERGÉTICA**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico

Autores:

Castillo Velasquez Michael Alejandro

Lasluisa Heredia Diana Paola

Tutor:

Ing. MSc. Gabriel Pesántez

LATACUNGA - ECUADOR

2024

LATACUNGA– ECUADOR


FEBRERO-2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Naranjo Chávez Juan Carlos, con cédula de ciudadanía No. 050432393-2 , Osorio Grefa Justin Emanuel , con cédula de ciudadanía No. 150089769-7 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD ELÉCTRICA DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO”** siendo el Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc. Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.


Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 17 de 2025



Juan Carlos Naranjo Chávez

C.C: 050432393-2



Justin Emanuel Osorio Grefa

C.C: 15008976-7

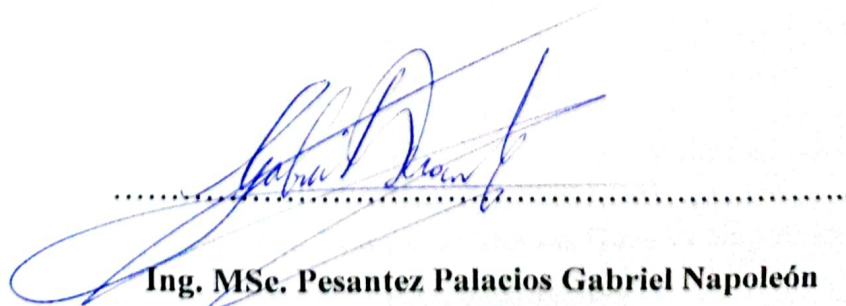
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO PÚBLICO MEDIANTE SOFTWARE SIMULACIÓN ENERGÉTICA”, de CASTILLO VELASQUEZ MICHAEL ALEJANDRO y LASLUISA HEREDIA DIANA PAOLA de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2025

El Tutor



Ing. MSc. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón

C.C. 0301893889


APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **CASTILLO VELASQUEZ MICHAEL ALEJANDRO** y **LASLUISA HEREDIA DIANA PAOLA** con el título de Proyecto de titulación: “**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO PÚBLICO MEDIANTE SOFTWARE SIMULACIÓN ENERGÉTICA**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2025

Para constancia firman:



Ing. Vásquez Teneda Franklin Hernán
C.C. 1710434497



Ing. Rueda Flores Walter Paul
C.C. 0503689895

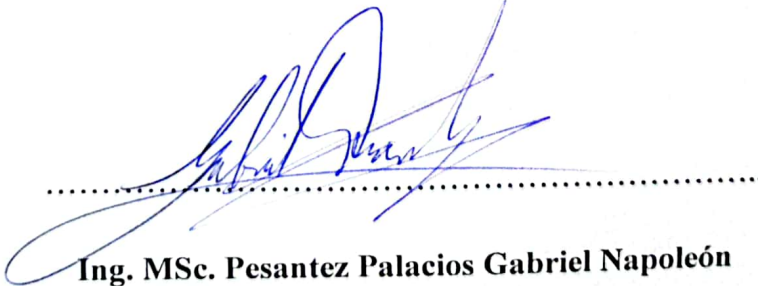


Ing. Guamán Cuenca Wilian Patricio C.C.
0603578956

AVAL DE ACEPTACIÓN

Mediante el presente pongo a consideración que los señores estudiantes **CASTILLO VELASQUEZ MICHAEL ALEJANDRO** y **LASLUISA HEREDIA DIANA PAOLA** realizaron su tesis a beneficio de la **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI** con el tema: **“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO PÚBLICO MEDIANTE SOFTWARE SIMULACIÓN ENERGÉTICA”**, trabajo que fue presentado y probado de manera satisfactoria.

Latacunga, febrero 2025



Ing. MSc. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón

C.C. 0301893889

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, cuya guía, fortaleza y sabiduría me han acompañado durante este importante capítulo de mi vida. Sin Su bendición, los retos enfrentados en este camino no habrían sido superados.

A mis padres, Vicente y Doris, mi gratitud eterna por su amor incondicional, apoyo constante y los valores que me inculcaron desde niño. Gracias por estar siempre a mi lado, impulsándome a alcanzar mis metas y confiando en mis capacidades incluso en los momentos de mayor dificultad. Este logro también es suyo.

A mi abuela Luz, cuya sabiduría, cariño y enseñanzas han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por ser una fuente inagotable de inspiración y fortaleza.

A mi hermano Dilan, por su apoyo, alegría y compañía durante este proceso, tu presencia ha sido una motivación constante para seguir adelante y dar lo mejor de mí.

A mi enamorada Anahí, por su amor, paciencia y palabras de aliento en cada momento. Gracias por creer en mí y por ser mi refugio durante este recorrido.

A mi compañera de tesis Diana, quien compartió conmigo las largas horas de trabajo, dudas, aprendizaje y crecimiento mutuo.

Agradezco de manera especial al Ing. Gabriel Pesantez tutor de nuestro proyecto, por su invaluable orientación, paciencia, confianza depositada durante el desarrollo de este trabajo y su rectitud como docente.

Michael Castillo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la vida por permitirme terminar esta tan importante.

Agradezco a mis padres, les doy gracias por su apoyo incondicional desde mis primeros años de estudio hasta este momento crucial en mi vida; su amor y comprensión, junto con la compañía de mi querida hermana, han sido mi mayor motivación.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, Mgs. Ing. Gabriel Pesantez, por su guía y paciencia, fundamentales para la realización de este trabajo, también a mi compañero de tesis Michael Castillo.

De la misma manera expreso mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, y a los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica por proporcionarnos el conocimiento y los medios que permitieron alcanzar esta meta con dedicación y esfuerzo.

Diana Lasluisa.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres, Vicente y Doris, quienes con su amor infinito y sacrificios incansables me han enseñado el verdadero significado de la entrega y la fortaleza. Ustedes son el origen de mis sueños y la razón de cada paso que he dado en este camino. Su fe inquebrantable en mí y sus abrazos que calman cualquier tormenta han sido el motor de mi vida. Este logro es un reflejo de todo lo que ustedes han sembrado en mi corazón, y no hay palabras suficientes para agradecerles por ser mi guía y mi refugio eterno.

A mi amada Anahí, quien llegó a mi vida como un rayo de luz en mis días más oscuros. Tus palabras de aliento, tu paciencia infinita y tu amor incondicional han sido mi mayor fortaleza en este recorrido. Eres la inspiración que llena de sentido mis días y la razón por la que cada sacrificio vale la pena. Este esfuerzo lleva tu nombre grabado, porque sin ti, nada de esto tendría el mismo significado.

A mis padres y enamorada

DEDICATORIA

Dedicó este trabajo de tesis a mis padres, Ángel Lasluisa y Carmen Heredia, por enseñarme la importancia de la perseverancia y el esfuerzo, y por confiar en mi incluso cuando los desafíos parecían insuperables.

A mi querida hermana Elizabeth, por estar siempre presente en los momentos difíciles y felices de la vida, siendo mi mejor amiga y compañera incondicional, a mis sobrinos Romina y Alejandro por estar en mi vida y llenarla de alegría. A mi amada familia, que ha sido parte fundamental en mi vida, brindándome su apoyo y ánimo en cada etapa de mi formación académica. A mis amigos, es especial a Marco y Micaela, por su sincera amistad y apoyo durante mi etapa universitaria.

A mi familia

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	1
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	3
AVAL DE ACEPTACIÓN	1
AGRADECIMIENTO	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
DEDICATORIA	5
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
1. INFORMACIÓN GENERAL	15
2. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	17
1.3.1 Objetivo de Investigación.....	17
1.3.2 Campo de acción	17
1.4 BENEFICIARIOS	17
1.4.1 Directos.....	17
1.4.2 Indirectos	17
1.5 JUSTIFICACIÓN	17
1.6 HIPOTESIS	18
1.7 OBJETIVOS	18
1.7.1 General.....	18
1.7.2 SISTEMA DE TAREAS	19

2.	MARCO TEÓRICO	21
2.1	EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	21
2.1.1	Eficiencia en Climatización.....	21
2.1.2	Sistemas de climatización: Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) 22	
2.2	CRITERIOS DE AISLAMIENTO	24
2.2.1	Envolvente térmica.....	24
2.3	GENERADORES DE FRIO Y CALOR	25
2.3.1	Aspectos de termodinámica.....	25
2.3.2	Sistemas de refrigeración.....	26
2.4	EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	27
2.5	ENERGÍAS RENOVABLES	28
2.5.1	Energía Solar	29
2.5.2	Energía Eólica.....	29
2.5.3	Energía Hidráulica.....	29
2.5.4	Energía Geotérmica	30
2.5.5	Energía de la Biomasa	30
2.5.6	Energía del Mar	30
2.6	CASOS DE ESTUDIO	30
3.	METODOLOGÍA Y MATERIALES	33
3.1	Diagrama de flujo	34
3.2	Condiciones actuales	36
3.3	Dimensionamiento de cargas.....	38
3.4	Creación de espacios y superficies	40
3.5	Transferencia de calor	41
3.6	Parámetros de espacios	42
3.7	Zonas térmicas.....	43
3.8	Zona climática	45
3.9	Levantamiento de cargas	48
3.9.1	Cargas de luces y luminarias	48
3.9.2	Cargas de equipos eléctricos.....	49
3.9.3	Personas	50
3.10	Levantamiento de cargas	51

3.11	Sistemas de HVAC.....	54
3.11.1	creación un modelo HVAC	55
3.11.2	Implementación de sistema fotovoltaico	55
3.11.3	Ubicación geográfica.....	56
3.11.4	Orientación e inclinación.....	58
3.11.5	Principales componentes de un sistema fotovoltaico	59
3.11.6	Características del sistema fotovoltaico	60
3.11.7	Sombreados cercanos	63
3.11.8	Producción de Energía Eléctrica.....	64
4.	SIMULACIÓN Y RESULTADOS	65
4.1	SIMULACIÓN DEL EDIFICIO CASO BASE: CLIMA FRIO	65
4.1.1	EFICIENCIA DEL EDIFICIO CASO BASE	66
4.2	VALIDACIÓN DE RESULTADOS CASO BASE	67
4.3	SIMULACIÓN DEL EDIFICIO CASO 2: CLIMA TROPICAL CON HVAC SIN PANALES SOLARES	68
4.3.1	EFICIENCIA DEL EDIFICIO CASO 2	70
4.4	RESULTADOS DE ENERGÍA RENOVABLE CASO 1	71
4.4.1	VALIDACION DE DATOS CASO 1.....	71
4.5	RESULTADOS DE ENERGÍA RENOVABLE CASO 2	71
4.5.1	VALIDACION DE DATOS CASO 1.....	72
4.5.2	RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	72
4.5.2.1	CASO BASE: CLIMA FRIO	72
4.5.2.2	CASO 2: CLIMA TROPICAL.....	76
4.6	ANÁLISIS DE GANANCIAS DE CALOR	79
4.6.1	CASO BASE: CLIMA FRIO	79
4.6.2	CASO 2: CLIMA TROPICAL.....	80
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1	CONCLUSIONES.....	82
5.2	RECOMENDACIONES	83
7.	REFERENCIAS	84
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema HVAC [6]	22
Figura 2: Máquina frigorífica [2].....	26
Figura 3: Esquema del sistema de refrigeración [3].....	27
Figura 4: Diagrama de flujo.....	36
Figura 5: Distribución y niveles de iluminación.	39
Figura 6: Simulación de iluminación.....	39
Figura 7: Modelación del edificio.	41
Figura 8: Condiciones de superficie.	41
Figura 9: Resultados de superficie matching en el modelo.	42
Figura 10: Parámetros de espacio.....	42
Figura 11: Zonas térmicas.	44
Figura 12: Datos meteorológicos del caso 1.....	46
Figura 13: Datos meteorológicos del caso 2.....	47
Figura 14: horarios de consumo eléctrico de 7am a 20pm.....	48
Figura 15: Potencia de luminarias.	49
Figura 16: Referente energético de un edificio universitario [22].....	52
Figura 17: Consumo de energía eléctrica por cada equipamiento.....	52
Figura 18: Consumo de energía eléctrica mensual.....	53
Figura 19: Configuración del sistema HVAC para el edificio.	54

Figura 20: Creación del sistema HVAC.	55
Figura 21 Coordenadas geográficas de la instalación fotovoltaica caso 1	56
Figura 22 Coordenadas geográficas de la instalación fotovoltaica caso 2	56
Figura 23 Inclinación de paneles solares caso 1	59
Figura 24 Inclinación de paneles solares caso 2.....	59
Figura 25: Colocación de paneles solares 3D en el programa Sketchup.....	64
Figura 26: Consumo eléctrico de OpenStudio.....	66
Figura 27: Estimado Vs. Simulación.....	67
Figura 28: Consumo de energía eléctrica por cada equipamiento.....	70
Figura 29: Ganancia de calor caso 1.....	80
Figura 30: Ganancia de calor caso 2.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de Tareas	19
Tabla 2. Criterios de aislamiento térmico.....	24
Tabla 3. Tabla comparativa de los casos de estudio.....	31
Tabla 4. Características de luminarias	40
Tabla 5. Criterios de zonas térmicas para uso educativo ASHRAE 55-2020	43
Tabla 6. Criterios Térmicos Basados en las Zonas Climáticas de ASHRAE.....	45
Tabla 7. Criterios Térmicos Basados en las Zonas Climáticas de ASHRAE.....	47
Tabla 8. Dimensionamiento de luminarias	48

Tabla 9. Dimensionamiento de cargas.....	49
Tabla 10. Densidad de ocupación de personas por espacio.....	50
Tabla 11. Densidad de ocupación de personas por espacio.....	51
Tabla 12 Data climatológica de Meteonorm 8 Caso 1	57
Tabla 13 Data climatológica de Meteonorm 8 Caso 2	57
Tabla 14. Consumo de energía eléctrica simulado en OpenStudio.	65
Tabla 15. Datos para la calibración del modelo energético.....	68
Tabla 16. Indicadores estadísticos NMBE y CV(RMSE)	68
Tabla 17. Consumo de energía eléctrica edificio zona tropical.....	69
Tabla 18. Consumo de energía eléctrica edificio caso 1	71
Tabla 19 Comparacion de generacion de energia caso 1.....	71
Tabla 20 Consumo de energía eléctrica edificio caso 2	72
Tabla 21 Comparación de generacion de energia caso 2.....	72
Tabla 22 Costos de la instalación paneles solares caso base.....	73
Tabla 23 Energia generada durante 25 años	74
Tabla 24 Presupuesto anual para mantenimiento y seguro del sistema fotovoltaico	75
Tabla 25 Rentabilidad del proyecto.....	76
Tabla 26. Costos de la instalación paneles solares caso 2.....	76
Tabla 27 Energía generada durante 25 años caso 2.....	77
Tabla 28 Costos anuales y seguro del sistema fotovoltaico caso 2	78
Tabla 29 Rentabilidad del proyecto.....	79

Tabla 30 Ganancia de calor sin y con PF 80

Tabla 31 Resultados las ganancias de calor con y sin PF..... 81

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
TÍTULO: “ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO UBICADO EN LA ZONA
TROPICAL DEL ECUADOR”

Autor/es:

Michael Alejandro Castillo Velasquez

Diana Paola Lasluisa Heredia

RESUMEN

EL trabajo de investigación tiene como objetivo realizar un análisis energético de un edificio público mediante el software de código abierto OpenStudio, para evaluar su desempeño en dos zonas climáticas diferentes del país y poder conocer el desempeño energético tanto en condiciones de clima frío como en regiones tropicales, e incluye la evaluación del edificio con la integración de paneles solares. En la zona tropical, la generación de sombreado a partir de paneles se utiliza para reducir la ganancia de calor, mejorar el confort térmico y ayudar a minimizar el consumo de energía en los sistemas de aire acondicionado. La simulación permite determinar parámetros clave como el consumo energético, las pérdidas de calor y el potencial de ahorro mediante el uso de energías renovables, lo que ayuda a reducir el alto consumo energético en los edificios para minimizar su impacto económico y ambiental. En el análisis de casos de estudio en regiones frías y tropicales secas, los resultados obtenidos se validan con base en información recolectada de estudios de carga, tipos de edificaciones y consumo de energía eléctrica. La validación de los resultados obtenidos de la simulación también se corrobora considerando el sesgo de error y las restricciones de error cuadrático medio, lo que permite verificar los datos estimados versus los datos modelados, estando estos dentro de los límites requeridos. Además, con la instalación de paneles solares, permite analizar la producción de energía, su impacto en el consumo total y la eficiencia obtenida a partir de esta medida. Mejorar la eficiencia energética del sector de la construcción mediante edificios más eficientes es clave para optimizar el consumo energético a nivel nacional, disminuyendo la necesidad de dependencia de combustibles fósiles importados, aliviando la presión sobre el sistema eléctrico y la dependencia de recursos limitados.

Palabras Clave: Eficiencia energética, zona fría, zona templada, paneles solares, transición energética.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

**THEME: “ENERGY STUDY OF A BUILDING LOCATED IN THE TROPICAL
AREA OF ECUADOR”**

Author(s):

Michael Alejandro Castillo Velasquez

Diana Paola Lasluisa Heredia

ABSTRACT

This research work has as aim to perform an energy analysis of a public building using the open source software OpenStudio, to evaluate its performance in two different climatic zones of the country and to be able to know the energy performance both in cold climate conditions and in tropical regions, and includes the evaluation of the building with the integration of solar panels. In the tropical zone, the generation of shading from panels is used to reduce heat gain, improve thermal comfort and help minimize energy consumption in air conditioning systems. The simulation allows determining key parameters such as energy consumption, heat losses and the potential for savings through the use of renewable energy, which helps to reduce high energy consumption in buildings to minimize their economic and environmental impact. In the analysis of case studies in cold and dry tropical regions, the results obtained are validated based on information collected from load studies, building types and electricity consumption. The validation of the results obtained from the simulation is also corroborated by considering the error bias and the mean square error restrictions, which allows the verification of the estimated data versus the modeled data, which are within the required limits. In addition, with the installation of solar panels, it allows the analysis of energy production, its impact on total consumption and the efficiency obtained from this measure. Improving the energy efficiency of the construction sector through more efficient buildings is key to optimizing energy consumption at a national level, reducing the need for dependence on imported fossil fuels, alleviating pressure on the electrical system and the dependence on limited resources.

Keywords: Energy efficiency, cold zone, temperate zone, solar panels, energy transition.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

Nombres de los estudiantes:

CASTILLO VELASQUEZ MICHAEL ALEJANDRO

LASLUISA HEREDIA DIANA PAOLA

AVAL DE TRADUCCIÓN - Profesional Externo

Elizabeth del Rocío Lasluisa Heredia con cédula de identidad número: 053641151
Magister: **En Enseñanza De Inglés Como Lengua Extranjera**, con número de registro
de la SENESCYT: 1010-2023-2747818; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la
traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título:
**“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO PÚBLICO MEDIANTE
SOFTWARE SIMULACIÓN ENERGÉTICA”** de **Castillo Velasquez Michael
Alejandro y Lasluisa Heredia Diana Paola**, egresados de la **Carrera De Electricidad**,
perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, 19 febrero, 2025



Lic.: Elizabeth del Rocío Lasluisa Heredia
CI: 053641151

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Análisis Energético de un Edificio Público Mediante software simulación energética

Modalidad de Titulación

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera: Ingeniería en electricidad

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Estudiantes

- Castillo Velasquez Michael Alejandro
- Lasluisa Heredia Diana Paola

Docente

- Gabriel Napoleón Pesantez Palacios

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías Alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y explotación de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa.

2. INTRODUCCIÓN

Un desafío global es la intensidad de la demanda de energía en edificios, particularmente en las regiones árticas y tropicales. Esto quiere decir que, además de las condiciones de altas temperaturas y de humedad, así como la operación de instalaciones de aire acondicionado, afectan directamente la demanda de energía [1].

Estas particularidades generan una menor interacción con la inclusión de mayores tecnologías eficientes y de energías limpias que influyan con mayor impacto en el valor de costo de las operaciones de los edificios y la generación de gases contaminantes de tipo invernadero.

El documento es el estudio de este sistema de rendimiento energético en edificios, evaluando sus tipos de uso de forma comparada con su rendimiento en todas las fases del consumo y la optimización. Este potencial para una explotación de estrategias impulsada por el clima, como la alta incidencia de la radiación solar para introducir tecnologías sostenibles, hace que el análisis energético de los edificios en la región tropical sea muy útil.

Además, una de las regulaciones vigentes en Ecuador requiere mejorar la eficiencia del consumo energético tanto en edificios nuevos como existentes bajo la premisa de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) respaldados por las Naciones Unidas, donde el ODS 7 promueve la energía limpia y accesible. Dentro de este marco, un estudio en esta dirección es bastante importante para encontrar métodos eficientes que disminuyan el consumo de energía y generen fuentes de energías renovables, lo que sostiene el equilibrio económico y ambiental.

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La eficiencia energética en edificios es fundamental para reducir el consumo de energías comunes y fomentar un uso más equilibrado y eficiente. Bajo este contexto, Ecuador se encuentra inmerso en una de las crisis energéticas más significativas de su historia, originada por decisiones poco convenientes en la inversión de tecnologías de generación a nivel nacional, este escenario ha generado la necesidad de recurrir a la implementación de fuentes de energía renovable, con el objetivo de fortalecer y revitalizar el sistema eléctrico del país además de promover un modelo energético sostenible que ayude a tener menor dependencia de fuentes convencionales.

Además, al considerar que el edificio se encuentra ubicado en la zona tropical del Ecuador, se experimenta un aumento significativo en el consumo de electricidad. Esto se debe, principalmente, a las elevadas temperaturas presentes en la zona, lo que conlleva a una mayor demanda de energía, especialmente en dispositivos como los sistemas de aire acondicionado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo puede reducirse el alto consumo energético en edificios para minimizar su impacto económico y ambiental?

1.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

Línea Energética de un Edificio ubicado en la zona tropical del Ecuador

1.3.1 Objetivo de Investigación

Eficiencia energética: Eficiencia energética de un edificio público

1.3.2 Campo de acción

330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.09 Transmisión y Distribución.

1.4 BENEFICIARIOS

1.4.1 Directos

- Comunidad en General.

1.4.2 Indirectos

- Los estudiantes e investigadores.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación se realiza previo a la obtención del título de Ingeniero en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi, alineándose con los objetivos de los proyectos macro formativos de la carrera de Electricidad en “Estrategias de planeación de sistemas eléctricos de distribución en el contexto de la transición energética”.

La crisis energética por la que atraviesa el país se debe a una falta de inversión en infraestructura y tecnologías de generación eléctrica, así como a la alta dependencia de la hidroelectricidad, la cual se ha visto afectada por patrones climáticos cambiantes. Esta situación ha obligado al país a incrementar la importación de derivados de petróleo para la generación termoeléctrica, aumentando la dependencia de los combustibles fósiles.

Mejorar la eficiencia energética del sector de la construcción mediante edificios más es clave para optimizar el consumo energético a nivel nacional. Esto disminuiría la necesidad de dependencia de combustibles fósiles importados, aliviando la presión sobre el sistema eléctrico y la dependencia de recursos limitados. Cabe destacar que los edificios representan cerca del 40% del consumo energético del Ecuador. Al implementar tecnologías eficientes como iluminación LED, motores y equipos de bajo consumo, sistemas de gestión de energía, etc., se podría lograr un ahorro energético de gran impacto para el país.

Invertir en eficiencia del sector construcción es una medida imprescindible que Ecuador debe tomar con urgencia para mitigar los efectos de la crisis energética actual y mejorar la seguridad y sostenibilidad de su matriz eléctrica. [1]

1.6 HIPOTESIS

¿En qué medida la implementación de estrategias eficientes específicas de la zona tropical seca y fría del Ecuador incluyendo sistemas de ventilación pasiva y tecnologías renovables adaptadas al clima local podría reducir el consumo de energía y mejorar la eficiencia térmica de los edificios en comparación con los estándares de construcción convencionales en la región?

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 General

Evaluar la eficiencia energética de un edificio público ubicado en dos zonas climáticas de Ecuador mediante simulación, con la finalidad de reducir su consumo energético.

Específicos

- Investigar fuentes bibliográficas acerca de estudios energéticos en edificios.
- Realizar el modelo técnico del edificio considerando la caracterización de los sistemas de iluminación mediante Dialux Evo, el inventario de cargas eléctricas, además del

modelo tridimensional del edificio en SketchUp para la simulación energética en OpenStudio y así evaluar el comportamiento térmico y demanda energética en las dos zonas climáticas

- Dimensionar un sistema fotovoltaico que optimiza el aprovechamiento de la energía solar y evaluar su impacto en la eficiencia energética del edificio.

1.7.2 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 1. Sistema de Tareas

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Revisar la literatura sobre estudios energéticos en edificios.	Investigar fuentes bibliográficas acerca de estudios energéticos en edificios.	Información específica y general de diversos estudios como libros, informes, tesis, artículos, etc.	Repositorios bibliográficos.
Realizar el modelo técnico del edificio considerando la caracterización de los sistemas de iluminación mediante Dialux Evo, el inventario de cargas eléctricas, además del modelo tridimensional del edificio en SketchUp para la simulación energética en OpenStudio y así evaluar el comportamiento térmico y demanda energética en las dos zonas climáticas.	Recopilación de datos técnicos del edificio, medición de iluminación en cada espacio.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	Planos arquitectónicos
	Elaboración del inventario detallado de cargas eléctricas. Modelación del sistema de iluminación en DIALux.	Simulación del rendimiento del sistema. Evaluación de la reducción de consumo energético. Determinación de la viabilidad técnica.	Software Dialux Evo. Instrumentos de medición lumínica
	Modelación del edificio en 3D. Configuración de parámetros climáticos para ambas zonas. Simulación energética. Evaluación del comportamiento térmico.	Modelo 3D detallado del edificio. Resultados de simulación para ambas zonas climáticas. Informe comparativo de demanda energética.	SketchUp OpenStudio Datos climáticos de las zonas Herramientas de análisis térmico

Dimensionar un sistema fotovoltaico que optimiza el aprovechamiento de la energía solar y evaluar su impacto en la eficiencia energética del edificio.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	Diseño del sistema fotovoltaico.	Análisis de los resultados de la simulación y modelo energético.
	Simulación del rendimiento del sistema.	Estimación de generación energética.	Análisis de los resultados del consumo energético.
	Evaluación de la reducción de consumo energético.	Análisis de reducción de consumo de energías convencionales.	Diseño y ajuste de la capacidad de las fuentes renovables.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

2.1.1 Eficiencia en Climatización

La eficiencia energética en sistemas de climatización trata de la capacidad de mantener condiciones idóneas de confort de temperatura y humedad en una determinada área, como menciona T.Frank et al [2], el aire acondicionado, comprende tanto la refrigeración como al liberación de humedad presente en el ambiente, estos particulares se han convertido en algo necesario para los edificios residenciales, comerciales e instalaciones de carácter industrial. Estos elementos representan gran parte del consumo energético en edificios, particularmente los que se encuentran ubicados en zonas tropicales, reduciendo en ambos sentidos el consumo energético y sus costos asociados.

Para contribuir a la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado de edificios, es importante resaltar los diversos aspectos. Tal como es el caso de, T Frank. [2] donde señala la importancia de considerar un aspecto holístico que se integre desde la eficiencia de cada uno de los componentes individuales hasta la eficiencia del sistema de enfriamiento. En este sentido se busca llegar a un nivel más bajo de consumo de energético individual de las unidades de enfriamiento, como por ejemplo un enfriamiento de 0.6 kW/R ton o menos, donde estos sean llevados de la mano con todas las características y aspectos del sistema de climatización.

Según la literatura, esta también destaca la urgencia de acogerse a nuevas tecnologías y tácticas innovadoras para ayudar a elevar los niveles de eficiencia energética en los sistemas de climatización. En consecuencia et al, X Wang[3] nombra múltiples dispositivos más eficientes energéticamente en los componentes, como por ejemplo los intercambiadores de calor/masa siendo estos más energéticamente eficientes en dichos sistemas y de los sistema de liberación de humedad, asimismo se focaliza en el desarrollo de nuevos sistemas novedosos que mermen el uso de energía para aire acondicionado.

La ejecución de nuevas tácticas ingeniosas de control y flujo de aire influyen en gran medida en la mejora de la eficiencia energética. Según T.N.T. Lam, et al [4], estas nuevas alternativas promueven garantizar la mejora en la calidad de aire interior de los edificios y de asegurar que el desempeño tenga una función más ecológica y sostenible de climatización.

Además, la climatización necesita una perspectiva integral que tome en cuenta aspectos más eficientes, así como también la nueva adopción de medidas de control que contribuyan a una buena optimización de horarios de uso de los equipos de climatización sin llegar a comprometer el confort térmico en el interior de los edificios.

2.1.2 Sistemas de climatización: Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)

Dentro del marco de eficiencia energética, los sistemas HVAC mantienen una gran importancia en este tipo de práctica, ya que dentro de su enfoque es necesario disminuir el impacto ambiental y económico que estos provocan. Existen varios estudios que establecen que los sistemas HVAC representan el 50% o más, del consumo de energía total, tanto en edificios de índole comercial y residencial en países más desarrollados, por ende, la nueva inclusión de tecnologías innovadoras y sistemas de climatización más aptos eficientemente ya que es de muy alta relevancia alcanzar las metas de mitigación de emisiones y de la sostenibilidad energética en edificios[5].



Figura 1: Sistema HVAC [6]

Los sistemas de aire acondicionado, es uno de los elementos cruciales que conforman los sistemas HVAC, ya que efectúa la función de enfriar el aire y por ende el ambiente que se tiene en el área, además de contribuir a la reducción de la humedad relativa presente [7]. En este tipo de sistemas están constituidos por elementos ideales como lo son el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador[8].

El compresor es el encargado de controlar y gestionar el nivel de refrigerante que se distribuya en todo el sistema, teniendo un procedimiento de aumento de presión y temperatura para que el refrigerante este apto para realizar el proceso de enfriamiento del área de manera idónea. El condensador ayuda a la liberación de calor generado por el refrigerante que esta expuesto a una gran presión y de temperatura del aire exterior, así efectivizando el enfriamiento del fluido. La válvula de expansión controla el nivel que se requiere regular de flujo de refrigerante para el evaporador, haciendo que el calor del área se absorbido, haciendo que el aire se enfríe circundantemente.

Estas características básicas de funcionamiento del aire acondicionado pueden llegar adoptar nuevas funciones adicionales, como por ejemplo la incorporación de sistemas de calefacción que utilicen fuentes de energía tales como bombas de calentamiento y calderas. El sistema de calefacción dentro de los sistemas HVAC pueden emplear diferentes funcionalidades para satisfacer la necesidad de elevar las temperaturas a un confortable en el interior, utilizando resistencias, bobinas de vapor y motores de combustión interna, siendo cada uno de estos distribuidos y captados por radiadores convencionales y sistemas de calefacción radiante [9].

Conforme a pasado el tiempo, los avances tecnológicos de esta índole se están adaptando de mejor manera a las tecnologías de funciones mas automatizadas como lo es la conectividad IoT o incluso los controladores programables, lo que facilita tener una mejor utilización eficiente de la calefacción.

Otro de los aspectos más importantes es la ventilación ya que es parte importante integral de los sistemas HVAC, es fundamental ya que sustituye el aire de un entorno cerrado por aire que provenga del exterior [10]. Este tipo de sistemas pueden tener flujo doble o simple, con la particularidad que pueden llegar a extraer aire contaminado del interior y satisfacer un aire mejor tratado, asegurando una buena reutilización del aire.

No obstante, cabe recalcar que los sistemas HVAC pueden tener componente que ayuden a su mejor desempeño como los termostatos, humidificadores y liberadores de humedad que sean capaces de regular la temperatura y humedad de en áreas a tratar del interior.

2.2 CRITERIOS DE AISLAMIENTO

2.2.1 Envoltente térmica

El envoltente térmico es un término esencial en la ingeniería civil que hace referencia al procedimiento de protección de un edificio ante situaciones adversas externas, además de asegurar el confort en el interior de manera estable para las personas que ocupen el edificio, este método se lleva a cabo con el uso de materiales de baja transividad térmica ubicados especialmente en paredes, techos y superficies del suelo para reducir en cierto modo la transferencia de calor. Al instante en que la temperatura de transferencia baja, el aislamiento de temperatura interna permite que el envoltente interno del edificio se mantenga en un ambiente ideal y que los sistemas HVAC funcionen de manera eficiente, este también se asocia con el aislamiento de ruidos externos y la lucha contra la corrosión y humedad del mismo, cabe recalcar que es de muy alta relevancia conocer los diversos tipos de aislamientos existentes y presentes tanto de tipo estructural y no estructural, para tener un envoltente de diseño ideal.

Tabla 2. Criterios de aislamiento térmico

Aislamiento térmico	
El aislamiento térmico estructural	Trata de diferentes tipos de materiales aislantes que se agregan a estructuras propias del edificio, están constituidas por espumas de poliestireno, lana mineral, vidrio celular, entre otros.
El aislamiento térmico no estructural	<p>Trata de los distintos tipos de materiales que se añaden a las superficies propias del edificio, este tipo de materiales tiene mayor frecuencia de uso en aislamiento térmico no estructural, un ejemplo claro de estos materiales son los paneles de yeso, espumas de poliuretano, lana de vidrio, entre otros.</p> <p>Las diferentes hipótesis relacionadas con aislamiento térmico incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y equilibrio térmico: Se relaciona cuando dos superficies entran en contacto, haciendo que la

	<p>superficie de mayor ganancia de calor transfiera su poder calorífico a la superficie con mas frio, hasta que ambas superficies encuentren un punto de equilibrio y se mantengan al mismo nivel térmico.</p> <p>Teoría de la conducción de calor: Esta teoría abarca la transferencia de calor mediante un material debido a la disparidad de temperatura en sus extremos.</p> <p>Mecanismos de transferencia de calor: La transferencia de calor puede emplear diferentes mecanismos que pueden incluir la conducción, la convección y la radiación.</p> <p>Conductividad térmica: Esta es una propiedad tangible de los materiales que evalúa la capacidad para transferir el calor entre ellos.</p> <p>Confort térmico según la ISO 7730:2005: Establece la sensación que experimenta un cuerpo humano con el equilibrio térmico de su entorno.</p>
--	--

2.3 GENERADORES DE FRIO Y CALOR

2.3.1 Aspectos de termodinámica

Una bomba de calor o una máquina frigorífica logran transferir calor desde una fuente fría hacia una fuente caliente mediante trabajo mecánico, empleando un fluido especial denominado refrigerante. Inicialmente, estas máquinas se desarrollaron con el propósito de generar energía refrigerante. El proceso implica que el refrigerante intercambie calor latente a través de la evaporación con la fuente fría y por condensación con la fuente caliente, sufriendo un cambio de estado cuya temperatura está determinada por su presión. Por consiguiente, el objetivo principal radica en maximizar la transferencia de energía desde la fuente fría hacia la caliente, minimizando al mismo tiempo el consumo de trabajo mecánico. [2]

La evolución de la termodinámica de los ciclos, desde el ideal ciclo de Carnot invertido hasta el ciclo "real" de compresión de vapor en las máquinas de refrigeración. Este ciclo

termodinámico se asemeja a un ciclo de Rankine inverso modificado para considerar pérdidas de calor, variaciones de presión y diferencias de temperatura en los puntos de condensación y evaporación. A diferencia de un ciclo de Rankine inverso perfecto, en este caso la expansión es isoentálpica en lugar de isentrópica. La mejora del rendimiento del ciclo frigorífico implica la reducción de irreversibilidades durante las diversas transformaciones del refrigerante que circula a través de los componentes de la máquina, facilitando así la transferencia de calor desde la fuente fría hacia la fuente caliente como se muestra en la figura 2 a continuación.

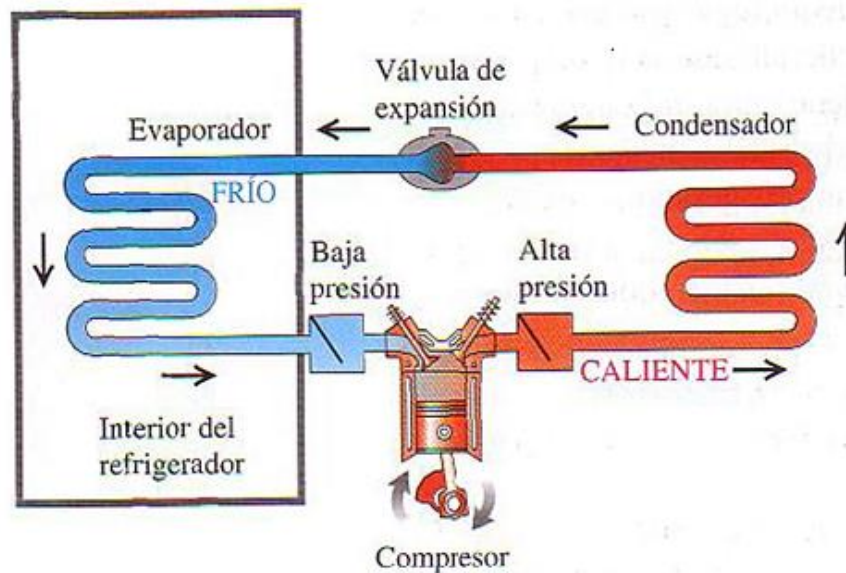


Figura 2: Máquina frigorífica [2].

2.3.2 Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración dado el impacto climático en las zonas tropicales debido a su incremento de temperatura de manera significativa, ha inferido el consumo de energía lo que ha representado hasta un 20% del total consumido en referencia a zonas donde el clima es templado, los ingenieros de control se encuentran ante el desafío de desarrollar técnicas que optimicen el rendimiento de estos sistemas. Sin embargo, la obtención de modelos precisos es un obstáculo relevante debido a lo complicado de la construcción de las máquinas de refrigeración popular.

A partir de esto, se ofrece una idea basada en un mejor control automatizado estimativo que tomen como base diferentes modelos para la supervisión del rango de temperaturas, el propósito final de todo esto es llevar a cabo un incremento en la eficiencia energética de los sistemas de enfriamiento de los edificios.

Este tipo de análisis tratan de utilizar un sistema de refrigeración que pueda manejar el agua y utilizarlo como refrigerante natural con una constante en el caudal a considerar, se muestra el sistema a detalle, este engloba a partir de un módulo de tecnología refrigerante hasta una sistema de distribución de agua, que circula por toda la estructura del edificio, además de múltiples componentes interiores para cada área, estas unidades componenciales incluyen un intercambiador de calor y un ventilador, ejerce un papel importante en la refrigeración de aire de las áreas, es importante destacar que el equilibrio térmico influye en el coste energético, por delante del confort en el ambiente interior de los edificios, de igual manera sobre la inclusión de parámetros que guíen las variables críticas de temperatura de enfriamiento.

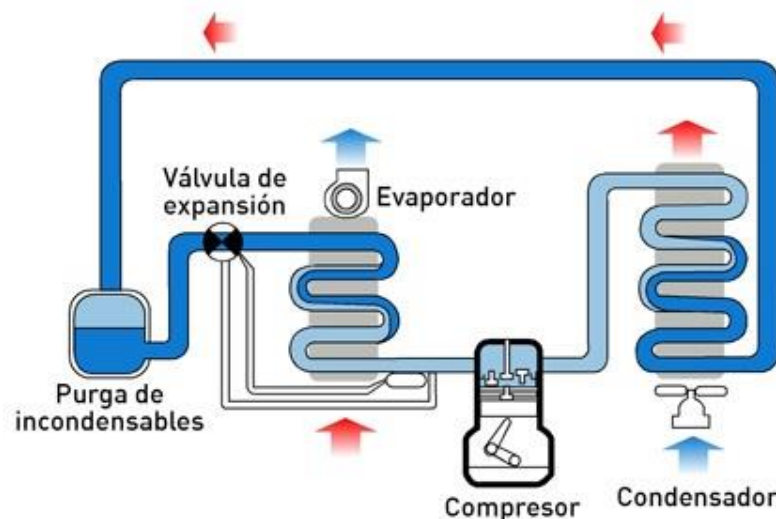


Figura 3: Esquema del sistema de refrigeración [3].

2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la perspectiva energética es un concepto en el que intervienen distintas acciones a considerar tanto el lado de la oferta como la demanda, sin la necesidad de intervenir con el bienestar ni la producción, accediendo a múltiples mejoras de la seguridad de suministro eléctrico [11]. De igual manera incorpora un ahorro más útil tanto en el consumo energético como económicamente, así como la merma de emisiones de efecto invernadero y viabilidad financiera para las empresas energéticas, es por eso por lo que se busca aprovechar al máximo la producción de los servicios con la menor cantidad de energía [12]. Esto infiere en las pérdidas al querer reducir el porcentaje de estas y mejorar los sistemas que convierten la energía en todas sus etapas de la cadena energética.

El fin de adoptar tecnologías y prácticas eficientes es de suma importancia para contribuir con el aumento de la eficiencia energética en diversos sectores. Esto incluye la utilización de equipos y sistemas con mayor eficiencia energética, la optimización de procesos y la adopción de medidas de gestión de la energía [12], estas medidas son clave para mermar el consumo de energía y mejoraren cierta medida la eficiencia en todos los aspectos de la vida cotidiana.

Para lograr estos objetivos es necesario con la ayuda de diferentes contribuyentes de diversa índole, incluidos gobiernos, empresas, instituciones académicas y sociedad civil, para promover y adoptar medidas que permitan efectuar la recurrencia de utilización de los recursos energéticos y reducir los impactos ambientales asociados a su producción y consumo.

La experiencia europea demuestra la importancia de la eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético de un país. Según un análisis, "el análisis del caso de los países europeos, evidencia que la eficiencia debe ser catalogada como el más importante recurso que se dispone para asegurar el abastecimiento energético de un país, debido a los importantes beneficios obtenidos por la reducción sostenida del 0.9% anual de la intensidad energética desde 1990" [11].

Cabe mencionar que la Agencia Internacional de la Energía (AIE) advierte sobre la necesidad de cambiar las políticas energéticas de los países, ya que, de lo contrario el consumo energético crecerá a un ritmo de un 1,5% anual entre 2007 y 2030 [13]. Actualmente, las fuentes de energía se distribuyen principalmente en combustibles fósiles (80%), biomasa (10%), energía nuclear (6%), energía hidráulica (2%) y energías renovables (2%) [13].

En este contexto, es importante enfocarse en la Eficiencia Energética, optimizando tanto las cargas eléctricas como los sistemas de distribución. Este enfoque representa un uso racional de la energía, con implicaciones económicas significativas en todos los sectores involucrados, tanto en instalaciones nuevas como existentes, una vez que se disponga de resultados de medición, será necesario proceder con una planificación del consumo e implementar medidas correctivas que, en general, tiendan a compensar las fluctuaciones y evitar problemas de contaminación.

2.5 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables se definen como "aquellas fuentes de energía que se obtienen de manera continua y se renuevan por medios naturales" [14] . Estas fuentes de energía se

diferencian de los combustibles fósiles por su diversidad, abundancia y bajo impacto ambiental [15].

El desarrollo de las energías limpias es fundamental para combatir el cambio climático. Según la Agencia Internacional de la Energía [16], las energías renovables evitan la emisión de gases de efecto invernadero. Es necesario destacar que la participación de las energías renovables en la generación eléctrica global aumentará del 28,7% en 2021 al 43% en 2030, liderada por la energía eólica y solar fotovoltaica [16].

Las energías renovables cumplen un papel fundamental para obtener el acceso mundial a la electricidad para los años posteriores. Estas fuentes de energía permiten una electrificación más eficiente y asequible, particularmente en zonas remotas.

2.5.1 Energía Solar

La energía solar es aquella que se aprovecha de la radiación proveniente del sol. Hay dos formas esenciales de aprovechar esta energía [17]:

- Energía solar fotovoltaica: Es aquella que capta la luz del sol y la transforma en electricidad mediante la utilización de paneles solares fotovoltaicos.
- Energía solar térmica: Es aquella que se beneficia del calor del sol a través de colectores térmicos que absorben y concentran dicho calor.

2.5.2 Energía Eólica

La energía eólica es aquella energía que aprovecha la fuerza del viento para generar energía limpia, mediante la utilización de componentes especializados como lo son las aspas y el aerogenerador [18]:

- Energía eólica terrestre (on-shore): Parques eólicos ubicados en tierra.
- Energía eólica marina (off-shore): Parques eólicos ubicados en el mar.

2.5.3 Energía Hidráulica

La energía hidráulica es de las más comunes en el Ecuador ya que necesita de poder hídrico el caudal de agua para generar energía mediante las centrales ubicadas estratégicamente en el país. Estas centrales pueden ser de varios tipos (Organización Latinoamericana de Energía [17]):

- Hidroeléctricas compuesta por embalse.
- Hidroeléctricas de agua fluuyente o centrales de paso.
- Hidroeléctricas reversibles o de bombeo.

2.5.4 Energía Geotérmica

Esta energía surge del calor que genera el interior de la tierra, este tipo de energía está presente geográficamente, pero solo se puede llegar a aprovechar en ciertas localidades y con condiciones específicas [17].

2.5.5 Energía de la Biomasa

La biomasa es toda materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía. Puede ser aprovechada de múltiples maneras, como la obtención de biogás a través de procesos de biodegradación o la producción de biocombustibles avanzados a partir de cultivos energéticos [18].

2.5.6 Energía del Mar

La energía marina, también llamada energía de los océanos, puede ser de dos tipos principales [19]:

- Energía mareomotriz: Aprovecha la subida y la bajada de las mareas.
- Energía undimotriz: Aprovecha el movimiento procedente de las olas.

2.6 CASOS DE ESTUDIO

Janet, J., Chester, M. [20], en su artículo explican la afectación significativa a la demanda de energía de los consumidores por los cambios climáticos, ya que las temperaturas cambiantes pueden alterar las cargas de calefacción y refrigeración. Los climas más cálidos también podrían conducir a una mayor adopción y uso de tecnologías de refrigeración en los edificios. Al evaluar la demanda residencial de electricidad y gas natural en Los Ángeles, California, bajo múltiples proyecciones de cambio climático e investigación el potencial de la eficiencia energética para compensar el aumento de la demanda. Se calibra el uso de energía residencial frente a datos medidos, teniendo en cuenta las diferencias en materiales de construcción y electrodomésticos. Bajo los aumentos de temperatura, descubren que, la demanda de electricidad residencial podría aumentar entre un 41% y un 87% entre 2020 y 2060. Sin embargo, las políticas agresivas

destinadas a mejorar los sistemas de calefacción/refrigeración y los electrodomésticos podrían resultar en un aumento del uso de electricidad tan bajo como el 28%, lo que potencialmente evitaría la instalación de nueva capacidad de generación. Por lo tanto, se recomienda una agresiva eficiencia energética, en combinación con fuentes de generación de bajas emisiones de carbono, para compensar los aumentos proyectados en la demanda de energía residencial.

El sistema propone diferentes estrategias durante el día para optimizar la eficiencia energética y el confort térmico. Durante la mañana, hasta las 9:00 h, se promueve la estrategia F2. Luego, desde las 9:00 hasta las 15:00, se aconsejan 2 horas de estrategia F3, con un período intermedio de 4 horas en estrategia F1. Estos cambios en las estrategias buscan mejorar la eficiencia energética y reducir la demanda de energía para la climatización de los espacios de oficina. Además, los resultados demuestran que la implementación de una herramienta de optimización multiobjetivo termo-energética puede tener un impacto significativo. Se logra una mejora promedio del 69.6% en la demanda de energía, al tiempo que se mantienen niveles de confort aceptables.

Tabla 3. Tabla comparativa de los casos de estudio.

Aspecto	Estudio de Janet, J y Chester, M.	Estudio de Arablo B, Kuchen E, y Chuchk D
Tema principal	Demanda de energía de los consumidores por los cambios climáticos, con atención en la demanda de electricidad y gas natural.	Investigación acerca de la eficiencia energética en edificios, para optimizar el uso de recursos naturales en los edificios nuevos y en los ya existentes.
Impacto climático	Cambios de temperatura que aumentan la demanda de refrigeración.	Problema de equilibrio entre el confort de espacios de oficina y costo de energía.
Proyección de aumento de demanda	Aumento de electricidad residencial entre un 41% y un 87% en 2020 y 2060 por el aumento de temperatura	Mejorar la eficiencia energética y el confort térmico de edificios, con un promedio del 69.6%

Propuesta de solución	Implementación de políticas de eficiencia energética y fuentes de generación de emisiones de carbono para calmar el aumento de demanda.	Herramienta de optimización dinámica para edificios a través de medición y simulación matemática para tener un equilibrio entre el confort y la eficiencia energética.
Resultados esperados	Reducción del aumento de la demanda energética con un 28% del uso de de electricidad	Mejorar la eficiencia energética de los edificios con un 69.6% conservando el confort térmico adecuado.

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El capítulo se evaluará el análisis energético de una edificación situado en dos diferentes zonas climáticas, que en esta situación son 1A (Guayaquil) y 5C (Quito) en Ecuador. Para ello, es indispensable obtener datos e información acerca de las condiciones climáticas de cada zona, tales como la temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, entre otros, considerando los estándares definidos por la norma ASHRAE 169, que categoriza las zonas climáticas y proporciona criterios de referencia para la valoración térmica y energética de construcciones.

A su vez, se define el estudio de los factores que determinan el diseño y la eficiencia energética del edificio, tales como la ocupación, horarios de utilización, materiales de construcción, grado de aislamiento, orientación, uso de energía relacionado con los sistemas de iluminación, ventilación y climatización. A tal fin, se aplica las metodologías definidas en la norma ASHRAE 90.1 que, además de proporcionar los requisitos de eficiencia energética mínima para edificios comerciales, garantizan mediante estrategias de optimización la reducción de consumo de energía.

En cuanto a las cargas eléctricas de la iluminación, se ha utilizado el software DIALux evo, el cual permite establecer el dimensionamiento y la ubicación de las lámparas en cada una de las zonas del edificio, teniendo en cuenta las necesidades asociadas a cada una de las actividades que se deban realizar en cada zona. El mencionado programa permite aplicar los estándares requeridos para cumplir con normativas de iluminación, al mismo tiempo que se aplicó la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC) y el Código Eléctrico Nacional CPE INEN 019, con el objetivo de asegurar el mínimo cumplimiento de requisitos para el diseño eléctrico.

Para concluir el proceso, se llevará a cabo una comparación de los resultados logrados entre las dos zonas climáticas 1A Y 5C, teniendo en cuenta las variaciones en el desempeño energético y las alternativas de mejora, con el objetivo de encontrar estrategias que pueden influir de manera positiva en el rendimiento energético del inmueble en cada situación climática. Estas tácticas concuerdan con las nuevas estrategias de diseño, enfocadas en la creación de construcciones sustentables y de elevado aprovechamiento energético.

3.1 Diagrama de flujo

El procedimiento metodológico para realizar el análisis energético del edificio para las dos zonas climáticas que se consideran en Ecuador, la tropical seca y la fría, queda definido en el mismo como puede observarse en la Figura 4. Este procedimiento está estructurado en fases por los motivos de realizar el análisis del desempeño energético del lugar considerado en el diseño arquitectónico, los materiales constructivos utilizados en la edificación, las condiciones del medio exterior y del tiempo de uso. Pueda suponer que el objetivo de la metodología es el de visualizar el efecto que tiene el clima sobre el consumo de energía y proponer estrategias de mejora para la eficiencia del edificio en función del clima en el que se sitúan.

Como primera fase, se realiza la recogida de datos arquitectónicos del edificio para garantizar que se vaya registrando toda la información que está presente en el análisis energético. Se pueden comprobar aspectos como la distribución de los espacios interiores, la superficie de ventanas, puertas o muros, su orientación, la geometría del edificio, etcétera. Tal información resulta determinante, ya que condiciona la oferta de la radiación solar que pueda llegar al edificio, la ventilación natural y la transferencia de calor al exterior. Para la obtención de esta información necesaria se procederá a utilizar el programa SketchUp, donde se edifica el edificio. A partir de éste, se creará un modelo tridimensional que servirá de soporte para las simulaciones energéticas del edificio.

En este segundo paso se establecen las características térmicas y físicas del edificio mediante el uso del plugin OpenStudio, el cual facilita la incorporación de materiales y condiciones particulares para la simulación energética. En esta etapa se establece la composición de los componentes constructivos, como muros, techos y pisos, detallando sus características térmicas, conductividad y capacidad para almacenar calor. Además, se descubrió la zonificación térmica, la cual facilita la separación del edificio en diferentes secciones con diferentes propiedades térmicas, tomando en cuenta así el comportamiento energético de cada zona en función de cada actividad realizada, así como las cargas térmicas que tienen. De la misma forma que se determinan otros parámetros espaciales, como la reflectancia de las superficies y la transmitancia de las ventanas y el resto del sistema, lo mismo ocurrió en esta etapa, garantizando así una simulación energética razonable según las circunstancias de cada zona climática.

Durante la tercera etapa del proceso se especifican las condiciones energéticas del edificio marcando los aspectos más relevantes que interoperan en el consumo energético. Junto a estos elementos, se reseñan las propias condiciones meteorológicas de cada lugar: temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar. Se marcan los tiempos de ocupación del edificio, así como la ocupación de los diferentes espacios y las cargas internas, esto es, los consumos derivados de equipos eléctricos, sistemas de iluminación y personas que modifican la carga energética. Se da cuenta del sistema de climatización, haciendo constar su eficiencia, modo de funcionamiento y su capacidad de respuesta a las variaciones climáticas. Esta etapa es de suma importancia para el análisis, de manera que finalmente se asemeje al consumo energético del edificio en diferentes escenarios y permita detectar oportunidades de mejora.

En la cuarta etapa se realiza una simulación energética mediante programas informáticos capaces de calcular la demanda energética en función de las condiciones introducidas en etapas anteriores. En esta fase también se realiza una simulación energética en diferentes escenarios climáticos para analizar el comportamiento del edificio en unas determinadas condiciones de temperatura, humedad y radiación. A partir de esta simulación, si se obtienen valores elevados en cuanto a consumo energético o la eficiencia del edificio no alcanza los valores pasados, se proponen modificaciones en el modelo, como los materiales empleados, mejora de la zonificación térmica, redefinición de los sistemas de climatización, etc. Tras esto, se repite la simulación hasta obtener los valores óptimos.

Durante el análisis de los resultados se comparan los datos recogidos para las dos zonas climáticas con el fin de identificar diferencias importantes en el comportamiento energético del edificio. Este estudio servirá como soporte para identificar cuáles son los elementos que más influyen en el consumo energético y cuáles se pueden mejorar para tener un edificio con mayor eficiencia en cada sector de la región. A partir de estos resultados se proponen técnicas de optimización como el uso de materiales más eficientes térmicamente, el uso de ventilación natural de manera que se reduzca la carga de climatización o el uso de sistemas de energía renovable para que se reduzca el uso de fuentes tradicionales. De esta manera, el estudio energético no solo proporciona un diagnóstico detallado del comportamiento energético del edificio, sino que también ofrece soluciones prácticas para reducir el consumo de energía y mejorar su sostenibilidad en distintas condiciones climáticas.

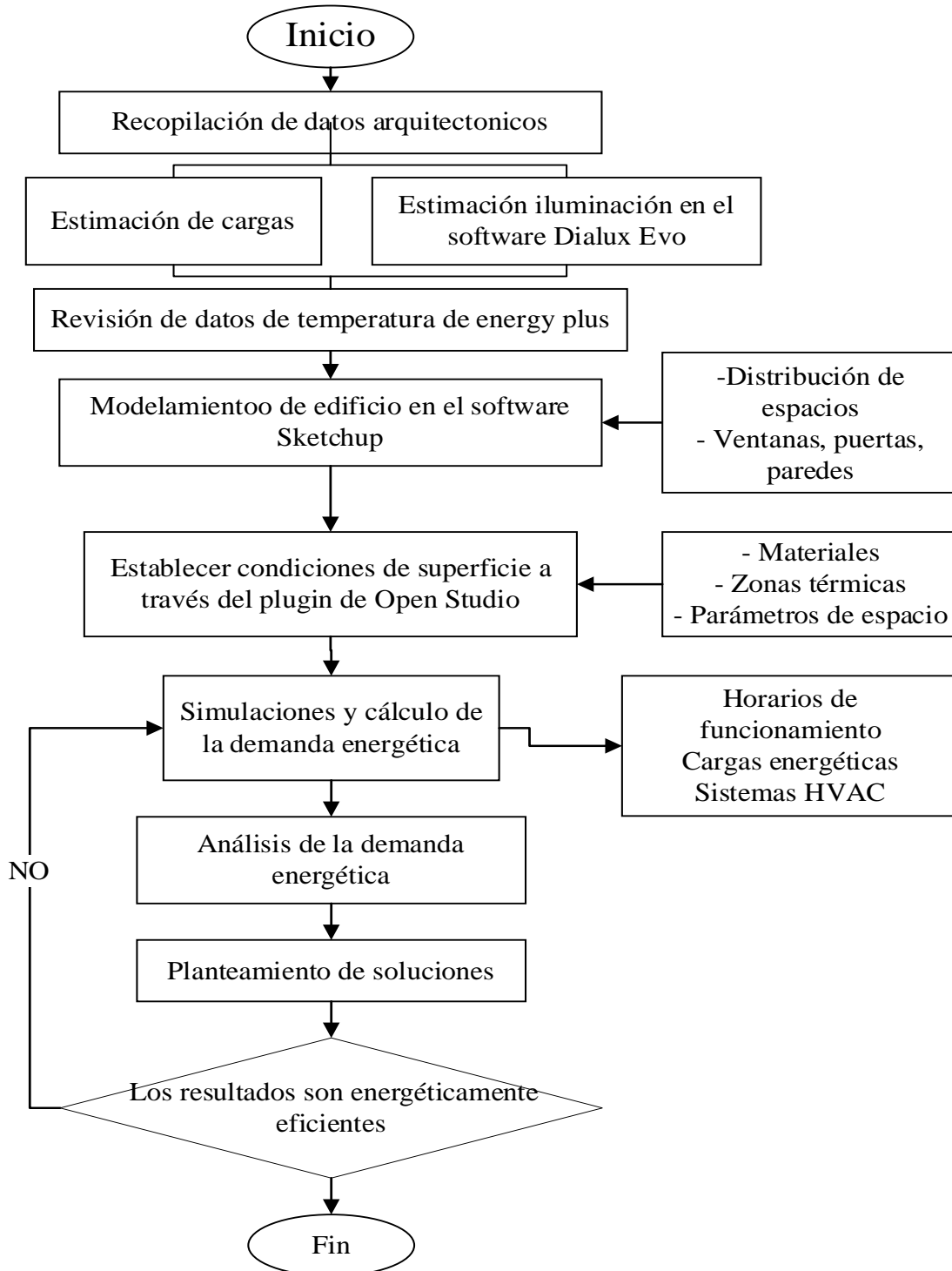


Figura 4: Diagrama de flujo.

3.2 Condiciones actuales

El elemento arquitectónico objeto del análisis es de un uso académico universitario y en la práctica ocupa diariamente a unas 800 personas (estudiantes, profesores, personal

administrativo). El lugar donde se localiza se describe en dos escenarios climáticos característicos del país -la zona céntrica asociada a la ciudad de Quito, el clima frío fresco (donde las temperaturas sesgan desde unos 12°C hasta unos 15°C) implica una demanda significativa de calefacción- y por otro lado la costa, que se representa en Guayaquil, donde la necesidad de enfriamiento y ventilación de los espacios se hace más evidente, ya que el clima tropical seco (temperaturas que oscilan entre los 18° y 25°C) impone la necesidad de garantizar el confort en la edificación.

El análisis del rendimiento energético de la edificación se llevará a cabo teniendo en cuenta las condiciones de determinada localidad y su ubicación a tomar en consideración la normativa de eficiencia energética estipulada en la ASHRAE 90.1 de consumo para las edificación, a partir de consumos de funcionamiento y condiciones también de aire acondicionado, ventilación y envolvente térmica, para dichos efectos del análisis se hace uso de archivos de datos climáticos promovidos por EnergyPlus (DDY, EPW), permitiendo modelar condiciones reales de temperaturas y humedades de las localidades descritas en el análisis.

Por tanto, el edificio fabricado está construido en materiales convencionales para desarrollos educativos: tales como paredes de punto de hormigón, ventanas de vidrio con superficies sin tratamiento; cubiertas sin tratamiento de aislamiento térmico; lo que, aunado a la ausencia de estrategias pasivas de ahorro energético de tipo de aislamiento térmico y de sistemas de ventilación natural, le hace energéticamente ineficiente, más dependiente de sistemas mecánicos de aire acondicionado. Se incluirán imágenes de las fachadas del edificio en los anexos para complementar su descripción de la estructura y el diseño.

Para realizar el análisis energético se creó un modelo tridimensional del edificio en SketchUp, que incluye la geometría del edificio, la orientación y la disposición de las áreas. Este modelo fue exportado a OpenStudio para establecer las condiciones de temperatura y energía requeridas para la simulación de la energía. Entre todos esos aspectos, uno de los aspectos críticos a tener en cuenta fue la definición de las mismas del edificio, las cuales lo definimos en función de su uso y exposición. Así, se habilitaron áreas con alta ocupación (aulas y auditorios), oficinas de administración, pasillos y áreas compartidas y áreas de servicio (baños y cafetería). A cada área se le asignaron cargas internas de calor, requerimientos concretos de ventilación y aire acondicionado.

Los horarios de servicio del edificio, a su vez, se han determinado en función de la actividad a desarrollar, con lo que se ha dispuesto una apertura a partir de las 07.00 h. y que se cierra a las 20.00 h. Durante este periodo, se han considerado las variaciones de ocupación atendiendo el número de alumnos, de personal a durante la etapa diurna y la ocupación de los equipos, que inciden en el uso de energía respecto la iluminación, la ventilación y los recursos eléctricos.

A partir de esta configuración de horarios se han analizado las condiciones del comportamiento energético del edificio según la demanda térmica asociada a cada situación. En Quito, se ha centrado el análisis en la potencia de la unidad de calefacción y los materiales constructivos para retener el calor, dado que la baja temperatura acentúa toda la demanda energética. El objetivo de la práctica realizada en Guayaquil consistió en la obtención de calor y en la necesidad de refrigeración y ventilación. La ventilación y la refrigeración son elementos claves para el confort térmico en el clima tropical seco de esta localidad. Para Guayaquil, se ha tenido en cuenta el consumo eléctrico asociado a la utilización de la iluminación y de los aparatos eléctricos, considerando como base la carga que establece la norma.

Al trasladar el cálculo a OpenStudio se han realizado las simulaciones detalladas que han permitido analizar la interacción entre la materialidad del edificio, la ventilación mecánica y natural y el consumo energético en general; dicho análisis nos permitirá conocer información valiosa para la evaluación de potenciales estrategias de optimización y para la mejora de la eficiencia del edificio en los distintos escenarios climáticos analizados.

3.3 Dimensionamiento de cargas

En un software ingenieril para el diseño simulación de iluminación en un edificio universitario, permitiendo optimizar la distribución de la luz en aulas, laboratorios, auditorios, pasillos y áreas exteriores. A través de su integración con bases de datos de fabricantes, facilita la selección de luminarias eficientes y adecuadas para cada espacio, asegurando el cumplimiento de normativas internacionales de iluminación.

Se ingresa las dimensiones del edificio universitario con diferentes espacios delimitados, posiblemente aulas, oficinas, auditorios, baños, y pasillos, los horarios establecidos de iluminación para cada área se encuentran en la tabla 7.

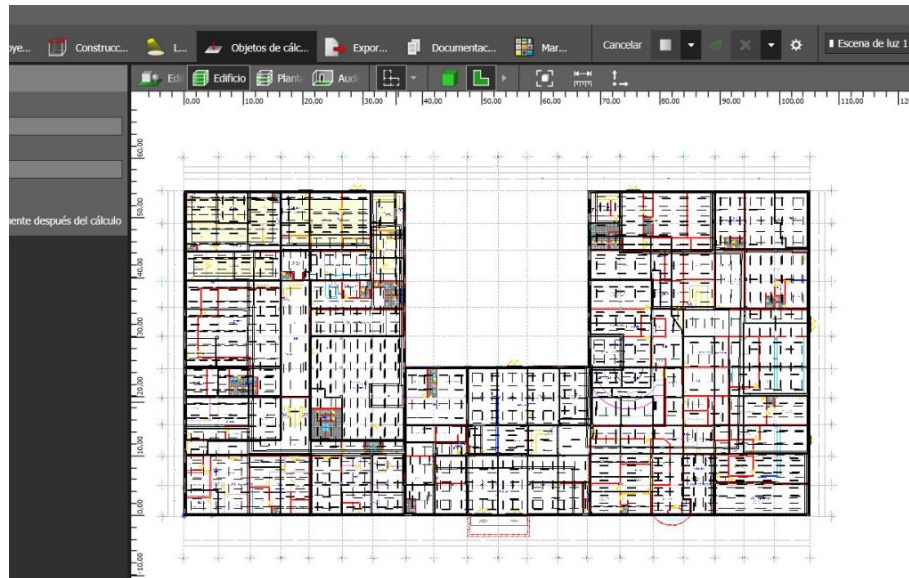


Figura 5: Distribución y niveles de iluminación.

En la simulación se observa cómo el edificio universitario se ilumina según los estándares de ocupación establecida. Se muestra en 3D el edificio lo que permitió visualizar el efecto lumínico en el entorno real, asegurando un diseño funcional y eficiente. Además, se calculan niveles óptimos de iluminación para mejorar el confort visual y la productividad, garantizando eficiencia energética y soluciones sostenibles en la infraestructura..

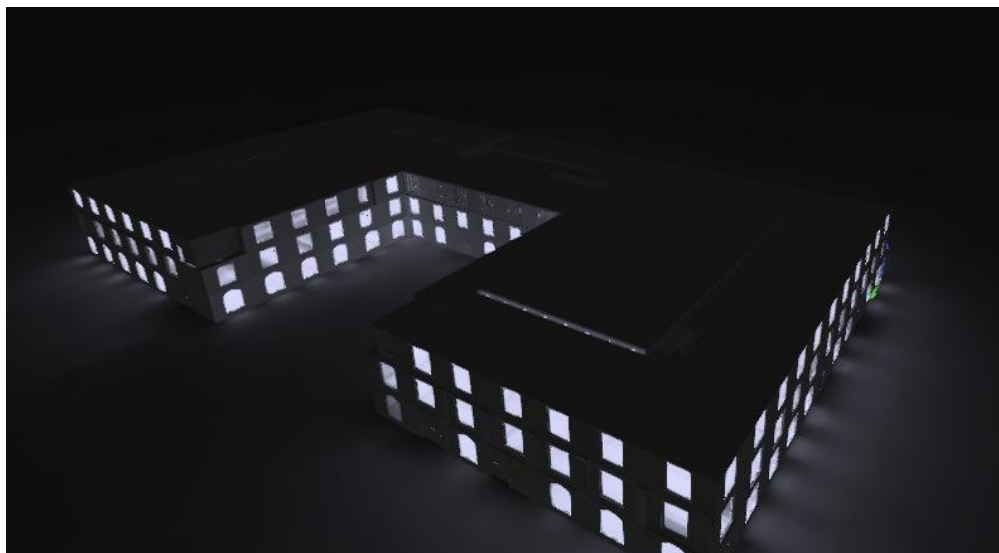


Figura 6: Simulación de iluminación

Los principales resultados del software para identificar la luminiscencia del edificio universitario generan un flujo luminoso total de 6,995,157 lúmenes, asegurando una adecuada visibilidad en los distintos espacios académicos. Para ello, consume 66,266 vatios, lo que refleja una demanda energética significativa que debe ser optimizada para reducir costos operativos. Su rendimiento lumínico de 105.6 lm/W indica una eficiencia aceptable, aunque podría

mejorarse con tecnologías de mayor eficiencia energética, en el anexo 7.8 se presenta el informe generado con Dialux Evo, donde se detallan los diferentes espacios que cumplen con la normativa.

El sistema de iluminación del edificio universitario está compuesto por 1,877 luminarias de Disano Illuminazione S.p.A, distribuidas en dos tipos. La Tabla 4 indica una potencia máxima de 68 W por luminaria. Con base en estos datos, la cantidad de luminarias y su potencia serán integradas en el programa OpenStudio para su análisis y optimización energética.

Tabla 4. Características de luminarias

Unidades	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Rendimiento lumínico (lm/W)
72	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0059	6602 Techno System - bi-asimétrico 25° - Relamping 4000K CRI 80 68W CLD Blanco	68.0	9,086	133.6
1805	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD-D-D Blanco	34.0	3,513	103.3

3.4 Creación de espacios y superficies

En este documento se toma como referencia un caso de estudio correspondiente a un edificio de uso universitario, el cual tiene un área construida de 4852 m² distribuido en 3 plantas. Cada planta está dividida en cinco espacios diferentes que son habilitados para diferentes espacios de uso académico, lo que repercute en la ordenación de la ocupación y consumo de energía del edificio.

El primer paso en el modelado del edificio objeto de estudio es la determinación de sus dimensiones y características de naturaleza geométrica, verificando que todas las medidas son correctas y se ajustan al diseño previsto. Para ello se utiliza el software SketchUp como herramienta de trabajo para la creación del modelo en tres dimensiones. En esta fase se incluye el modelado de cada espacio y para ello se van añadiendo elementos arquitectónicos como paredes, particiones interiores, ventanales y puertas. Una vez ejecutado el modelado, se le

asigna una altura de 3.5 metros por planta, eventualidad que sirve para definir el volumen del edificio y ajustar la operación de adquisición de sus propiedades termo-físicas para su análisis energético en las simulaciones posteriores.

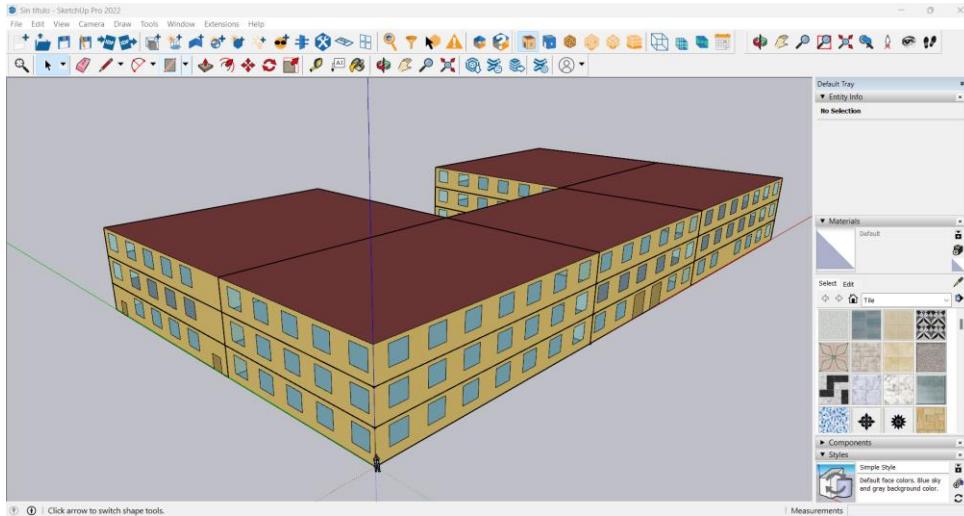


Figura 7: Modelación del edificio.

3.5 Transferencia de calor

Es la corroboración de que existe comunicación entre las superficies de ambas zonas térmicas adyacentes. Se hace uso de la opción matching in entire model. Por medio de dicha herramienta, las superficies exteriores que van a ser expuestas a la radiación y al viento se colorearán en azul y se teñirán las superficies internas de color verde. Esto será un indicativo del acoplamiento correcto entre las partes en cuestión y la transmisión de calor entre ellas.

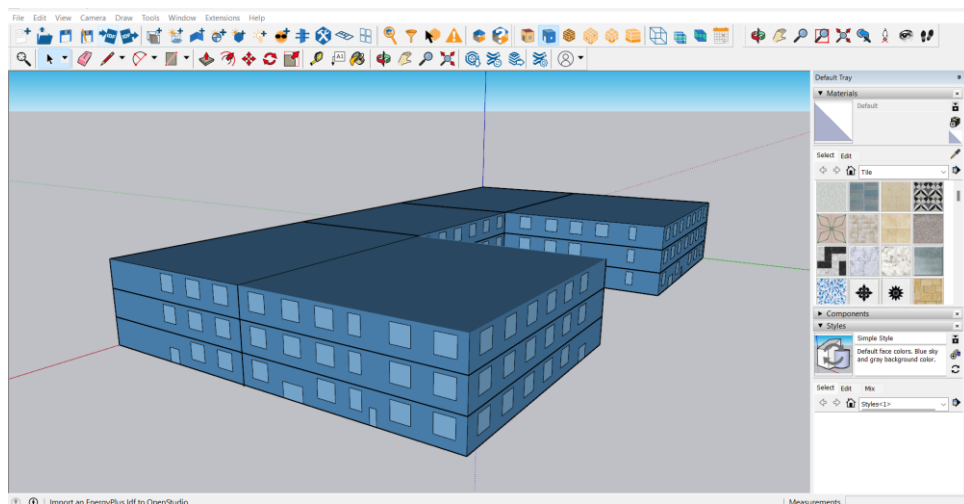


Figura 8: Condiciones de superficie.

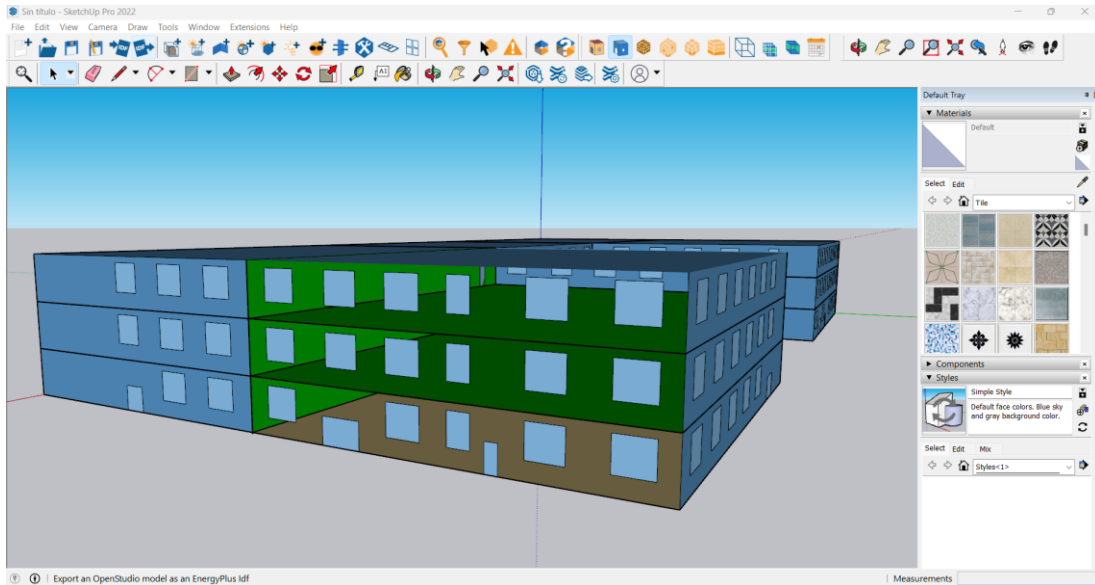


Figura 9: Resultados de superficie matching en el modelo.

3.6 Parámetros de espacios

Se definen las distintas asignaciones de los parámetros relacionados a los espacios, que incluyen: el nombre del espacio, el tipo de edificación, el número de plantas, la clasificación que le corresponde de acuerdo con la zona térmica, las condiciones de ventilación a cumplir (con valores preferidos o inadecuados), el uso de termostatos adecuados para la zona considerada en este análisis.

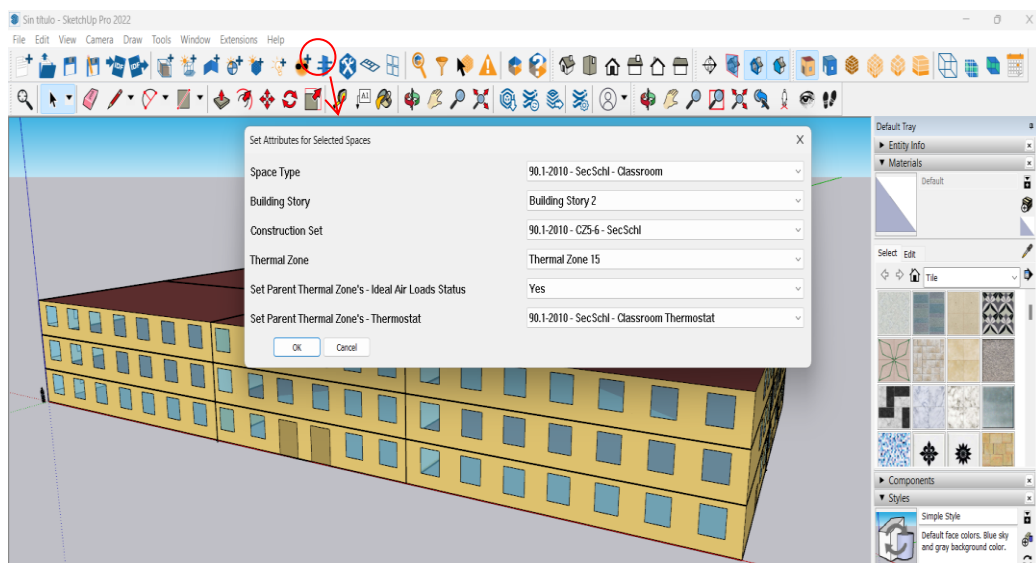


Figura 10: Parámetros de espacio.

3.7 Zonas térmicas

El edificio de uso universitario consta de tres pisos y está diseñado para albergar una variedad de espacios funcionales que se distribuyen en 15 zonas bien definidas. La mayoría de estas zonas están destinadas a aulas de clases, donde se llevarán a cabo actividades académicas regulares. Además, cuenta con oficinas que servirán como salas para profesores, un área de recepción para la atención de visitantes y estudiantes, una cafetería para el consumo de alimentos, y auditorios diseñados para eventos, conferencias y presentaciones. También incluye un área específica destinada a estudiantes que realizan trabajos prácticos relacionados con mecánica y electricidad, la cual está equipada con herramientas y equipos especializados para estas actividades.

Tabla 5. Criterios de zonas térmicas para uso educativo ASHRAE 55-2020

Espacio	Temperatura Recomendada (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Aire (m/s)	Renovación de Aire (L/s por persona)
Aulas y Salas de Conferencias	20 - 24 °C	40 - 60%	≤ 0.25 m/s	5 - 8 L/s por persona
Bibliotecas y Salas de Estudio	19 - 23 °C	40 - 60%	≤ 0.2 m/s	5 - 8 L/s por persona
Laboratorios	19 - 23 °C	30 - 60%	≤ 0.3 m/s	8 - 12 L/s por persona
Oficinas Administrativas	21 - 24 °C	40 - 60%	≤ 0.2 m/s	5 - 8 L/s por persona
Gimnasios y Áreas Deportivas Cubiertas	16 - 20 °C	40 - 60%	≤ 0.3 m/s	10 - 15 L/s por persona
Laboratorios con Equipos Electrónicos	19 - 22 °C	30 - 55%	≤ 0.2 m/s	8 - 12 L/s por persona
Auditorios y Salas de Usos Múltiples	20 - 24 °C	40 - 60%	≤ 0.3 m/s	8 - 10 L/s por persona

Debido a la diversidad de los espacios y sus usos, es fundamental dividir el edificio en distintas zonas térmicas. Esto se debe a que cada una de estas zonas presenta diferencias significativas

en sus condiciones energéticas, como la carga térmica derivada del número de personas que las ocupan, las actividades que se realizan y los equipos que funcionan en ellas. Por ejemplo, una sala de profesores o una oficina tendrá una carga térmica muy distinta a la de un gimnasio o un taller mecánico debido a la variación en la cantidad de personas, el tipo de actividad y el nivel de consumo energético de los equipos. Por ello, especificar distintas zonas térmicas no solo permite optimizar el confort de los usuarios, sino también mejorar la eficiencia energética del edificio al diseñar sistemas de climatización adaptados a las necesidades de cada espacio.

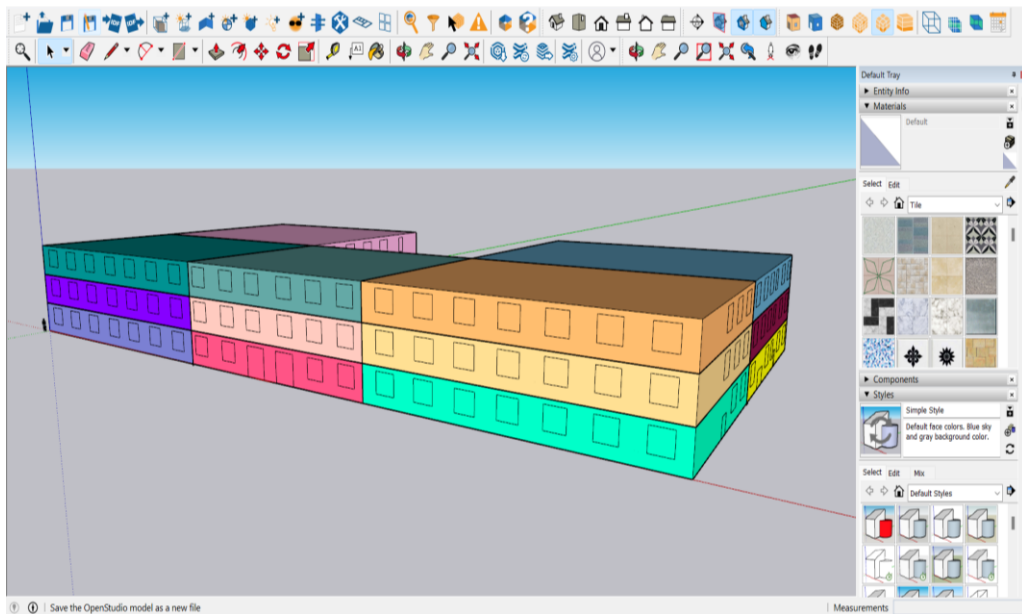


Figura 11: Zonas térmicas.

El cálculo de las cargas térmicas en el modelo del edificio se hará de una forma muy específica, considerando cada una de las zonas de forma independiente desde la perspectiva de sus configuraciones de límites y de las características que caracterizan el espacio: la cantidad de personas, los equipos, la luz, las fuentes de calor internas, etc. Las cargas térmicas internas producirán en este caso el valor de forma independiente de los grupos de carga térmica, que permitirá conocer la carga térmica sensible y latente por cada zona.

El flujo de aire, que tendrá un papel muy importante en la regulación térmica, se calculará muy específicamente teniendo en cuenta aspectos como la ventilación natural o la ventilación mecánica, o la velocidad y dirección del aire o su interacción con las superficies del edificio. Finalmente, los cálculos, por zona, simulan de un modo específico cuál es el estado del clima al interior del edificio y cuál será el comportamiento que tendrá el aire al interior del mismo.

Mediante estos cálculos se obtendrá el procedimiento de diseño, entre otras cosas, de los sistemas de climatización y su rendimiento energético.

3.8 Zona climática

En el software Open Studio existe tres opciones para el ingreso de variables que permite especificar la zona climática donde está ubicada la edificación. Además, cuenta con otras pestañas que permiten ingresar facturas del consumo eléctrico, consumo de agua y otros servicios básicos lo que hace que sea un software completo.

a) Weather File y DesignDays

En este apartado, se debe cargar el archivo de datos meteorológicos (.epw) descargado desde la página de Climate OneBuilding. Estos archivos son fundamentales, ya que proporcionan información detallada sobre las condiciones climáticas a las que están expuestos los edificios durante diferentes períodos del año, como días, meses y años.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) clasifica el clima de una ubicación en diversas regiones climáticas, basándose en los datos típicos meteorológicos anuales (TMY) del sitio. Las regiones climáticas definidas por ASHRAE se codifican utilizando un número que representa la severidad climática (desde 0 para calor extremo hasta 8 para condiciones subárticas) y una letra que indica el subtipo climático.

En este proyecto se tomó como referencia los datos climáticos de Quito, con un clima frío, y de Guayaquil, con un clima tropical o templado seco. Según la norma ASHRAE 90.1, Quito se clasifica como zona climática 3C, mientras que Guayaquil corresponde a la zona climática 1B. Estas clasificaciones se basan en el criterio térmico definido en la tabla 4.2 y permiten a OpenStudio y EnergyPlus manejar los datos de entrada según las condiciones climáticas específicas de cada ciudad. En la tabla siguiente, se presenta un extracto simplificado de las zonas climáticas en Ecuador.

Tabla 6. Criterios Térmicos Basados en las Zonas Climáticas de ASHRAE

Zona Climática	Subtipo Climático	Criterio Térmico (HDD18°C)	Ejemplo de Ciudad en Ecuador
1	1A – Tropical Seco	$HDD18^{\circ}C \leq 450$	Guayaquil, Manta, Machala, Esmeraldas

2	2A - Húmeda calurosa	$3500 < \text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 5000$	Tena, Puyo
3	3C- Templado	$2000 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 3000$	Cuenca, Loja
4	5C - Frío	$\text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 2500$ y $\text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 2000$ $2000 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ $3000 \text{ m} < \text{Altura (m)} \leq 5000 \text{ m}$	Quito, Latacunga, Ambato, Riobamba
6	E - Subártico	$4500 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 5400$	No aplica en Ecuador

Los datos meteorológico correspondiente a Quito que se muestra en la Figura 9, se encuentra ubicado en las coordenadas latitud -0.15 y longitud -78.48, con una altitud de 2812 metros sobre el nivel del mar. La zona horaria utilizada es UTC-5. Según la clasificación climática de la norma ASHRAE, Quito se encuentra en la Zona Climática 5C, que corresponde a un clima templado y moderadamente frío. Además, se asigna la Zona Climática CEC 3, adecuada para regiones de clima templado a frío, teniendo en cuenta su ubicación de alta altitud y temperaturas frescas.

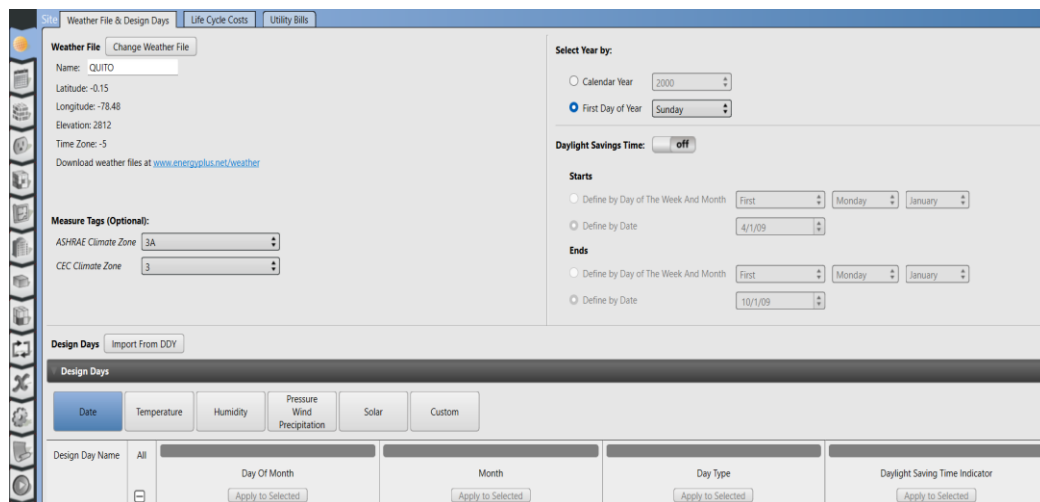


Figura 12: Datos meteorológicos del caso 1.

En la Figura 12 se muestra los datos meteorológicos seleccionado corresponde a Guayaquil, ubicado en las coordenadas de latitud -2.157 y longitud -79.884, con una altitud de 5.8 metros sobre el nivel del mar. La zona horaria utilizada es UTC-5. Según la clasificación climática de la norma ASHRAE, Guayaquil se encuentra en la Zona Climática 1A, que representa un clima tropical cálido y húmedo.

Figura 13: Datos meteorológicos del caso 2.

En este apartado se encontrarán dos pestañas: Schedule Sets y Schedules. A través de esta opción, se configurarán los niveles de ocupación, iluminación, equipos eléctricos y termostatos, todo en función del uso específico de las instalaciones. Para reducir la cantidad de horarios, se priorizará la estandarización de los tipos de espacios, asegurando así que cada uno mantenga un nivel adecuado, también se considera que la demanda en horarios nocturnos con el uso de luces de emergencia, cámaras de seguridad y servidores de red.

Tabla 7. Criterios Térmicos Basados en las Zonas Climáticas de ASHRAE

Tipos de espacio	Demanda	Horario
Aula de clases	Luminarias	07H00-20H00
	Equipamiento eléctrico	07H00-20H00
	Ocupación de personas	07H00-20H00
Biblioteca	Luminarias	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
	Equipamiento eléctrico	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
	Ocupación de personas	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
Oficinas	Luminarias	07H00-20H00
	Equipamiento eléctrico	07H00-20H00
	Ocupación de personas	07H00-20H00
Cafetería	Luminarias	07H00-20H00
	Equipamiento eléctrico	07H00-20H00
	Ocupación de personas	07H00-20H00
Auditorio	Luminarias	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
	Equipamiento eléctrico	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
	Ocupación de personas	08H00-13H00 y de 14H00-16H00
Taller	Luminarias	08H00-18H00

	Equipamiento eléctrico	08H00-18H00
	Ocupación de personas	08H00-18H00

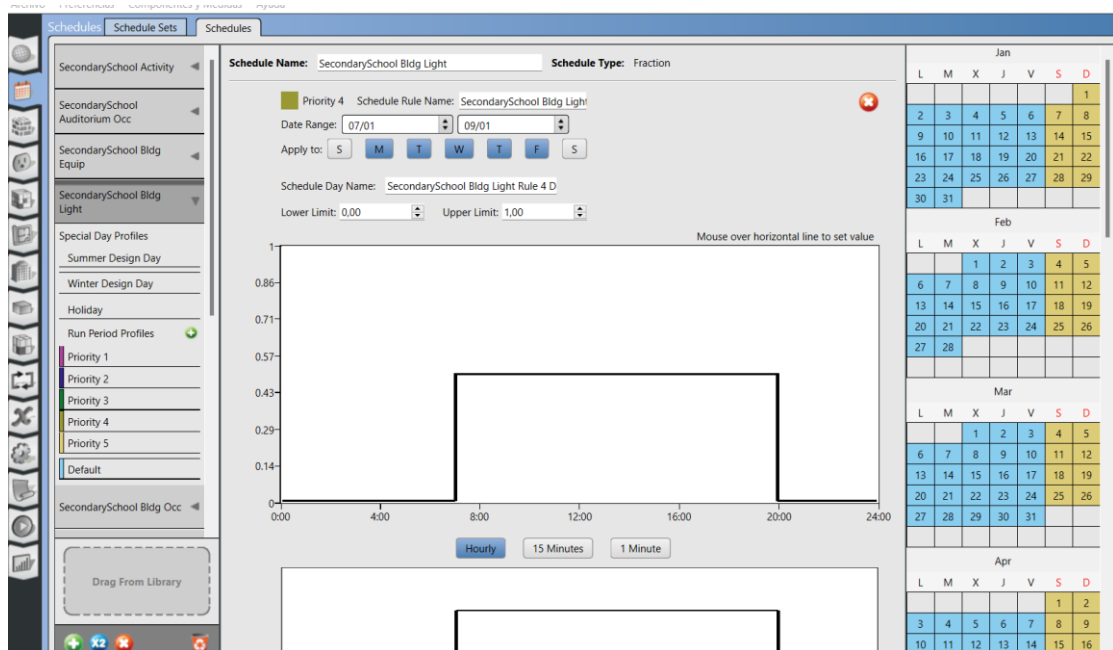


Figura 14: horarios de consumo eléctrico de 7am a 20pm.

Se observa en la figura 14 que los horarios de consumo eléctrico, al tratarse de una institución educativa, están establecidos entre las 7:00 a. m. y las 8:00 p. m. Asimismo, el funcionamiento del edificio se limita a los días hábiles, de lunes a viernes.

3.9 Levantamiento de cargas

3.9.1 Cargas de luces y luminarias

Se realiza un levantamiento detallado de las luminarias instaladas en cada zona del edificio, considerando la potencia nominal (W), y el número total de unidades. Además, se toma en cuenta el tiempo promedio de uso diario de cada luminaria para estimar el consumo energético asociado.

Tabla 8. Dimensionamiento de luminarias

Iluminación			
Tipo de espacio	Potencia (W)	Nº Salidas	Potencia Total (W)
Aulas	34	766	20835.2
Oficina	34	284	8105
Auditorio	34	118	3264
Auditorio	68	72	3916.8

	34	58	1467.6
Cafería	34	111	3019.2
Lobby	34	97	2856
Biblioteca	34	144	4080
Taller	34	154	4352

El análisis, se estableció un número estándar de luminarias para cada tipo de espacio, como se indica en la Tabla 7. En OpenStudio, se ingresará la potencia nominal en vatios, correspondiente a la suma del consumo de todos los puntos de iluminación presentes en cada tipo de espacio, según lo ilustrado en la Figura 13.

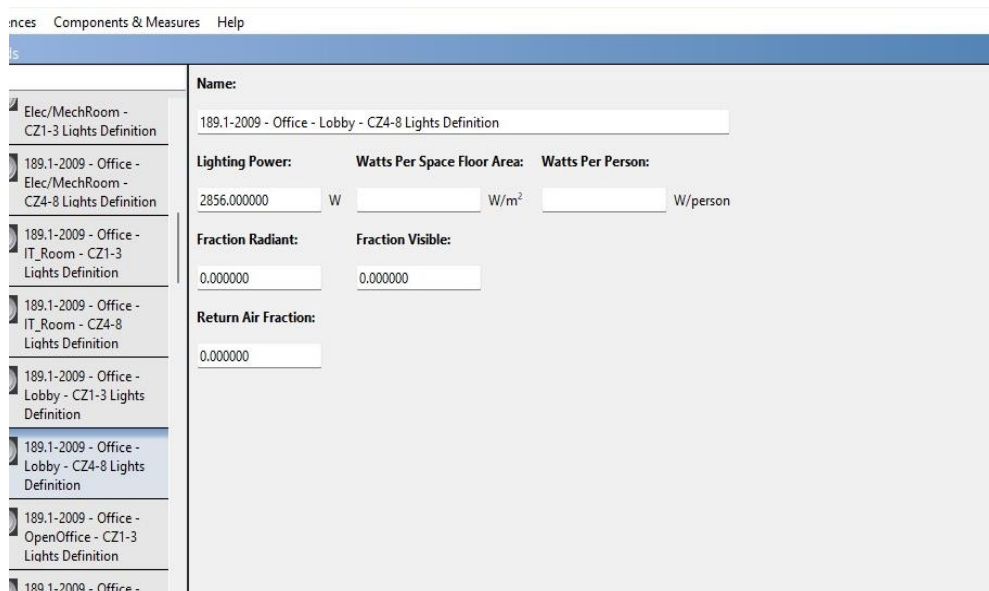


Figura 15: Potencia de luminarias.

3.9.2 Cargas de equipos eléctricos

Se identifican todos los equipos eléctricos presentes en las distintas zonas del edificio, incluyendo proyectores, computadoras, impresoras, equipos de laboratorio, herramientas mecánicas y eléctricas, aires acondicionados, microondas, refrigeradores y otros. Para cada equipo se registran su potencia nominal (kW), su factor de uso, y su tiempo promedio de funcionamiento diario. Esto permite determinar el consumo energético de los equipos tanto en horarios de actividad como en períodos de inactividad o stand-by.

Tabla 9. Dimensionamiento de cargas

Espacio	Cantidad	Potencia total
Oficina	149	11920
Auditorio	101	8080

Biblioteca	77	6160
Lobby	43	4440
Taller	70	5600
Aula de clases	225	19600
Cafetería	16	1280
Total		56080

En el caso de un edificio de uso académico, que dispone de diversos equipos eléctricos como computadoras de escritorio, portátiles, proyectores de pantalla y otros dispositivos, se ha establecido una definición de los valores de potencia en vatios consumidos por un computador de escritorio.

3.9.3 Personas

La ocupación del edificio se organiza en dos jornadas principales:

- Jornada matutina: De 7:00 a 13:00 horas.
- Jornada vespertina: De 14:00 a 20:00 horas.

El número de personas varía en función de la capacidad de cada zona. Las aulas, auditorios y el gimnasio suelen tener mayor densidad de ocupación durante las horas de clase o eventos programados. Por otro lado, las oficinas y áreas de trabajo específicas cuentan con una ocupación más constante. En promedio, se estima que todo el personal administrativo y docente, así como los estudiantes, generan una carga térmica que varía según su nivel de actividad física y el tiempo de permanencia en las instalaciones.

Para determinar la carga térmica por personas, se considera el estándar ASHRAE 90.1-2016, en donde establece la densidad de ocupación por m² sobre persona en cada espacio. Esto es esencial para calcular las necesidades de climatización y ventilación de cada zona, asegurando confort térmico y eficiencia energética.

Tabla 10. Densidad de ocupación de personas por espacio

Tipo de espacio	Densidad de ocupación por defecto (ft ² /persona)	Densidad de ocupación por defecto (m ² /persona)
Aula de clases	40	3,710
Taller	40	3,710
Oficina	200	18,580
Librería	100	9,290

Cafetería	70	6.5
Lobby	150	14.0

3.10 Levantamiento de cargas

Se llevó a cabo un levantamiento de cargas eléctricas para determinar la distribución de la demanda energética en el edificio. En la Tabla 11, se presenta el dimensionamiento realizado por zonas, lo que permitió identificar la potencia requerida en cada área específica. Como resultado, se obtuvo una potencia total instalada de 109 kW.

Tabla 11. Densidad de ocupación de personas por espacio

	NOMBRE	CARGA INSTALADA	
PLANTA BAJA			
		TOMACORRIENTES	ILUMINACIÓN
Library	SUB-TABLERO 1	6,160	4,080
Lobby	SUB-TABLERO 2	3,440	2,856
Auditorio	SUB-TABLERO 3	6,160	3,264
Mechanic	SUB-TABLERO 4	5,600	4,352
Office	SUB-TABLERO 5	4,320	4,488
	TOTAL		44,720
PRIMERA PLANTA			
Clasroom 1	SUB-TABLERO 1	5520	4080
Clasroom 2	SUB-TABLERO 2	2400	2856
Clasroom 3	SUB-TABLERO 3	2960	3264
Clasroom 4	SUB-TABLERO 4	4400	1,632
Clasroom 5	SUB-TABLERO 5	5200	4080
	TOTAL		36,392
SEGUNDA PLANTA			
Clasroom 6	SUB TABLERO 1	1600	3536
Office	SUB-TABLERO 2	3200	1985.6
Coffe	SUB-TABLERO 3	1280	3019.2
Auditorio	SUB-TABLERO 4	1920	5494.4
Clasroom 7	SUB-TABLERO 5	1920	4352
	TOTAL		28,307
	TOTAL, GENERAL		109

Se calculó la demanda eléctrica del edificio tomando como referencia una curva promedio de demanda para edificaciones universitarias que se muestra en la Figura 17, considerando una potencia de 250 kW. Este análisis permitió evaluar el comportamiento del consumo energético en función de la ocupación, el uso de equipos eléctricos y la distribución de cargas en las distintas áreas. Con esta información, se podrá optimizar el dimensionamiento del sistema eléctrico, mejorar la eficiencia energética y garantizar un suministro estable acorde a las necesidades operativas del edificio.

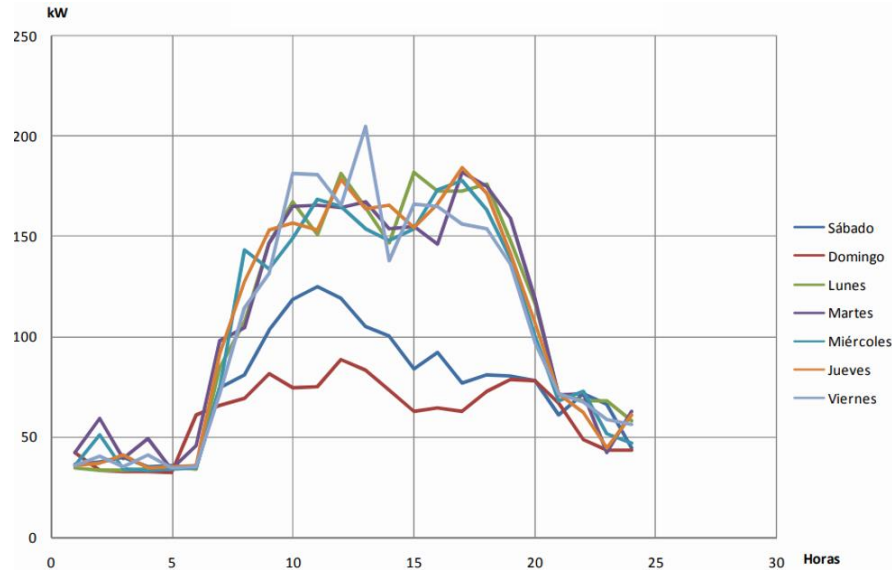


Figura 16: Referente energético de un edificio universitario [22].

La demanda de energía en kWh por día a lo largo de una jornada de 24 horas, evidencia que la demanda del edificio tiene un descenso por la noche y madrugada mientras que se observa un incremento significativo a partir de las 7:00 a.m., alcanzando su punto máximo entre las 10:00 a.m. y 15:00 p.m. El miércoles registra la mayor demanda, seguido de jueves y viernes, mientras que los lunes presentan el menor consumo con fluctuaciones más marcadas en las horas pico.

La Figura 17 muestra la demanda energética del edificio, considerando su operación de lunes a viernes. Se observa que el consumo máximo se registra los miércoles, alcanzando un pico que llega a los 1060.01 kW/día, mientras que el menor consumo se presenta los lunes, con 994.03 kW/día. Este comportamiento refleja variaciones en la actividad y uso de los espacios a lo largo de la semana.

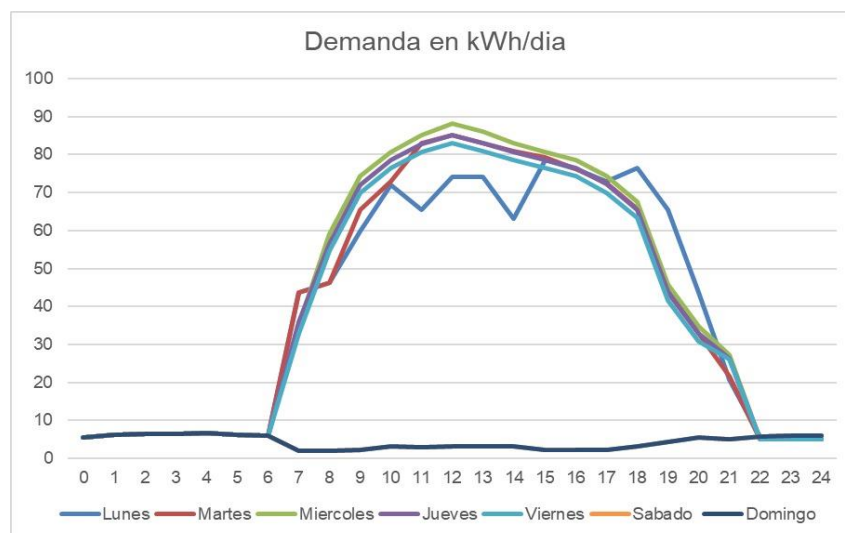


Figura 17: Consumo de energía eléctrica por cada equipamiento.

La Figura 19 muestra el consumo energético mensual de un edificio universitario a lo largo del año. Se observan variaciones en el consumo, con valores máximos en marzo de 23,318.2 kWh y mínimos en octubre febrero de 20,268.2 kWh. En los demás meses, el consumo oscila entre 21,176.2 kWh y 22,396.8 kWh, sin una tendencia clara de aumento o disminución sostenida. Este comportamiento puede estar influenciado por factores como la carga académica, la cantidad de estudiantes y personal presente en el edificio, así como posibles variaciones estacionales en el uso de equipos y sistemas de climatización. La información recopilada es clave para analizar patrones de consumo y desarrollar estrategias de eficiencia energética en el campus.

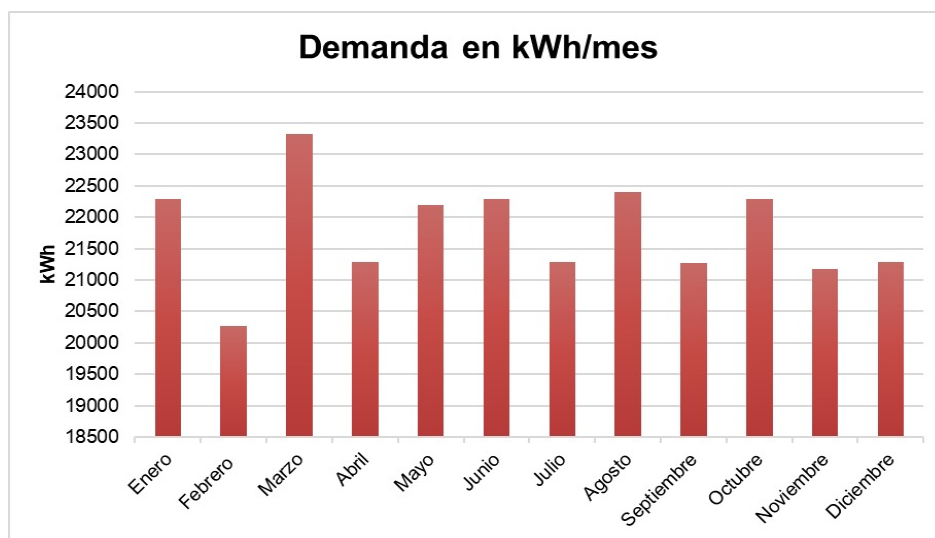


Figura 18: Consumo de energía eléctrica mensual.

En este capítulo se presentan los resultados de la simulación realizada con OpenStudio para los casos de estudio en la zona fría y la zona tropical. Estos resultados serán validados con la información obtenida del levantamiento de cargas, el tipo de construcción y el consumo de energía eléctrica. En primera instancia, se analiza la simulación del caso base del edificio en condiciones climáticas de zona fría, tomando como referencia las condiciones actuales, como las cargas eléctricas, los materiales de construcción.

De igual manera, se describe la simulación del edificio en la zona tropical, evaluando el desempeño energético en función de las características del entorno y los parámetros de operación del sistema. Dentro de este análisis, se examinan los sistemas de aire acondicionado (HVAC), considerando su eficiencia energética, el impacto en el consumo eléctrico y su influencia en el confort térmico del edificio.

3.11 Sistemas de HVAC

En la zona tropical, caracterizada por temperaturas elevadas y una baja humedad relativa, es fundamental la implementación de sistemas de climatización eficientes para garantizar el confort térmico dentro de las edificaciones. Debido a las condiciones climáticas adversas, la demanda energética destinada a sistemas de aire acondicionado y ventilación (HVAC) suele ser considerablemente alta, lo que hace imprescindible diseñar soluciones que optimicen el consumo energético y reduzcan el impacto ambiental.

La norma ASHRAE 90.1-2016, establece los criterios de eficiencia energética para edificaciones. Permitiendo definir de manera precisa los parámetros de diseño y dimensionamiento de los sistemas de aire acondicionado, asegurando que cumplan con los estándares de eficiencia y desempeño adecuados para climas calurosos. En sistemas de aire acondicionado, la temperatura mínima de aire suministrado suele estar entre 12°C y 18°C para garantizar un enfriamiento eficiente. Por otro lado, la temperatura máxima de enfriamiento en espacios ocupados, ASHRAE recomienda un máximo de 26°C. En climas cálidos como Guayaquil, la temperatura del aire de suministro en ventilación mecánica generalmente se mantiene por debajo de 30°C para evitar el sobrecalentamiento y garantizar el confort térmico.

Bajo esto se realiza un HVAC que cumpla con las condiciones de temperatura como se observa en la figura 16.

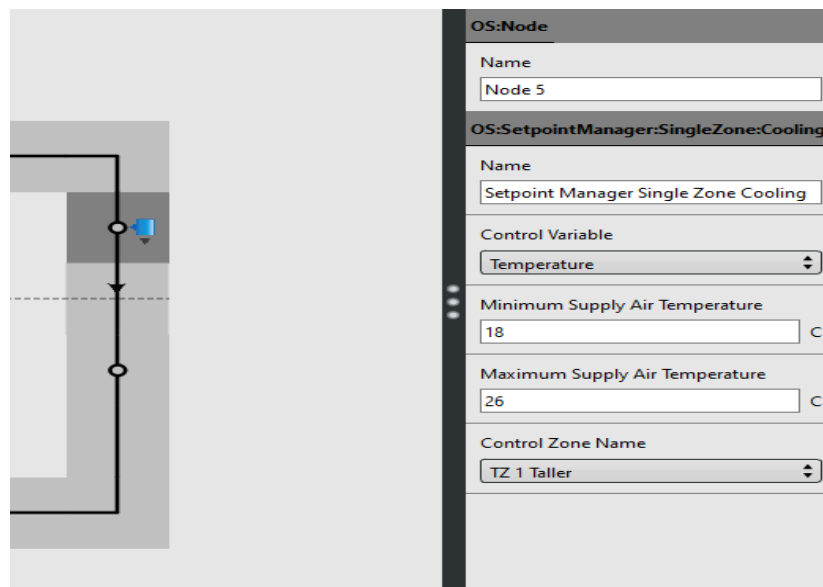


Figura 19: Configuración del sistema HVAC para el edificio.

3.11.1 creación un modelo HVAC

El sistema cuenta con varios componentes principales como se observa en la figura 19. En la parte superior se tiene el AirLoopHVACOutdoor Air System el cual representa el sistema de aire exterior en un bucle de aire, a través de este se gestiona la entrada de aire fresco desde el ambiente exterior, este sistema incluye compuertas de aire exterior y de recirculación, filtros de aire, y en algunos casos, intercambiadores de calor para la recuperación de energía, mediante el cual se tiene una adecuada ventilación del edificio, cumpliendo con los estándares de calidad del aire interior y eficiencia energética.

Seguido tenemos un Unitary Single Speed DX Cooling Cycle de la familia AirLoopHVACUnitary System el cual es un sistema de refrigeración mismo que usa un compresor de velocidad fija para enfriar el aire antes de distribuirlo por el edificio. Para definir la temperatura objetivo para una zona específica dentro del sistema HVAC se usa el Setpoint Manager Single Zone Cooling mismo que se encarga del enfriamiento de una sola zona, el setpoint manager ajusta la temperatura del aire suministrado en función de las condiciones de temperatura de la zona servida.

En la parte inferior se tiene la zona donde se va a ubicar el HVAC acompañado de un difusor el cual actúa como un punto de distribución del aire dentro del sistema de ventilación.

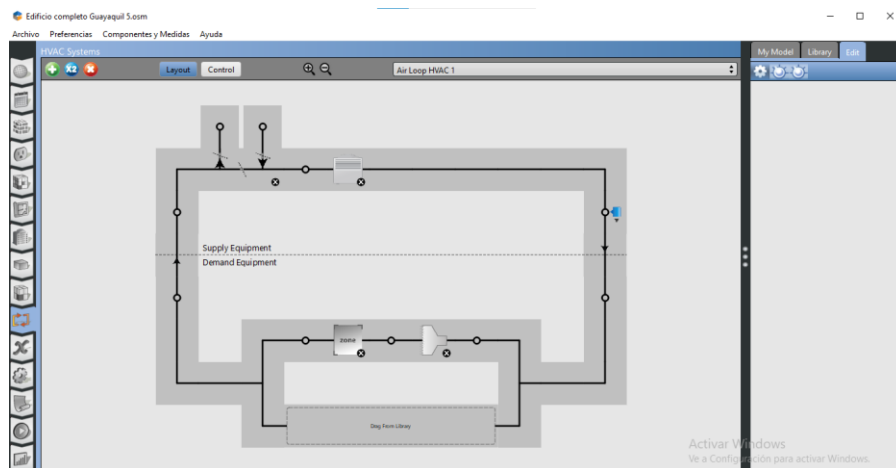


Figura 20: Creación del sistema HVAC.

3.11.2 Implementación de sistema fotovoltaico

En esta sección se realizará el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para integrarlo al edificio utilizando OpenStudio. La simulación permitirá analizar la generación de energía a

partir de los paneles solares y su impacto en la reducción del consumo energético del edificio. Se considerarán factores como la radiación solar, la inclinación y orientación de los paneles.

3.11.3 Ubicación geográfica

El edificio objeto de estudio se encuentra en las zonas 1A tropical y 5C fría del Ecuador según establece la ASHRAE. Esta ubicación se ingresará en el software de simulación para obtener los datos climáticos específicos.

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio:

País: Región:

Coordenadas geográficas

Latitud: Decimal [°] Grad. Min. Seg. (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: [°] (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio
Hora Legal - Hora Solar = 0h 14m

Figura 21 Coordenadas geográficas de la instalación fotovoltaica caso 1

En el caso 1 el edificio esta ubicado en la ciudad de Quito, con la base de datos de las coordenadas geográficas el programa ajusta las horas solares durante el año, mediante la importación de datos meteorológicos.

Parámetros del sitio geográfico

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio:

País: Región:

Coordenadas geográficas

Latitud: Decimal [°] Grad. Min. Seg. (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: [°] (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio
Hora Legal - Hora Solar = 0h 20m

Figura 22 Coordenadas geográficas de la instalación fotovoltaica caso 2

En el caso 2 el edificio está ubicado en la ciudad de Guayaquil, con la base de datos de las coordenadas geográficas el programa ajusta las horas solares durante el año, mediante la importación de datos meteorológicos.

En la tabla 12, indica la data meteorológica importada de Meteorom 8, donde se indica los valores mensuales de irradiación horizontal global, irradiación difusa horizontal, temperatura, velocidad del viento, turbidez y humedad relativa. Cada uno de estos parámetros son esenciales para determinar la factibilidad de la instalación del sistema fotovoltaico en el edificio del caso 1 y 2 respectivamente.

Tabla 12 Data climatológica de Meteorom 8 Caso 1

Mes	Irradiación Horizontal Global (kWh/m ² /mes)	Irradiación Difusa Horizontal (kWh/m ² /mes)	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Turbidez Linke [-]	Humedad Relativa (%)
Enero	178.9	70.5	14.2	2.1	2.568	74.7
Febrero	140.3	71.9	14.1	2.1	2.71	76
Marzo	164.3	78	14.1	1.9	2.635	76.8
Abril	159.7	67.5	13.8	1.71	2.613	79.4
Mayo	171	73.9	14.2	1.89	2.478	74.8
Junio	168.7	62.2	13.9	2.29	2.329	69.1
Julio	180.3	66.3	14	2.1	2.326	63.7
Agosto	190.7	66.6	14.5	2.91	2.518	59.5
Septiembre	167.3	69.3	14.3	2.59	2.659	63.2
Octubre	155.3	75.2	14.2	2.1	2.751	70.8
Noviembre	146.9	72.3	13.8	2.9	2.778	74.8
Diciembre	165.1	68.8	14	2	2.698	76
Promedio Anual	1988.8	838.9	14.1	2.2	2.589	71.6

Tabla 13 Data climatológica de Meteorom 8 Caso 2

Mes	Irradiación Horizontal Global (kWh/m ² /mes)	Irradiación Difusa Horizontal (kWh/m ² /mes)	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Turbidez Linke [-]	Humedad Relativa (%)
Enero	146.2	76.7	26.6	1.3	4.363	71.2
Febrero	129.7	83.6	26.5	1	4.188	76.7
Marzo	154.7	87.8	27	1.09	4.244	74.8
Abril	154.7	80.8	26.7	1.19	4.7	74.9

Mayo	140.1	76.2	26.4	1.49	4.628	73.1
Junio	122.8	78.2	24.8	2.03	4.157	73.5
Julio	120.3	79.3	24.4	2.39	3.936	71.6
Agosto	120.3	80.1	24.1	2.86	4.16	71.1
Septiembre	120.8	79.4	24.1	2.89	4.689	71.9
Octubre	108.3	70.7	24.5	2.5	4.869	69
Noviembre	115	71.9	24.7	2	5.004	69
Diciembre	138.5	82.9	26.6	2	5.273	64.3
Promedio Anual	1571.9	939.5	25.5	2	4.518	71.6

3.11.4 Orientación e inclinación

Se desarrollará la simulación del edificio considerando las siguientes orientaciones para los dos casos. Cuando la orientación coincide hacia el Norte se considera un ángulo de 0° y si están referenciados hacia el Oeste se considera ángulos 270° . Para determinar la inclinación adecuada y optima se aplicará la siguiente ecuación:

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

$$\beta = 3.7 + 0.69(0)$$

$$\beta = 3.7 \approx 4^\circ$$

El ángulo de inclinación optima es de 4 grados y la orientación de los módulos fotovoltaicos es hacia el Norte en los dos casos debido a que Ecuador está ubicado en el centro de la línea ecuatorial, lo que significa que el sol se mueve casi de este a oeste pasando por el cenit en muchos momentos del año. Para maximizar la captación de la radiación solar a lo largo del día y del año.

En las siguientes figuras se encuentran diseñado los escenarios con 4° de inclinación para los paneles solares para cada uno de los casos en el software PVsyst.

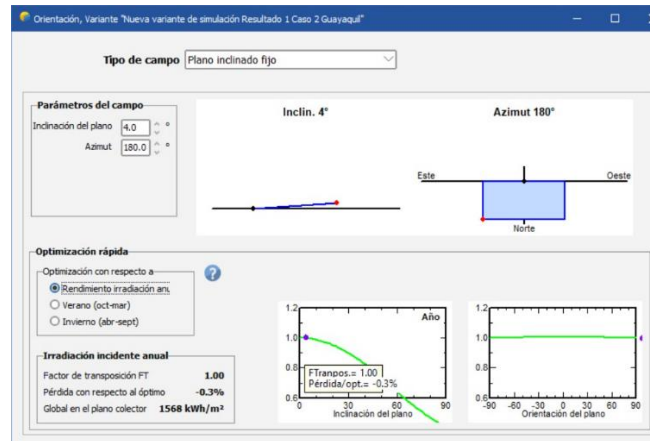


Figura 23 Inclinación de paneles solares caso 1

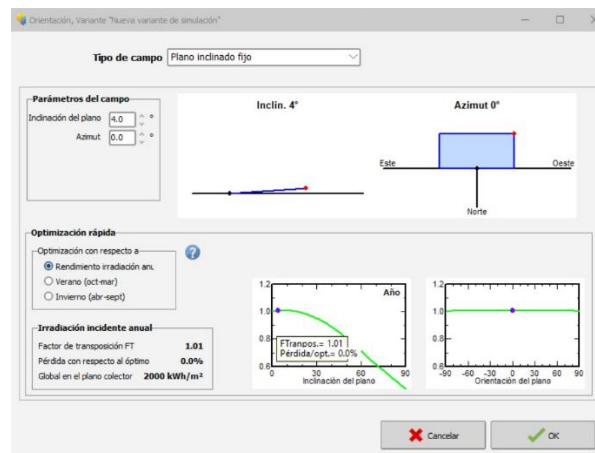


Figura 24 Inclinación de paneles solares caso 2

3.11.5 Principales componentes de un sistema fotovoltaico

Para un sistema fotovoltaico que se encuentre conectado a la red debe estar compuesto por módulos fotovoltaicos, inversores y medidores respectivamente, a comparación del sistema con almacenamiento energético, este no necesita de baterías ya que la energía generada se inyecta directamente a la red.

a) Módulos fotovoltaicos

Los aspectos ideales para elegir los módulos fotovoltaicos incluyen:

- Modelo de la célula fotovoltaica
- Costo
- Eficiencia de los módulos
- Cantidad de generación fotovoltaica de la instalación.

b) Inversor

Los inversores son los encargados de transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), atendiendo a diversos criterios para su correcta selección. Suelen funcionar como una fuente de corriente auto conmutada sincronizada con la red de distribución eléctrica.

Para elegir el inversor adecuado en un sistema conectado a la red eléctrica se deben considerar los siguientes aspectos:

- Valores máximos, mínimos y nominales de tensión de la red.
- Frecuencia de operación.
- Eficiencia y rendimiento del dispositivo.
- Número de fases.
- Factor de potencia.

3.11.6 Características del sistema fotovoltaico

Para la simulación, se considerará un sistema fotovoltaico conectado a la red con las siguientes especificaciones:

- **Tipo de paneles solares:** Los criterios para la selección son la capacidad de generación de la instalación fotovoltaica, tipo de célula fotovoltaica (silicio monocristalino, silicio monocristalino y amorfo), la eficiencia de los paneles solares y el costo.
- **Inclinación y orientación:** 4° de inclinación y orientación hacia el Norte
- **Inversor:** Los inversores fotovoltaicos son componentes clave en un sistema de energía solar, ya que su función principal es convertir la corriente continua (C.C.) generada por los paneles solares en corriente alterna (C.A.), que es la forma de energía utilizada por la mayoría de los equipos eléctricos. Para seleccionar adecuadamente un inversor, se

deben tener en cuenta varios factores técnicos que aseguren la eficiencia y el correcto funcionamiento del sistema, como:

- Tensión máxima, mínima y nominal de la red.
- Frecuencia de operación.
- Eficiencia y rendimiento del inversor.
- Número de fases.
- Factor de potencia.

Para establecer el número de paneles totales necesarios a ser instalados para cumplir con la demanda eléctrica requerida del edificio se va a calcular la potencia fotovoltaica necesaria para el sistema.

$$P_{FV\ necesaria} = \frac{\text{Demanda anual (kWh/año)}}{\text{Produccion anual por kWp(kWh/año)}} \quad (1)$$

La producción por kWp es la cantidad eléctrica generada anualmente por cada kilovatio pico de paneles solares instalados, depende de varios factores como la ubicación geográfica, la radiación solar, la inclinación y la eficiencia del sistema. Para este caso como el estudio se va a situar en la ciudad de Guayaquil la producción estimada esta entre 1,300 y 1500 kWp-año como se puede ver en el anexo 6, para esto se va a considerar un valor promedio de 1400 kWh en un año.

Para el Caso 1 de la zona climática fría considerada la ciudad de Quito se va a considerar una producción anual de 257,704.84 kW/año

$$P_{FV\ necesaria} = \frac{257,704.84}{1,400} \quad (2)$$

$$P_{FV\ necesaria} = 184,08\ kWp \quad (3)$$

Con la Potencia fotovoltaica necesaria ahora se va a calcular el número de paneles necesarios para el sistema:

$$NT = \frac{\text{Potencia fotovoltaica necesaria (kWp)}}{\text{Potencia de cada módulo (kWp)}} \quad (4)$$

$$NT = \frac{184,08}{0,55} = 335 \quad (5)$$

El número de paneles necesario de paneles es de 335 paneles de 550 Wp, para determinar la cantidad necesaria de paneles que se va a utilizar se aplicara la siguiente formula.

$$\text{Número de Inversores} = \frac{\text{Potencia total (kW)}}{\text{Capacidad del Inversor (kW)}} \quad (6)$$

$$\text{Número de Inversores} = \frac{184,08}{60} = 3.07 \quad (7)$$

Entonces se necesitan de 3 inversores de 60 kW para cubrir la demanda, en los anexos 7 y 8 se observan los modelos y la ficha técnica tanto del panel solar como de inversor para el caso de estudio.

Para el Caso 2 de la zona climática considerada la ciudad de Guayaquil se va a considerar una producción anual de 885,900.53 kW/año.

$$P_{FV \text{ necesaria}} = \frac{885,900.53}{1,400} \quad (8)$$

$$P_{FV \text{ necesaria}} = 632,07 \text{ kWp} \quad (9)$$

Con la Potencia fotovoltaica necesaria ahora se va a calcular el número de paneles necesarios para el sistema:

$$NT = \frac{623,07}{0,5} = 1,264 \quad (10)$$

El número de paneles necesario de paneles es de 1,264 paneles de 500 Wp, para determinar la cantidad necesaria de paneles que se va a utilizar se aplicara la siguiente formula.

$$\text{Número de Inversores} = \frac{632,07}{100} = 6,32 \quad (11)$$

Entonces se necesitan de 7 inversores de 100 kW para cubrir la demanda, en los anexos 9 y 10 se observan los modelos y la ficha técnica tanto del panel solar como de inversor para el caso de estudio.

3.11.7 Sombreados cercanos

En esta parte se determinará objetos y edificios que posiblemente pueden producir sombreados a los paneles fotovoltaicos. Además, las separaciones entre las filas que componen el generador arrojan sombras una sobre otra en determinados momentos de días y año.

A continuación, se muestra el cálculo de la distancia mínimas de separaciones entre módulos.

$$h = l \times \text{Sin}(\theta) \quad (12)$$

$$h = 1.740 \times \text{Sin}(4) \quad (13)$$

$$h = 0.12 \text{ m} \quad (14)$$

Una vez se haya determinado la altura del módulo fotovoltaico debido a la inclinación óptima se determinará la distancia mínima entre filas para que no se pueda producir sombra entre ellos.

$$d_{min} = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \theta)} \quad (15)$$

$$d_{min} = \frac{0.12}{\text{tg}(61^\circ - 4)} \quad (16)$$

$$d_{min} = 0.078 \text{ m} \quad (17)$$

La distancia mínima entre módulos será de 0.078 m considerando un 20% adicional en caso de que se tenga un poco de espacio. Con esta distancia se procederá a insertar los paneles solares sobre el edificio considerando la inclinación y orientación óptima para su ubicación. Además,

se considera que existe un adecuado espacio para realizar el mantenimiento y limpieza preventivo del sistema.

No hay sombras cercanas que afecten, esto debido a que los edificios están situados en una zona libre de obstáculos. Por otro lado, los paneles solares se verán afectados por las radiaciones solares que se dan en el mes de febrero en donde es más baja la trayectoria del sol y en agosto que es el mes con mayor trayectoria solar.

3.11.8 Producción de Energía Eléctrica

Después de haber determinado la orientación, el sistema fotovoltaico, los sombreados y diseños del módulo podremos ejecutar la simulación para poder conocer cuanto será la producción del sistema. La producción de energía eléctrica para el edificio es de 885,900.53 kWh/año. Una vez determinado la producción de energía eléctrica que es capaz producirse se procederá a colocar los paneles solares en el software.

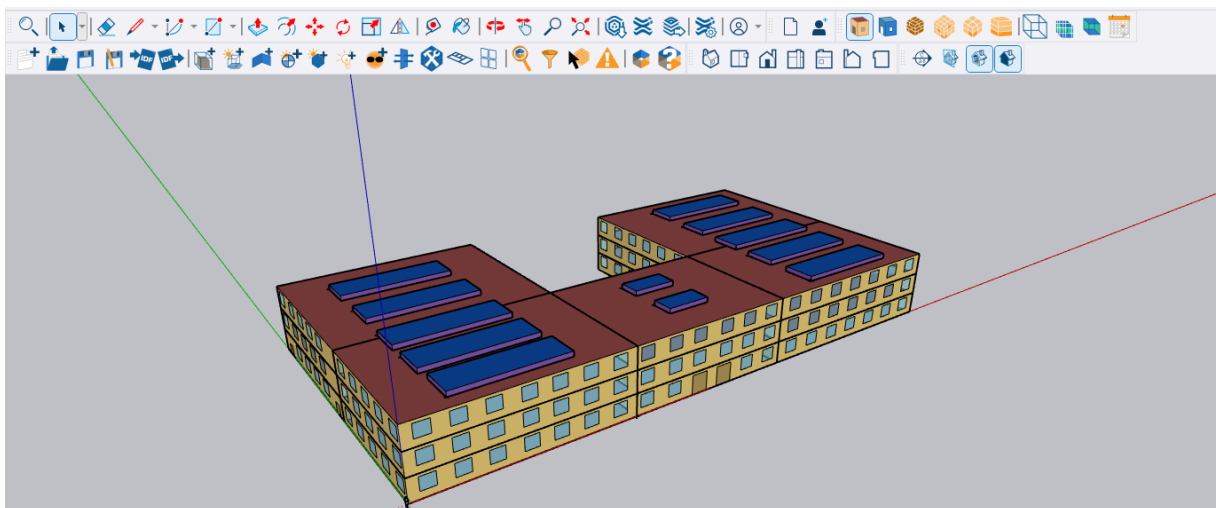


Figura 25: Colocación de paneles solares 3D en el programa Sketchup.

El sistema fotovoltaico propuesto para el Caso 2 cumple con la resolución Nro. ARCERNR-013-2021 que establece que un SGDA (Sistema de Generación Distribuida para Autoconsumo) debe tener una potencia nominal menor a 1 MW para conectarse en sincronía a las redes del sistema de distribución. En este contexto, la propuesta para el edificio universitario cumple con los lineamientos generales establecidos, asegurando una solución sostenible y adecuada a las necesidades del recinto.

Además de la eficiencia energética, la ubicación de los paneles solares ha sido estratégicamente planificada considerando tanto su rendimiento como la facilidad de mantenimiento. Se han

dispuesto en zonas accesibles que permitan a los técnicos realizar inspecciones y limpiezas sin dificultad, evitando posturas forzadas o movimientos incómodos. La altura y la inclinación de los paneles han sido ajustadas no solo para maximizar la captación solar, sino también para reducir la necesidad de escaleras o andamios innecesarios, mejorando la seguridad y eficiencia del mantenimiento.

El diseño también incorpora superficies de apoyo seguras, como pasillos y plataformas antideslizantes, junto con barandas y puntos de anclaje para el uso de equipos de seguridad en trabajos en altura. De esta manera, se minimizan los esfuerzos físicos al evitar ubicaciones que requieran movimientos repetitivos o carga excesiva de herramientas pesadas, reduciendo la fatiga del personal. Asimismo, se ha considerado la exposición del área de trabajo a factores climáticos como el sol, el viento o la lluvia, asegurando que las labores de mantenimiento puedan realizarse en condiciones seguras.

4. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

4.1 SIMULACIÓN DEL EDIFICIO CASO BASE: CLIMA FRIO

La Tabla 12 se muestra los datos estimados de consumo de energía eléctrica contra los datos de consumo de OpenStudio y valor a pagar de los consumos mensuales, diferenciadas por tipos de consumo que en este caso se especifica como iluminación y equipos instalados en cada espacio, ya que en el caso base se analiza las condiciones actuales en las que se encuentra la edificación.

Tabla 14. Consumo de energía eléctrica simulado en OpenStudio.

Comparación Estimado vs OpenStudio		
Mes	Estimado kWh	OpenStudio kWh
Enero	22294,8	21844,94
Febrero	20268	19797,36
Marzo	23318,2	22359,67
Abril	21281,4	20476,17
Mayo	22193,8	22359,67
Junio	22294,8	21505,53
Julio	21281,4	21330,25
Agosto	22396,8	22359,67
Septiembre	21263,2	20990,86
Octubre	22284,7	21844,94
Noviembre	21176,2	21505,53

Diciembre	21281,4	21330,25
	261334,7	257704,84

En la figura 22 se representa gráficamente el consumo de energía eléctrica que se da por el equipamiento y la iluminación interiores. Mientras que en la simulación de OpenStudio se observa que solo son dos tipos de equipamiento que producen el consumo en la edificación.

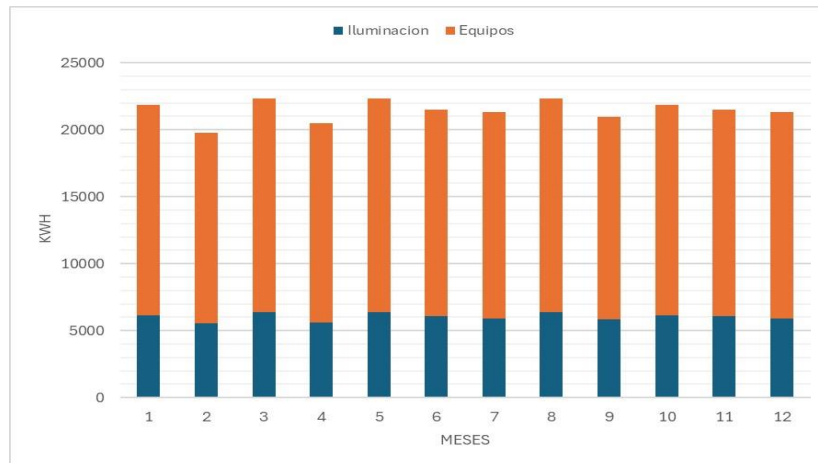


Figura 26: Consumo eléctrico de OpenStudio.

4.1.1 EFICIENCIA DEL EDIFICIO CASO BASE

El edificio tiene un área de 4853.63 m² por lo cual tiene tres niveles por lo que el total del área que es ocupado por el personal es de 14560.9 m² con esta información y por el consumo total de energía (kWh/año) que es de 257704,84, se procede con el cálculo para identificar la eficiencia energética.

$$ICE = \frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Superficie útil}} \quad (18)$$

$$ICE = \frac{257704,84 \text{ kWh}}{14560.9 \text{ m}^2} \quad (19)$$

$$ICE = 17.75 \text{ kWh/m}^2 \quad (20)$$

$$ICE = 5.60 \text{ kBtu/ft}^2 \quad (21)$$

Con un ICE de 5.60 kBtu/ft² año, el edificio es eficiente, ya que su consumo energético es bajo en comparación con los rangos establecidos según el rango en instituciones educativas es de

37. Esto indica que la edificación tiene un excelente desempeño en términos de eficiencia energética y cumple ampliamente con los requisitos de ASHRAE 90.1-2016, esta información se muestra en el Anexo 4.

4.2 VALIDACIÓN DE RESULTADOS CASO BASE

La figura 23 compara el consumo energético estimado con el calculado en OpenStudio, mostrando variaciones mensuales entre 300 y 1,000 kWh. En general, los valores simulados son menores, lo que indica la influencia de factores de eficiencia o condiciones operativas optimizadas. Los meses con mayor demanda, como marzo y agosto, mantienen una tendencia similar en ambos casos, evidenciando coherencia en los resultados. Estas discrepancias pueden deberse a supuestos en la modelación, hábitos de uso o rendimiento de los sistemas eléctricos y de climatización. El análisis permite validar la precisión del modelo y optimizar la gestión energética del campus.

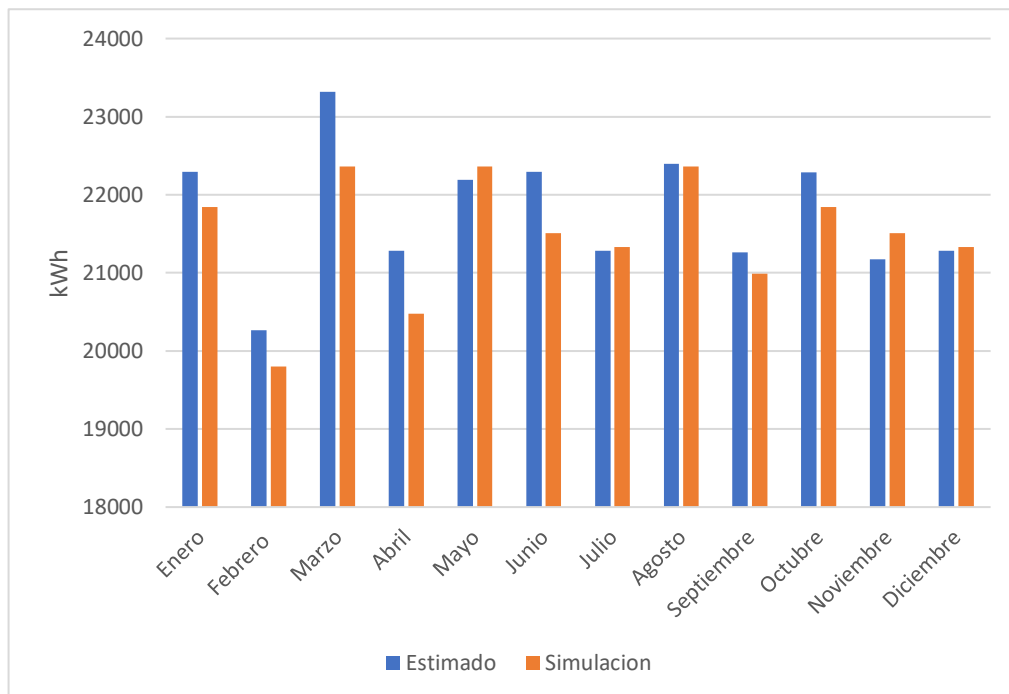


Figura 27: Estimado Vs. Simulación.

Para garantizar la precisión del modelo energético, es fundamental realizar un proceso de calibración que permita comparar los valores simulados con los datos medidos. Este procedimiento ayuda a identificar posibles discrepancias y ajustar los parámetros del modelo para reflejar con mayor fidelidad el comportamiento real del consumo energético del edificio.

En este contexto, la Tabla 13 presenta los datos clave utilizados en la calibración, incluyendo el promedio de consumo, los valores medidos y simulados, así como el número de parámetros ajustables considerados en el análisis.

Tabla 15. Datos para la calibración del modelo energético

Promedio (m)	21778
Valor medido (mi)	261335
Valor simulado (SI)	257705
Numero de parámetros ajustables (n)	12

Los indicadores estadísticos NMBE y CV(RMSE) permiten evaluar la precisión del modelo energético en comparación con los datos medidos, que se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} * \sqrt{\frac{(mi - si)^2}{12}} * 100\% \quad (22)$$

$$RMSE = \frac{1}{\bar{m}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (mi - si)^2}{n - p}} * 100\% \quad (23)$$

Tabla 16. Indicadores estadísticos NMBE y CV(RMSE)

NMBE	CV(RMSE)
-1.388	4,811

En este caso, el valor de NMBE es -1.388%, lo que indica que el sesgo del error está dentro del umbral aceptable del $\pm 5\%$, cumpliendo con los criterios de validación. Por otro lado, el coeficiente de variación del error cuadrático medio CV(RMSE) es de 4,811%, situándose por debajo del límite permitido del 15%. Estos resultados sugieren que el modelo tiene un buen nivel de ajuste y representa de manera adecuada el comportamiento energético del edificio.

4.3 SIMULACIÓN DEL EDIFICIO CASO 2: CLIMA TROPICAL CON HVAC SIN PANALES SOLARES

La Tabla 15 presenta los resultados de la simulación en OpenStudio sobre el consumo de energía eléctrica en una zona tropical seco. Los datos están diferenciados por tipo de consumo, incluyendo iluminación, aire acondicionado y equipos eléctricos, se considera la temperatura

establecida para el sistema de climatización, además se toman las condiciones de la edificación del caso 1.

Tabla 17. Consumo de energía eléctrica edificio zona tropical

Mes	Consumo de Energía (kWh)	USD
1	91813,69	\$10.201,89
2	78841,75	\$8.760,75
3	95512,58	\$10.612,82
4	98378,56	\$10.931,23
5	87547,31	\$9.727,91
6	69209,86	\$7.690,67
7	54921,17	\$6.103,24
8	54006,14	\$6.001,59
9	57145,14	\$6.350,32
10	55862,69	\$6.207,84
11	61805,97	\$6.868,12
12	80855,67	\$8.984,49
Total	885900,53	\$98.440,86

En la Figura 24 se representa gráficamente el consumo de energía eléctrica que se da por el equipamiento interior, la iluminación interior, zonas de enfriamiento, y ventiladores. También gracias a OpenStudio y su interfaz se facilitó el dimensionamiento de los HVAC para cada uno de los espacios del edificio en base a la normativa ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016

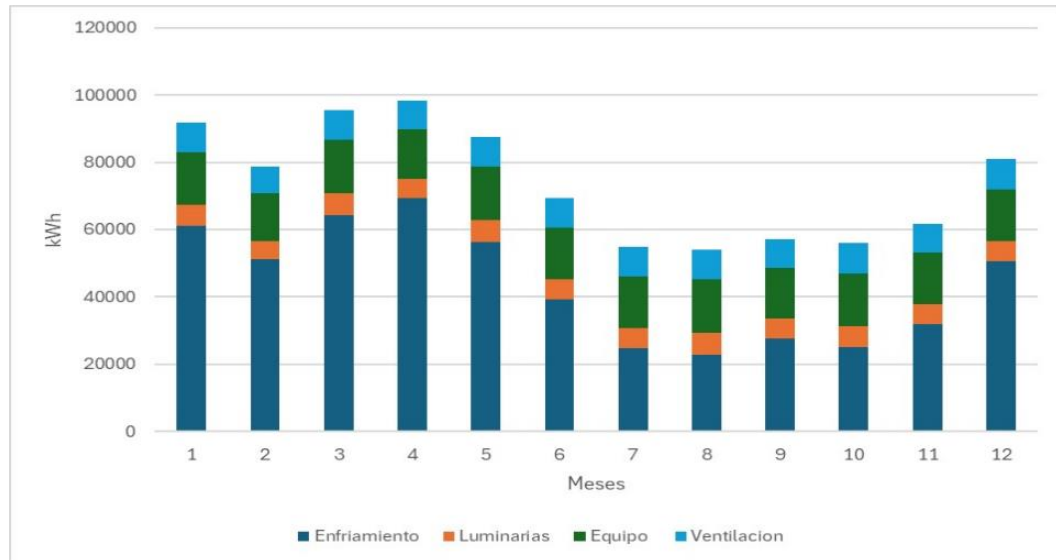


Figura 28: Consumo de energía eléctrica por cada equipamiento.

En relación con el costo de la energía consumida en el caso 1 y el caso 2, la Figura 24 muestra la evolución mensual de gastos. Se observa un aumento del 74.27 % en el costo estimado a pagar, reflejando el consumo asociado al sistema de ventilación y enfriamiento del aire acondicionado del edificio.

4.3.1 EFICIENCIA DEL EDIFICIO CASO 2

El edificio tiene un área de 14560.9 m² con esta información y por el consumo total de energía (kWh/año) que es de 885900,53, se procede con el cálculo para identificar la eficiencia energética.

$$ICE = \frac{\text{Consumo de energia}}{\text{Superficie util}} \quad (24)$$

$$ICE = \frac{885900,53 \text{ kWh}}{14560.9 \text{ m}^2} \quad (25)$$

$$ICE = 60.84 \text{ kWh/m}^2 \quad (26)$$

$$ICE = 19.13 \text{ kBtu/ft}^2 \quad (27)$$

Con un ICE de 19,13 kBtu/ft² año, el edificio es eficiente, ya que su consumo energético es muy bajo en comparación con los rangos establecidos. Esto indica que la edificación tiene un

excelente desempeño en términos de eficiencia energética y cumple ampliamente con los requisitos de ASHRAE 90.1-2016, esta información se muestra en el Anexo 5.

4.4 RESULTADOS DE ENERGÍA RENOVABLE CASO 1

La inclinación óptima de los paneles solares es un factor determinante en la eficiencia y producción de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. En este estudio, se ha evaluado la generación de energía con una inclinación de 4 grados. Desde una perspectiva de maximización del rendimiento energético, es recomendable instalar los captadores solares con la inclinación óptima para aprovechar al máximo la radiación solar disponible.

Tabla 18. Consumo de energía eléctrica edificio caso 1

Energía renovable	Capacidad Nominal (kW)	Energía Anual Generada (kWh)
Fotovoltaica	0.0	323211.11

En la tabla presentada, se muestra la producción anual de energía fotovoltaica estimada a partir de simulaciones realizadas en el software OpenStudio, para esta evaluación, se diseñó un sistema fotovoltaico capaz de suplir el consumo energético. La correcta implementación de estos sistemas no solo contribuye a la sostenibilidad energética, sino que también permite una reducción en la dependencia de fuentes convencionales de electricidad y una disminución en los costos operativos a largo plazo.

4.4.1 VALIDACION DE DATOS CASO 1

Para llevar a cabo la verificación de los datos obtenidos se compara la generación anual de energía producida durante un año, simulada en OpenStudio con la generada en el software PVsyst, el informe se muestra en el Anexo 11.

Tabla 19 Comparacion de generacion de energia caso 1

Energía renovable	Energía Anual Generada (kWh)
OpenStudio	323211.11
PVsyst	307103

La capacidad de generación se muestra en ambos simuladores, OpenStudio y PVsyst. Para verificar este caso, es necesario comparar la generación anual en ambos simuladores, por lo que se valida el caso, ya que la energía generada en los dos programas es prácticamente idéntica.

4.5 RESULTADOS DE ENERGÍA RENOVABLE CASO 2

La inclinación óptima de los paneles solares es un factor determinante en la eficiencia y producción de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. En este estudio, se ha evaluado la generación de energía con una inclinación de 4 grados. Desde una perspectiva de maximización del rendimiento energético, es recomendable instalar los captadores solares con la inclinación óptima para aprovechar al máximo la radiación solar disponible.

Tabla 20 Consumo de energía eléctrica edificio caso 2

Energía renovable	Capacidad Nominal (kW)	Energía Anual Generada (kWh)
Fotovoltaica	0.0	838,830

En la Tabla 18, se muestra la producción anual de energía fotovoltaica estimada a partir de simulaciones realizadas en el software OpenStudio. Para esta evaluación, se diseñó un sistema fotovoltaico capaz de suplir el consumo energético, especialmente en edificaciones donde la demanda de electricidad se incrementa con la incorporación de sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

4.5.1 VALIDACION DE DATOS CASO 1

Para llevar a cabo la verificación de los datos obtenidos se compara la generación anual de energía producida durante un año, simulada en OpenStudio con la generada en el software PVsyst, el informe se muestra en el Anexo 11.

Tabla 21 Comparación de generacion de energia caso 2

Energía renovable	Energía Anual Generada (kWh)
OpenStudio	856213.89
PVsyst	838,830

La capacidad de generación se muestra en OpenStudio y PVsyst. Para validar el caso, se compara la generación anual en ambos simuladores y se confirma que la energía producida es casi igual.

4.5.2 RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.5.2.1 CASO BASE: CLIMA FRIO

En la tabla, se presenta el presupuesto detallado para la implementación del sistema fotovoltaico en el edificio. Este desglose incluye los costos de adquisición de los paneles solares, inversores,

estructuras de montaje, cableado, equipos de protección eléctrica, así como los costos asociados a la mano de obra, ingeniería, transporte, permisos y un margen para imprevistos. La planificación financiera de este proyecto garantiza una inversión eficiente y bien estructurada, permitiendo la optimización del consumo energético y el cumplimiento de la normativa vigente.

Tabla 22 Costos de la instalación paneles solares caso base.

Ítem	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1. Paneles Solares	365	Unidades	150	54750
2. Inversores	3	Unidades	1100	3300
3. Estructuras de Montaje	365	Unidades	50	18250
4. Cableado y Conectores	1	Lote	5000	5000
5. Transformadores y Protección Eléctrica	2	Unidades	3000	6000
6. Mano de Obra	365	Paneles	25	9125
7. Ingeniería y Diseño	1	Proyecto	7000	7000
8. Transporte de Materiales	1	Lote	4500	4500
9. Permisos y Licencias	1	Trámite	3500	3500
10. Costos Indirectos (Imprevistos 10%)	1	Porcentaje	17630	17630

El análisis económico del sistema fotovoltaico indica que, con una inversión inicial de aproximadamente 129,055 USD, el proyecto. Con el fin de realizar el análisis de costo se va a analizar la rentabilidad del proyecto para 25 años. Para esto se necesita definir el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), esto con el objetivo de saber si es factible o no la implementación del sistema fotovoltaico.

Para este caso gracias al software OpenStudio, al conocer la energía producida por el sistema fotovoltaico, la energía consumida por el edificio, y el valor ahorrado por año se tiene:

Tabla 23 Energía generada durante 25 años

Caso 1 -QUITO					
Año	Energía producida por PF MWh	Consumo Usuarios MWh	Energía suministrada por la red MWh	Costo de energía (USD/kWh)	Valor Ahorrado por energía Producida (\$)
1	323.21	257.70484	-65.51	0.09	\$ 29,089.00
2	321.2718433	257.70484	-63.57	0.10	\$ 30,649.33
3	319.3442123	257.70484	-61.64	0.10	\$ 32,293.36
4	317.428147	257.70484	-59.72	0.11	\$ 34,025.58
5	315.5235781	257.70484	-57.82	0.11	\$ 35,850.71
6	313.6304367	257.70484	-55.93	0.12	\$ 37,773.74
7	311.748654	257.70484	-54.04	0.13	\$ 39,799.93
8	309.8781621	257.70484	-52.17	0.14	\$ 41,934.80
9	308.0188931	257.70484	-50.31	0.14	\$ 44,184.18
10	306.1707798	257.70484	-48.47	0.15	\$ 46,554.22
11	304.3337551	257.70484	-46.63	0.16	\$ 49,051.39
12	302.5077526	257.70484	-44.80	0.17	\$ 51,682.50
13	300.6927061	257.70484	-42.99	0.18	\$ 54,454.75
14	298.8885498	257.70484	-41.18	0.19	\$ 57,375.71
15	297.0952185	257.70484	-39.39	0.20	\$ 60,453.34
16	295.3126472	257.70484	-37.61	0.22	\$ 63,696.05
17	293.5407713	257.70484	-35.84	0.23	\$ 67,112.71
18	291.7795267	257.70484	-34.07	0.24	\$ 70,712.64
19	290.0288495	257.70484	-32.32	0.26	\$ 74,505.66
20	288.2886764	257.70484	-30.58	0.27	\$ 78,502.15
21	286.5589444	257.70484	-28.85	0.29	\$ 82,713.00
22	284.8395907	257.70484	-27.13	0.31	\$ 87,149.73
23	283.1305532	257.70484	-25.43	0.32	\$ 91,824.44
24	281.4317699	257.70484	-23.73	0.34	\$ 96,749.90
25	279.7431792	257.70484	-22.04	0.36	\$ 101,939.57

La Tabla 19 presenta los ingresos obtenidos por el sistema fotovoltaico, el costo inicial de inversión del sistema. Para calcular el costo de producción de la energía eléctrica, se considera un valor de 0,090 según el pliego tarifario, con una tasa de inflación anual del 6%. Los egresos

corresponden a los gastos de mantenimiento y limpieza preventiva del equipamiento del generador fotovoltaico. Asimismo, la tasa de interés aplicada es del 9,33%, de acuerdo con la normativa del Banco Central del Ecuador para inversiones públicas.

Tabla 24 Presupuesto anual para mantenimiento y seguro del sistema fotovoltaico

SISTEMA FOTOVOLTAICO QUITO					
Año	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Costo inversión inicial (\$)	Flujo efectivo (\$)	Tasa de retorno
1	29089.00	3236.37	-129055	25852.63	-103202.37
2	30649.33	3430.55		27218.78	-75983.59
3	32293.36	3636.39		28656.98	-47326.61
4	34025.58	3854.57		30171.01	-17155.60
5	35850.71	4085.84		31764.87	14609.27
6	37773.74	4330.99		33442.75	48052.02
7	39799.93	4590.85		35209.08	83261.10
8	41934.80	4866.30		37068.49	120329.59
9	44184.18	5158.28		39025.90	159355.49
10	46554.22	5467.78		41086.44	200441.93
11	49051.39	5795.85		43255.54	243697.47
12	51682.50	6143.60		45538.91	289236.37
13	54454.75	6512.21		47942.54	337178.91
14	57375.71	6902.95		50472.76	387651.67
15	60453.34	7317.12		53136.22	440787.89
16	63696.05	7756.15		55939.91	496727.80
17	67112.71	8221.52		58891.19	555618.99
18	70712.64	8714.81		61997.83	617616.82
19	74505.66	9237.70		65267.97	682884.78
20	78502.15	9791.96		68710.19	751594.97
21	82713.00	10379.48		72333.52	823928.50
22	87149.73	11002.25		76147.48	900075.98
23	91824.44	11662.38		80162.06	980238.04
24	96749.90	12362.12		84387.78	1064625.81
25	101939.57	13103.85		88835.72	1153461.53

La Tabla 21 presenta la rentabilidad de la implementación del sistema fotovoltaico en el edificio Matriz UTC durante un período de 20 años. El TIR obtuvo es de 25.04 %, mientras que la tasa establecida es de 9,33%. Cuando la tasa interna de retorno es superior a la tasa de referencia, el proyecto es rentable. Por lo tanto, resulta viable instalar este sistema en los edificios, ya que

generará beneficios económicos a largo plazo para el beneficiario. La inversión realizada en el proyecto se recuperará durante los primeros 5 años.

Tabla 25 Rentabilidad del proyecto

TIR	25.04%
VAN	260862.74
TASA	9,33

Al tener el VAN positivo y la tasa de retorno interna del proyecto mayor que la tasa que establece el banco central del Ecuador que es del 9.33 %, se concluye que el proyecto es posible en el caso 1.

4.5.2.2 CASO 2: CLIMA TROPICAL

En la Tabla 21, se presenta el presupuesto detallado para la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 26. Costos de la instalación paneles solares caso 2.

Ítem	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1. Paneles Solares	1,264	Unidades	\$150.00	\$206,400.00
2. Inversores	10	Unidades	\$1,200.00	\$12,000.00
3. Estructuras de Montaje	1,264	Unidades	\$50.00	\$68,800.00
4. Cableado y Conectores	1	Lote	\$5,000.00	\$5,000.00
5. Transformadores y Protección Eléctrica	2	Unidades	\$3,000.00	\$6,000.00
6. Mano de Obra	1,264	Paneles	\$27.25	\$34,444.00
7. Ingeniería y Diseño	1	Proyecto	\$8,000.00	\$8,000.00
8. Transporte de Materiales	1	Lote	\$4,500.00	\$4,500.00
9. Permisos y Licencias	1	Trámite	\$3,300.00	\$3,300.00

10. Costos Indirectos (Imprevistos 10%)	1	Porcentaje	\$24,616.00	\$24,616.00
--	---	------------	-------------	-------------

El análisis económico del sistema fotovoltaico indica que, con una inversión inicial de aproximadamente 373,060 USD.

Para el análisis de costo se proyecta un estudio de rentabilidad de 25 años para identificar el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para conocer si es factible la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 27 Energía generada durante 25 años caso 2

Caso 2 - Guayaquil					
Año	Energía producida por PF MWh	Consumo Usuarios MWh	energía suministrada por la red MWh	Costo de energía (USD/kWh)	Valor Ahorrado por energía Producida (\$)
1	856,21	864,40	8,18	0,09	\$ 77.059,25
2	804,84	864,40	59,55	0,10	\$ 76.781,84
3	756,55	864,40	107,85	0,10	\$ 76.505,42
4	752,01	864,40	112,38	0,11	\$ 80.609,17
5	747,50	864,40	116,90	0,11	\$ 84.933,05
6	743,01	864,40	121,38	0,12	\$ 89.488,86
7	738,56	864,40	125,84	0,13	\$ 94.289,04
8	734,12	864,40	130,27	0,14	\$ 99.346,70
9	729,72	864,40	134,68	0,14	\$ 104.675,66
10	725,34	864,40	139,05	0,15	\$ 110.290,46
11	720,99	864,40	143,41	0,16	\$ 116.206,44
12	716,66	864,40	147,73	0,17	\$ 122.439,76
13	712,36	864,40	152,03	0,18	\$ 129.007,43
14	708,09	864,40	156,31	0,19	\$ 135.927,39
15	703,84	864,40	160,55	0,20	\$ 143.218,53
16	699,62	864,40	164,78	0,22	\$ 150.900,77
17	695,42	864,40	168,98	0,23	\$ 158.995,09

18	691,25	864,40	173,15	0,24	\$ 167.523,59
19	687,10	864,40	177,30	0,26	\$ 176.509,55
20	682,98	864,40	181,42	0,27	\$ 185.977,52
21	678,88	864,40	185,52	0,29	\$ 195.953,36
22	674,81	864,40	189,59	0,31	\$ 206.464,30
23	670,76	864,40	193,64	0,32	\$ 217.539,04
24	666,73	864,40	197,66	0,34	\$ 229.207,83
25	662,73	864,40	201,66	0,36	\$ 241.502,54

En la Tabla 22 se presentan los ingresos generados por el sistema fotovoltaico, el costo de inversión inicial del sistema fotovoltaico. Para calcular el costo de producción de energía eléctrica se utiliza el valor de 0,09 del cuadro tarifario, con una tasa de inflación anual del 6%.

Tabla 28 Costos anuales y seguro del sistema fotovoltaico caso 2

SISTEMA FOTOVOLTAICO GUAYAQUIL					
Año	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Costo inversión inicial (\$)	Flujo efectivo (\$)	Tasa de retorno
1	77059,25	9326,50	-373060	67732,75	-305327,25
2	76781,84	9886,09		66895,75	-238431,50
3	76505,42	10479,26		66026,17	-172405,34
4	80609,17	11108,01		69501,16	-102904,17
5	84933,05	11774,49		73158,56	-29745,62
6	89488,86	12480,96		77007,90	47262,28
7	94289,04	13229,82		81059,22	128321,50
8	99346,70	14023,61		85323,10	213644,60
9	104675,66	14865,02		89810,64	303455,24
10	110290,46	15756,93		94533,54	397988,77
11	116206,44	16702,34		99504,10	497492,88
12	122439,76	17704,48		104735,28	602228,15
13	129007,43	18766,75		110240,68	712468,83
14	135927,39	19892,76		116034,63	828503,46
15	143218,53	21086,32		122132,21	950635,67
16	150900,77	22351,50		128549,27	1079184,94
17	158995,09	23692,59		135302,50	1214487,44
18	167523,59	25114,15		142409,44	1356896,88
19	176509,55	26620,99		149888,56	1506785,44
20	185977,52	28218,25		157759,27	1664544,71

21	195953,36	29911,35		166042,01	1830586,72
22	206464,30	31706,03		174758,27	2005344,98
23	217539,04	33608,39		183930,65	2189275,63
24	229207,83	35624,90		193582,94	2382858,57
25	241502,54	37762,39		203740,15	2586598,73

El proyecto presenta un atractivo retorno. La instalación de 1,264 paneles permite generar una cantidad significativa de energía, lo que se traduce en considerables ahorros anuales en el consumo eléctrico. Con un periodo de recuperación de la inversión cercano a tres años y una vida útil de alrededor de 25 años, se prevé que el sistema ofrezca beneficios económicos sustanciales a largo plazo, evidenciando una alta rentabilidad y contribuyendo a la sostenibilidad del edificio universitario.

En la Tabla 24 se muestra un análisis de la rentabilidad de la instalación del sistema fotovoltaico en un periodo de 25 años. La Tasa Interna de Retorno (TIR) se establece en 21,17%, mientras que la tasa de referencia es de 9,33%. Como la TIR es superior a la tasa de referencia, el coste de instalación del sistema fotovoltaico presenta un atractivo retorno.

Tabla 29 Rentabilidad del proyecto

TIR	21,17%
VAN	907851,23
TASA	9,33

La instalación de 1,264 paneles permite generar una cantidad significativa de energía, lo que se traduce en considerables ahorros anuales en el consumo eléctrico. Con un periodo de recuperación de la inversión cercano a tres años y una vida útil de alrededor de 25 años, se prevé que el sistema ofrezca beneficios económicos sustanciales a largo plazo, evidenciando una alta rentabilidad y contribuyendo a la sostenibilidad del edificio universitario.

4.6 ANÁLISIS DE GANANCIAS DE CALOR

4.6.1 CASO BASE: CLIMA FRIO

Para el análisis de las ganancias de calor del edificio se toman en cuenta el edificio con la implementación de paneles solares y sin estos en la zona climática 5C (Quito).

■ Sin Paneles Fotovoltaicos ■ Con Paneles Fotovoltaicos

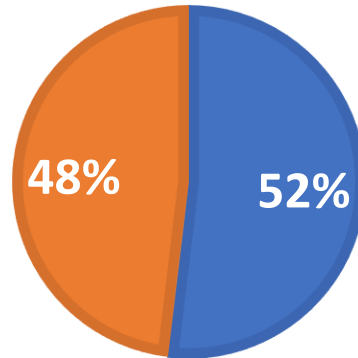


Figura 29: Ganancia de calor caso 1.

La figura 25 presentan los resultados de ganancia de calor, contrastando dos escenarios, sin instalación de paneles fotovoltaicos y con su implementación. No se observan diferencias significativas en la ganancia, ya que el sombreado que los paneles fotovoltaicos generan sobre la cubierta del edificio no es amplio y cabe recalcar que en la zona climática fría 5C no es necesario reducir temperaturas ya que tiene temperaturas bajas durante gran parte del año. En este tipo de clima frío, la ganancia de calor solar puede ser beneficiosa.

Tabla 30 Ganancia de calor sin y con PF

Concepto	kBtu	kW
Ganancia de calor sin PF	734,090.20	203.59
Ganancia de calor con PF	680,532.20	199,44

4.6.2 CASO 2: CLIMA TROPICAL

En este análisis de las ganancias de calor del edificio se toman en cuenta el edificio con la implementación de paneles solares y sin estos en la zona climática 1A (Guayaquil).

En la siguiente figura 22 se muestra un menor porcentaje de ganancia de calor en la cubierta del edificio, debido a que los paneles solares captan la mayor parte de radiación solar siendo. Esta reducción en la ganancia de calor disminuye una parte de la necesidad de sistemas ventilación y refrigeración, lo que resulta en un menor consumo de energía para el acondicionamiento térmico en el edificio.

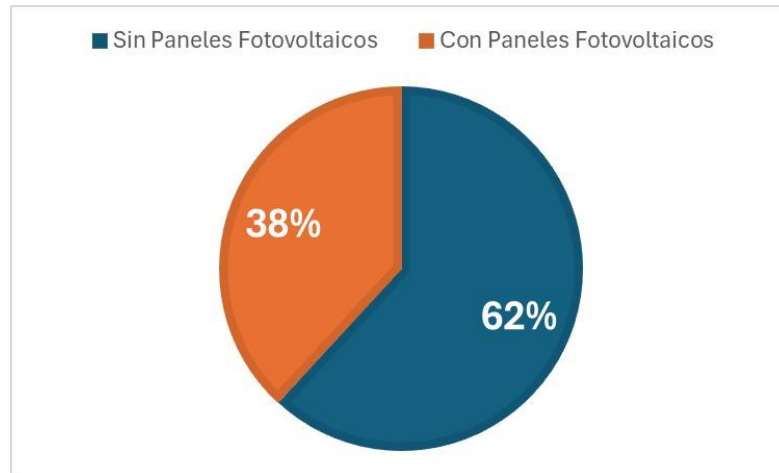


Figura 30: Ganancia de calor caso 2.

La reducción en la ganancia de calor disminuye una parte de la necesidad de sistemas ventilación y refrigeración, lo que resulta en un menor consumo de energía para el acondicionamiento térmico en el edificio.

Tabla 31 Resultados las ganancias de calor con y sin PF

Concepto	kBtu	kW
Ganancia de calor sin PF	587,861.8	172.35
Ganancias de calor con PF	452,630.30	132,65

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El estudio comparativo del edificio público en dos zonas climáticas de Ecuador reveló patrones de consumo energético variables. En la zona climática 5C, debido a su clima frío, el consumo energético es moderado y principalmente relacionado con iluminación y equipos de oficina. En relación con la zona climática 1A presenta un consumo energético considerablemente mayor, impulsado principalmente por la necesidad de sistemas HVAC de climatización.

Mediante la implementación del sistema fotovoltaico en la superficie exterior de la cubierta del edificio de la zona climática 1A, la cual ocupa el 62.63% del techo se redujo en un 38% el calor absorbido por el techo, a causa de la cobertura que genero la sombra de los paneles fotovoltaicos.

Comparando los dos casos en el clima frio no se reflejaron cambios significativos en la ganancia calor de la superficie habiendo una diferencia del 2%, donde a diferencia del clima tropical seco es necesario por las altas temperaturas que generan en este tipo de climas, siendo una solución

de eficiencia para el edificio como para los equipos de refrigeración por la disminución de esfuerzo para llegar a la temperatura de confort deseada.

Al momento de validar el sistema es necesario determinar de forma adecuada la carga del edificio, para estimar costos de manera correcta según el pliego tarifario y regirse a los valores establecidos por el mismo y tener con mayor precisión el valor de la planilla de electricidad.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico demostró ser mejor en relación costo-beneficio en la zona climática 1A, donde la alta demanda energética por climatización justifica la inversión en energía renovable, además de proporcionar beneficios térmicos adicionales, ocasionando que el costo de la planilla de electricidad se reduzca en un 2.43% anualmente.

Comparando las dos zonas climáticas al hablar de beneficios económicos, según el VAN de cada uno de los casos se tiene que la zona climática 1A resultó tener un mejor beneficio en relación con la zona climática 5C debido a que se tuvo una diferencia del 28,73% esto dando a entender que se tiene una mejor rentabilidad para este caso.

La tasa de retorno interna de inversión del proyecto fotovoltaico en la zona climática 5C, resultó tener un retorno de inversión del 25.04% a los 5 años, a comparación de la zona climática 1A que obtuvo un retorno de la inversión del proyecto de un 21.17% a los 6 años, existiendo una diferencia entre ambos de 3.87%, esto quiere decir que el TIR se recupera en menor tiempo en la zona climática 5C.

5.2 RECOMENDACIONES

Antes de desarrollar un estudio energético es recomendable recolectar más información relacionada con el consumo de los vectores energéticos como electricidad-calor.

Además, para un mejor modelado del sistema es recomendable realizar un estudio de consumo de agua a detalle que permita tener un análisis a mayor escala y de mejor perfil.

Se recomienda realizar un análisis a profundidad de uso y horario de equipos tanto lumínicos como eléctricos según el tipo de uso que se tenga tanto para edificios públicos como privados y así establecer un análisis con mayor precisión.

También es recomendable usar programas de código abierto de acceso mundial y reconocido para tener un buen análisis en edificios y así aportar a la eficiencia de los mismos.

Es recomendable, desarrollar guías de diseño específicas para cada zona climática que integren sistemas fotovoltaicos con estrategias de eficiencia energética.

Implementar sistemas de monitoreo para validar el desempeño real de las instalaciones fotovoltaicas y su impacto en la eficiencia energética del edificio.

Realizar análisis de costo-beneficio detallados que incluyen tanto los aspectos energéticos como térmicos antes de implementar sistemas fotovoltaicos en edificios públicos.

Estudiar a mayor detalle la viabilidad de los proyectos energéticos mediante simulaciones que determinen su factibilidad en casos de la vida real.

7. REFERENCIAS

- [1] A. Potschka, M. Oliviera, and A. Mazzoletti, “Procedimiento Metodológico para Auditoria Energética en Instalaciones de Educación Tecnológica con Propuestas de Mejoras en Ahorro Energético,” *JiDetev*, vol. 23, no. 2, pp. 1–10, 2019.
- [2] H. Li, Z. Wang, and T. Hong, “A synthetic building operation dataset,” *Scientific Data 2021 8:1*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, Aug. 2021, doi: 10.1038/s41597-021-00989-6.
- [3] J. Priesmann, L. Nolting, C. Kockel, and A. Praktijnjo, “Time series of useful energy consumption patterns for energy system modeling,” *Scientific Data 2021 8:1*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, May 2021, doi: 10.1038/s41597-021-00907-w.

- [4] T. Frank, “Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland,” *Energy Build*, vol. 37, no. 11, pp. 1175–1185, Nov. 2005, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2005.06.019.
- [5] X. Wang, D. Chen, and Z. Ren, “Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia,” *Build Environ*, vol. 45, no. 7, pp. 1663–1682, Jul. 2010, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2010.01.022.
- [6] T. N. T. Lam, K. K. W. Wan, S. L. Wong, and J. C. Lam, “Impact of climate change on commercial sector air conditioning energy consumption in subtropical Hong Kong,” *Appl Energy*, vol. 87, no. 7, pp. 2321–2327, Jul. 2010, doi: 10.1016/J.APENERGY.2009.11.003.
- [7] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, Jan. 2008, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007.
- [8] “Sistemas HVAC | VALIDACIONES E INGENIERIA S.A.S.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://validacioneseingenieria.co/analisis-avanzados/>
- [9] G. F. Hundy, A. R. Trott, and T. C. Welch, “Refrigeration and Air-Conditioning,” *Refrigeration and Air-Conditioning*, pp. 1–381, Jan. 2008, doi: 10.1016/B978-0-7506-8519-1.X0001-1.
- [10] R. Mejías-Murillo, “Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y extracción mecánica para la sucursal del Instituto Nacional de Seguros de Jacó, Puntarenas,” 2019, Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10920>
- [11] F. C. McQuiston, J. D. Parker, and J. D. . Spitler, *Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design*, Sixth. 2004.
- [12] “Sistemas de ventilación: tipos y principales características | S&P.” Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-ventilacion/>

- [13] D. Üрге-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, and K. Petrichenko, “Heating and cooling energy trends and drivers in buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 85–98, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.08.039.
- [14] A. B. Jaffe and R. N. Stavins, “The energy-efficiency gap What does it mean?,” *Energy Policy*, vol. 22, no. 10, pp. 804–810, Oct. 1994, doi: 10.1016/0301-4215(94)90138-4.
- [15] “EFICIENCIA ENERGÉTICA: RECURSO NO APROVECHADO ,” *Mentor Poveda*, 2017, Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0054.pdf>
- [16] Yadira Torres, “La eficiencia energética y el ahorro energético residencial,” *South Sustainability*, 2020, doi: 10.21142/SS.
- [17] J. Autonell, “Eficiencia en el uso de la energía eléctrica,” 2011, Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Eficiencia_en_el_uso_de_la_Energ%C3%A9rica.html?hl=es&id=fmCa9L6nTDoC
- [18] IRENA, “Renewable Energy Statistics 2022 Statistiques D’Energie Renouvelable 2022 Estadísticas De Energia Renovablle 2022,” p. 31, 2022, Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>
- [19] “El Acuerdo de París | CMNUCC.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- [20] “Renewables 2023 – Analysis - IEA.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- [21] “ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Corporación para la Investigación Energética.”

- [22] “Repositorio Digital :: Acceso.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/login>
- [23] Agencia Internacional de Energía, “Renewable capacity statistics 2020 International Renewable Energy Agency,” *Irena*, p. 66, 2020, Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://tinyurl.com/2p8ws7dm>
- [24] J. Peña, J. Vega, and J. Valbuena, “Evaluación de la transformación sostenible de una estación de gasolina en la ciudad de Cúcuta,” México, 2023.
- [25] S. Maldonado, W. Galván, and G. Suarez, “Estudio comparativo entre energía eléctrica y energía solar en viviendas unifamiliares,” *FormaciónEstratégica*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [26] I. Preciado, “Evaluación de las instalaciones electricas de AEXAV con criterios de sostenibilidad y eficiencia energética,” 2022.
- [27] G. Norberto, “Dispositivo generador de energía eléctrica eficiente mediante paneles solares y luz artificial,” 2022.
- [28] K. Aguirre, Y. Vargas, and W. Castiblanco, “Caracterización y alternativas para el uso eficiente de la energía eléctrica en el Hospital Regional de Monquirá, Boyacá,” 2022.
- [29] A. Campos, “Normas IEEE y IEC sobre regulaciones en THD para si Normas IEEE y IEC sobre regulaciones en THD para sistemas de baja y media stemas de baja y media tensión.”
- [30] H. Rios, “Análisis de factibilidad técnico – económica para la implementación de sistemas fotovoltaicos domiciliarios conectados a la red de distribución de energía eléctrica, basados en la demanda del porcentaje mayor de usuarios de la categoría domiciliaria de la distribuidora de electricidad cuya área de concesión es el Departamento de La Paz – Bolivia,” 2022.
- [31] A. Gordillo, M. Montoya, and P. Salinas, “Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú,” *Industrial*, vol. 43, no. 1, 2022.

- [32] V. Solis and D. Grueso, “La Inteligencia Artificial (IA) al servicio de la eficiencia energética en el Ecuador,” *Dialnet*, vol. 8, no. 2, pp. 621–633, 2022.
- [33] ISO 50001, “Gestión de la energía.”
- [34] UNE-IEC 60364-7-713, “Instalaciones eléctricas de baja tensión,” 2015.
- [35] V. Ortega and J. Yarce, “Sistema de monitoreo inteligente para el ahorro de energía usando electrónica embebida de bajo costo,” PascualBravo, Colombia, 2022.
- [36] S. Carrizo, G. Jacinto, and G. Lorenzo, *Sostenibilidad y eficiencia en el suministro de servicios energéticos a poblaciones dispersas y de bajos recursos*. Fondo para el Desarrollo de la Construcción, 2019.
- [37] J. Chicaiza and B. Vilcasana, “Análisis energético de una edificación mediante la herramienta de código abierto Openstudio,” UTC, 2022.
- [38] J. L. Reyna and M. V. Chester, “Energy efficiency to reduce residential electricity and natural gas use under climate change,” *Nature Communications 2017 8:1*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, May 2017, doi: 10.1038/ncomms14916.
- [39] B. D. Arballo, E. Kuchen, D. Chuk, B. D. Arballo, E. Kuchen, and D. Chuk, “OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EL CONFORT TÉRMICO EN EDIFICIOS DE OFICINA PÚBLICOS. PERIODO CRÍTICO DE VERANO EN LA CIUDAD DE SAN JUAN, ARGENTINA,” *Revista hábitat sustentable*, vol. 12, no. 1, pp. 102–113, Jun. 2022, doi: 10.22320/07190700.2022.12.01.07.

ANEXOS

Anexo 1: Zonas climáticas

PARÁMETROS		
Zona tropical	Temperatura	23 °C - 28 °C
	Humedad relativa	70% - 90%.
Clima templado seco	Temperatura	14 °C - 20 °C.
	Humedad relativa	50% - 70%.

Anexo 2: Informe generado por Dialux Evo.

Auditorio

P_{total} 1224.0 W	A_{Local} 203.40 m ²	Potencia específica de conexión 6.02 W/m ² = 1.19 W/m ² /100 lx (Área) 7.04 W/m ² = 1.39 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular (Plano útil)} 506 lx		
Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ_{Luminaria}
36	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Auditorio

P_{total} 1224.0 W	A_{Local} 195.75 m ²	Potencia específica de conexión 6.25 W/m ² = 1.18 W/m ² /100 lx (Área) 7.02 W/m ² = 1.32 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular (Plano útil)} 530 lx		
Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ_{Luminaria}
36	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Auditorio

P_{total} 1224.0 W	A_{Local} 201.56 m ²	Potencia específica de conexión 6.07 W/m ² = 1.19 W/m ² /100 lx (Área) 7.13 W/m ² = 1.39 W/m ² /100 lx (Plano útil)	E_{perpendicular (Plano útil)} 511 lx		
Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	Φ_{Luminaria}
36	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Auditorio

P_{total} 544.0 W	A_{local} 74.89 m ²	Potencia específica de conexión 7.26 W/m ² = 1.28 W/m ² /100 lx (Área) 9.84 W/m ² = 1.73 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 567 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
16	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Oficinas

P_{total} 544.0 W	A_{local} 77.26 m ²	Potencia específica de conexión 7.04 W/m ² = 1.27 W/m ² /100 lx (Área) 9.45 W/m ² = 1.71 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 553 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
16	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Sala de profesores

P_{total} 306.0 W	A_{local} 46.20 m ²	Potencia específica de conexión 6.62 W/m ² = 1.31 W/m ² /100 lx (Área) 9.34 W/m ² = 1.85 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 504 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
9	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Aula

P_{total} 306.0 W	A_{Local} 52.25 m ²	Potencia específica de conexión 5.86 W/m ² = 1.29 W/m ² /100 lx (Área) 8.03 W/m ² = 1.76 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 455 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
9	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Aula

P_{total} 306.0 W	A_{Local} 51.44 m ²	Potencia específica de conexión 5.95 W/m ² = 1.29 W/m ² /100 lx (Área) 8.22 W/m ² = 1.78 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 462 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
9	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Aula

P_{total} 306.0 W	A_{Local} 49.73 m ²	Potencia específica de conexión 6.15 W/m ² = 1.30 W/m ² /100 lx (Área) 8.54 W/m ² = 1.80 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 475 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
9	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Aula

P_{total} 306.0 W	A_{Local} 52.26 m ²	Potencia específica de conexión 5.86 W/m ² = 1.29 W/m ² /100 lx (Área) 8.03 W/m ² = 1.77 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 453 lx
------------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
9	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Baños

P_{total} 68.0 W	A_{Local} 25.85 m ²	Potencia específica de conexión 2.63 W/m ² = 1.21 W/m ² /100 lx (Área) 4.08 W/m ² = 1.88 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 218 lx
-----------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
2	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Baños

P_{total} 68.0 W	A_{Local} 21.19 m ²	Potencia específica de conexión 3.21 W/m ² = 1.16 W/m ² /100 lx (Área) 5.28 W/m ² = 1.91 W/m ² /100 lx (Plano útil)	$\dot{E}_{perpendicular}$ (Plano útil) 276 lx
-----------------------	-------------------------------------	--	--

Uni.	Fabricante	N° de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$
2	Disano Illuminazione S.p.A	133032-0041	6603 Techno System - elíptica 30°x80° - CRI 90 4000K CRI 90 34W CLD- D-D Blanco	34.0 W	3513 lm

Anexo 4. Intensidad Estimada de Uso de Energía por Tipo de Edificio – Norma 90.1-2016.

Table ES-1. Estimated Energy Use Intensity by Building Type – Standard 90.1-2016

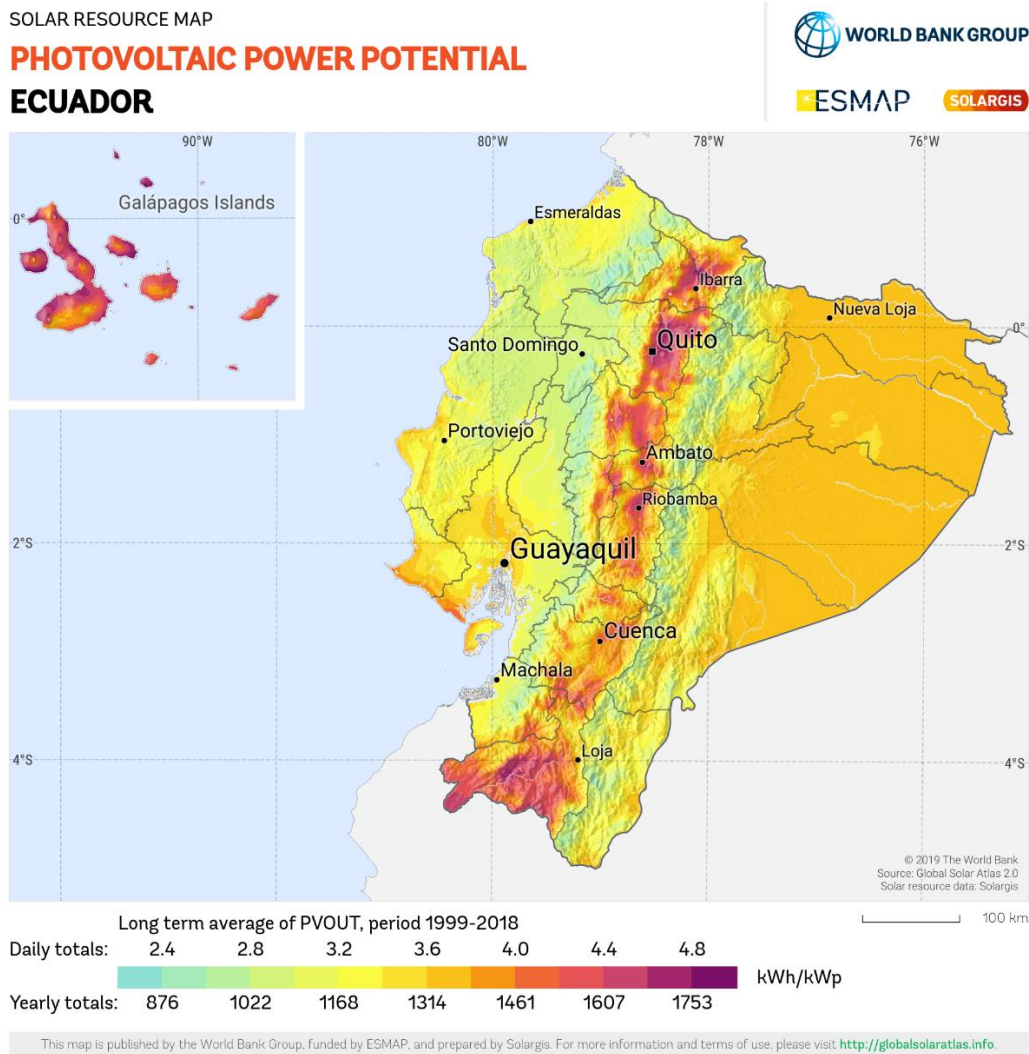
Building Type	Prototype Building	Floor Area Weight (%)	Whole Building Energy Metrics			
			Site EUI (kBtu/ft ² -yr)	Source EUI (kBtu/ft ² -yr)	ECI (\$/ft ² -yr)	Carbon Emission (tons/kft ² -yr)
Office	Small Office	3.8%	27.1	77.6	\$0.82	5.5
	Medium Office	5.0%	30.8	84.2	\$0.88	5.9
	Large Office	3.9%	55.4	156.9	\$1.65	11.1
Retail	Stand-Alone Retail	10.9%	48.4	114.4	\$1.15	7.8
	Strip Mall	3.7%	52.8	133.8	\$1.37	9.2
Education	Primary School	4.8%	43.4	107.4	\$1.09	7.4
	Secondary School	10.9%	37.2	94.0	\$0.96	6.5
Healthcare	Outpatient Health Care	3.4%	107.6	276.3	\$2.84	19.1
	Hospital	4.5%	120.0	276.8	\$2.77	18.7
Lodging	Small Hotel	1.6%	54.8	118.0	\$1.16	7.8
	Large Hotel	4.2%	83.1	177.1	\$1.73	11.7
Warehouse	Non-Refrigerated Warehouse	18.6%	15.7	33.2	\$0.32	2.2
Food Service	Quick Service Restaurant	0.3%	493.4	863.7	\$7.87	53.7
	Full Service Restaurant	1.0%	336.5	649.8	\$6.14	41.7
Apartment	Mid-Rise Apartment	13.7%	37.8	104.4	\$1.09	7.3
	High-Rise Apartment	9.6%	41.3	92.0	\$0.91	6.2
National		100%	48.6	116.0	\$1.17	7.9

Anexo 5. Plantas del Edificio

Espacio	Tipo de carga	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total
Planta baja				
Oficina1	Luminarias	56	80	4480
	Computador de mesa	5	400	2000
	Impresoras	2	250	500
Biblioteca	Luminarias	56	90	5040
	Computador de mesa	10	400	4000
	Computador portátil	20	350	7000
Lobby	Escáner	1	250	250
	Luminarias	37	80	2960
	Computador de mesa	2	400	800
Auditorio1	Luminarias	46	80	3638
	Proyector	1	70	70
	Computadora de mesa	2	400	800
Taller mecánico y eléctrico	Luminarias	37	90	3330
	Herramientas eléctricas	12	500	6000
Primer piso				
Aula de clases1	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	350
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Aula de clases2	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	350
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Aula de clases3	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	250
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Aula de clases4	Luminarias	56	80	4480

	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	350
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Aula de clase5	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	350
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Segundo piso				
Aula de clases6	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	250
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Aula de clases7	Luminarias	56	80	4480
	Proyector de pantalla	1	70	70
	Computador portátil	1	350	350
	Pizarrón	2	200	400
	Parlantes	2	250	500
Oficina2	Luminarias	56	80	4480
	Computador de mesa	2	300	600
	Impresoras	1	250	250
Auditorio2	Luminarias	46	80	3638
	Proyector	1	70	70
Cafetería	Luminarias	46	80	3638
	Electrodomésticos	15	350	5250
Total				81132

Anexo 6: Potencial de energía fotovoltaica



Anexo 7: Características técnicas eléctricas del sistema fotovoltaico Caso 1.

Características técnicas del módulo solar	
Fabricante	AE solar
Modelo	AE 550MD 144BS
Tecnología de la célula	Monocristalino Half Cell
Potencia Máxima	600 Wp
Corriente de Corto circuito	13.67 A
Punto de potencia maxima	12.92
Circuito abierto Voc	51.44
Dimensiones	2278x1133x35mm
Peso	27 kg

Anexo 8: Características técnicas eléctricas del inversor Caso 1.

Características técnicas del inversor Forinius	
Modelo	PVI 100 kW
Potencia CA máxima	100 kW
Corriente CA nomina	278 A

Anexo 9: Características técnicas eléctricas del sistema fotovoltaico Caso 2.

Características técnicas del módulo solar	
Fabricante	Trina Solar
Modelo	Trina_TSM_500
Tecnología de la célula	Monocrystalino Half Cell
Potencia Máxima	550 Wp
Corriente de Corto circuito	12.98 A
Punto de potencia máxima	11.52 W
Circuito abierto Voc	51.50 V
Dimensiones	2187x1102x35mm
Peso	30.10 kg

Anexo 10: Características técnicas eléctricas del inversor Caso 2.

Características técnicas del inversor Forinius	
Modelo	Powergate Plus 100
Potencia CA máxima	100 kW
Corriente CA nomina	120 A

Anexo 11: Reporte Pvsyst Caso 1



Project: CASO 1 QUITO

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
21/02/25 13:34
with V7.4.7

Project summary

Geographical Site Quito Ecuador	Situation Latitude -0.23 °S Longitude -78.52 °W Altitude 2840 m Time zone UTC-5	Project settings Albedo 0.20
Weather data Quito Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 4 / 180 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Monthly values
System information PV Array Nb. of modules 333 units Pnom total 183 kWp	Inverters Nb. of units 2 units Pnom total 200 kWac Pnom ratio 0.916	

Results summary

Produced Energy	307103 kWh/year	Specific production	1677 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	84.54 %
Used Energy	257505 kWh/year			Solar Fraction SF	41.37 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7



Project: CASO 1 QUITO
Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
21/02/25 13:34
with V7.4.7

General parameters

Grid-Connected System

No 3D scene defined, no shadings

PV Field Orientation

Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 4 / 180 °

Sheds configuration

Models used

Transposition Perez
Diffuse Perez, Meteorom
Circumsolar separate

Horizon

Free Horizon

Near Shadings

No Shadings

User's needs

Monthly values

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
21.8	19.6	22.4	20.5	22.4	21.5	21.3	22.4	21.0	21.8	21.5	21.3	258	MWh/mth

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer Generic
Model AE 550MD-144BS
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 550 Wp
Number of PV modules 333 units
Nominal (STC) 183 kWp
Modules 37 string x 9 In series

Inverter

Manufacturer Generic
Model PVI 100KW 208V
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 100 kWac
Number of inverters 2 units
Total power 200 kWac
Operating voltage 300-500 V
Pnom ratio (DC:AC) 0.92

At operating cond. (50°C)

Pmpp 167 kWp
U mpp 348 V
I mpp 480 A

Total inverter power

Total power 200 kWac
Number of inverters 2 units
Pnom ratio 0.92

Total PV power

Nominal (STC) 183 kWp
Total 333 modules
Module area 859 m²
Cell area 794 m²

Array losses

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res. 12 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction 2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.2 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: CASO 1 QUITO

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
21/02/25 13:34
with V7.4.7

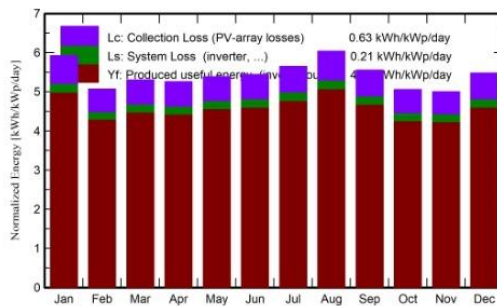
Main results

System Production

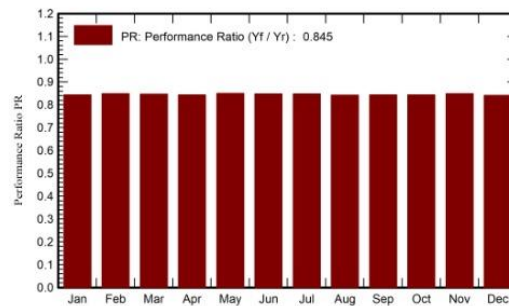
Produced Energy 307103 kWh/year
Used Energy 257505 kWh/year

Specific production 1677 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 84.54 %
Solar Fraction SF 41.37 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
January	178.9	70.51	14.22	183.6	179.0	29634	21845	9319	19046	12526
February	140.3	71.94	14.13	142.0	138.3	23079	19597	8055	14013	11542
March	164.3	77.97	14.10	164.4	160.2	26665	22360	9288	16204	13072
April	159.7	67.50	13.83	157.7	153.7	25517	20476	8346	16033	12131
May	171.0	73.91	14.17	166.8	162.1	27165	22360	9276	16707	13083
June	168.7	62.17	13.93	163.3	158.6	26507	21506	8803	16547	12703
July	180.4	62.79	13.97	175.0	169.9	28382	21330	9221	17939	12109
August	190.7	66.59	14.52	187.1	182.4	30144	22360	9517	19338	12843
September	167.3	69.27	14.29	166.7	162.3	26917	20991	8751	16991	12240
October	155.3	75.20	14.25	156.8	152.8	25369	21845	8616	15609	13229
November	146.9	72.26	13.83	150.0	146.0	24409	21506	8725	14588	12780
December	165.1	68.76	14.01	169.9	165.7	27385	21330	8617	17553	12713
Year	1988.8	838.89	14.11	1983.5	1931.0	321174	257505	106534	200569	150971

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

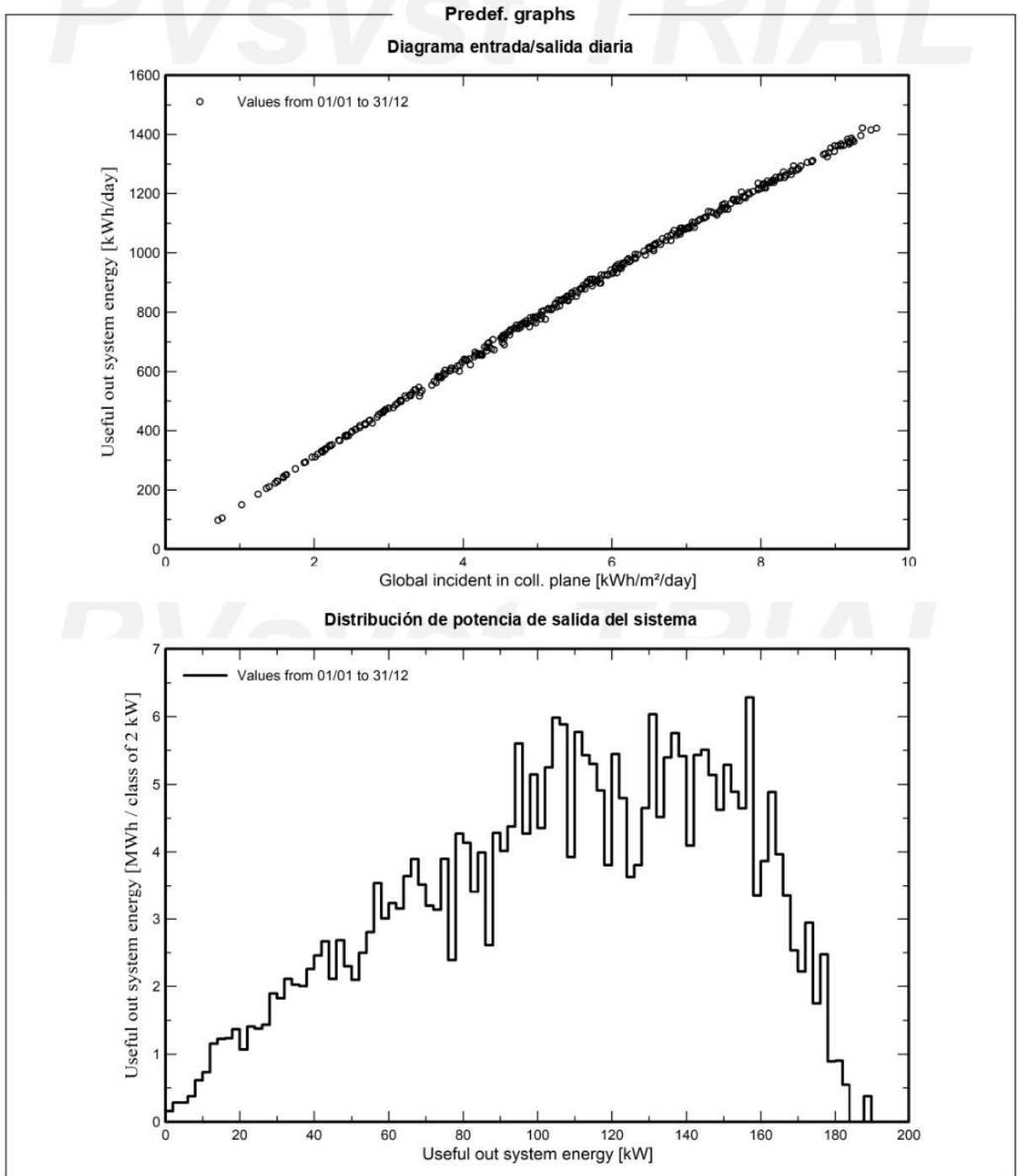


Project: CASO 1 QUITO

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
21/02/25 13:34
with V7.4.7



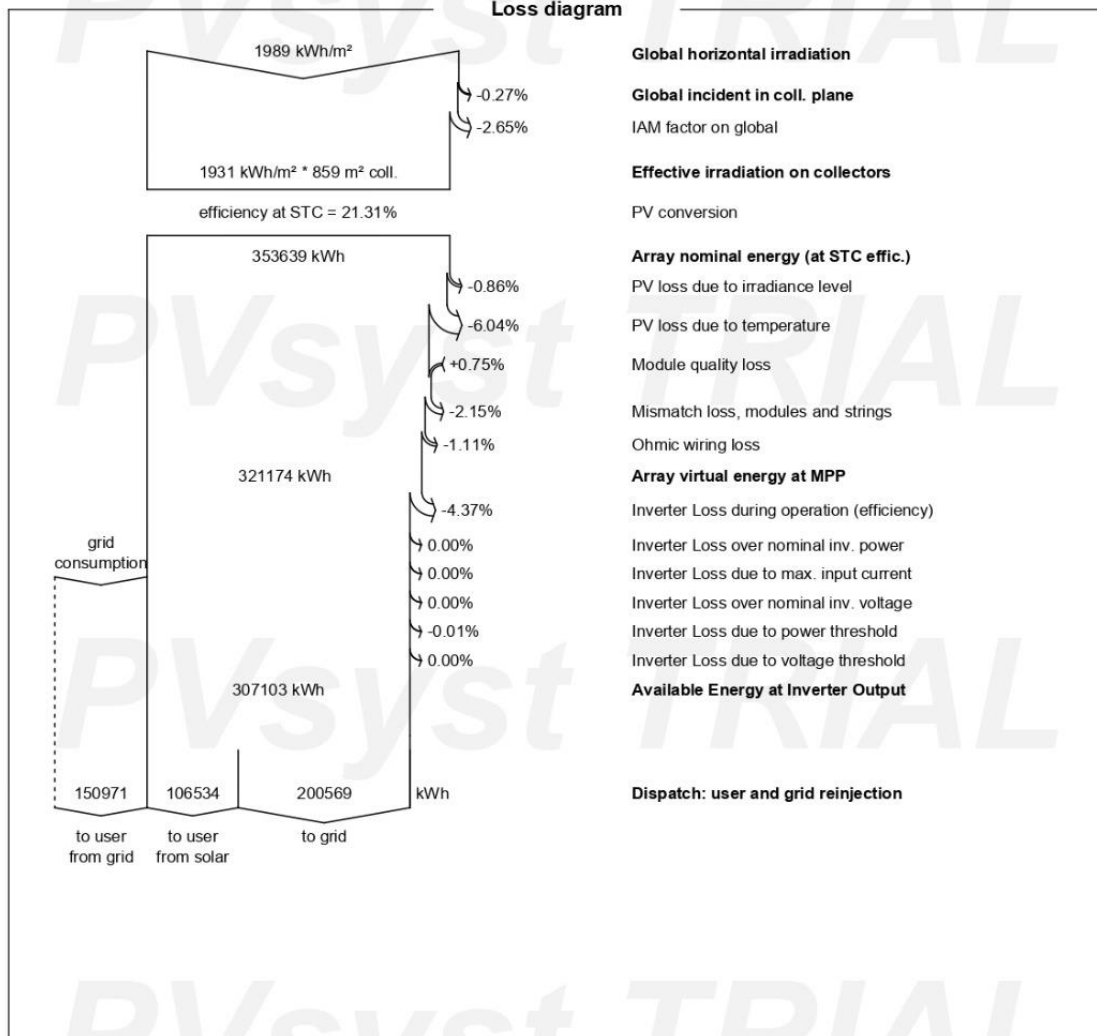


Project: CASO 1 QUITO

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC0, Simulation date:
21/02/25 13:34
with V7.4.7



Anexo 12: Reporte Pvsyst Caso 2



Proyecto: Edificio Caso 2 (Guayaquil)

Variante: Nueva variante de simulación Resultado 1 Caso 2 Guayaquil

PVsyst V7.4.7

VC0, Fecha de simulación:
21/02/25 13:00
con V7.4.7

Resumen del proyecto

Sitio geográfico Guayaquil Ecuador	Situación Latitud -2.10 °S Longitud -79.93 °W Altitud 12 m Zona horaria UTC-5	Configuración del proyecto Albedo 0.20
Datos meteo Guayaquil Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		

Resumen del sistema

Sistema conectado a la red Orientación campo FV Plano fijo Inclinación/Azimut 4 / 0.8 °	Sin escena 3D definida, sin sombras Sombreados cercanos Sin sombreados	Necesidades del usuario Valores mensuales
Información del sistema Generador FV Núm. de módulos 1260 unidades Pnom total 630 kWp	Inversores Núm. de unidades 5 unidades Pnom total 500 kWca Proporción Pnom 1.260	

Resumen de resultados

Energía producida 838830 kWh/año	Producción específica 1331 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR 84.66 %
Energía usada 885907 kWh/año		Fracción solar (SF) 39.91 %

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Resultados principales	4
Diagrama de pérdida	5
Gráficos predefinidos	6
Evaluación P50 - P90	7
Diagrama unifilar	8



Proyecto: Edificio Caso 2 (Guayaquil)

Variante: Nueva variante de simulación Resultado 1 Caso 2 Guayaquil

PVsyst V7.4.7

VC0, Fecha de simulación:
21/02/25 13:00
con V7.4.7

Parámetros generales

Sistema conectado a la red

Sin escena 3D definida, sin sombras

Orientación campo FV

Orientación

Plano fijo

Inclinación/Azimut 4 / 0.8 °

Configuración de cobertizos

Modelos usados

Transposición

Perez

Difuso

Perez, Meteonom

Circunsolar

separado

Horizonte

Horizonte libre

Sombreados cercanos

Sin sombreados

Necesidades del usuario

Valores mensuales

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
91.8	78.8	98.4	95.5	87.5	69.2	54.9	54.0	57.1	55.9	61.8	80.9	886	MWh/mes

Características del generador FV

Módulo FV

Fabricante

Generic

Modelo

TSM-DEG18MC-20-(II)-500-Bifacial

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia

500 Wp

Número de módulos FV

1260 unidades

Nominal (STC)

630 kWp

Módulos

140 cadena x 9 En serie

En cond. de funcionam. (50°C)

Pmpp

584 kWp

U mpp

342 V

I mpp

1708 A

Potencia FV total

Nominal (STC)

630 kWp

Total

1260 módulos

Área del módulo

3037 m²

Inversor

Fabricante

Generic

Modelo

PowerGate Plus PVS-100-480

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia

100 kWca

Número de inversores

5 unidades

Potencia total

500 kWca

Voltaje de funcionamiento

315-600 V

Proporción Pnom (CC:CA)

1.26

Potencia total del inversor

Potencia total

500 kWca

Número de inversores

5 unidades

Proporción Pnom

1.26

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (viento)

0.0 W/m²K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global

3.3 mΩ

Frac. de pérdida

1.5 % en STC

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida

-0.8 %

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida

2.0 % en MPP

Pérdidas de desajuste de cadenas

Frac. de pérdida

0.2 %

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Fresnel, revestimiento AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Proyecto: Edificio Caso 2 (Guayaquil)

Variante: Nueva variante de simulación Resultado 1 Caso 2 Guayaquil

PVsyst V7.4.7

VC0, Fecha de simulación:
21/02/25 13:00
con V7.4.7

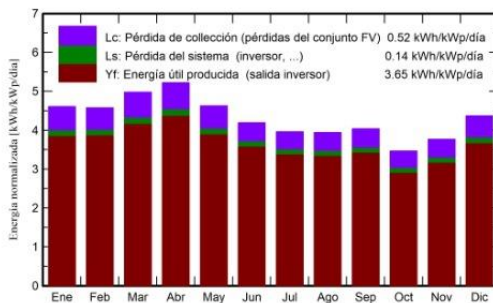
Resultados principales

Producción del sistema

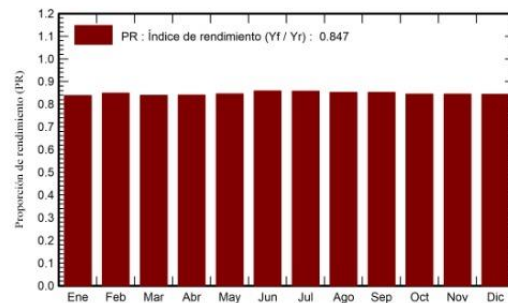
Energía producida 838830 kWh/año
Energía usada 885907 kWh/año

Producción específica 1331 kWh/kWp/año
Proporción rend. PR 84.66 %
Fracción solar (SF) 39.91 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	146.2	76.70	26.60	142.8	138.9	78392	91814	35472	39961	56342
Febrero	129.7	83.59	26.46	128.1	124.6	71091	78842	32078	36397	46764
Marzo	154.7	87.90	27.01	154.4	150.6	84746	98379	38713	42878	59665
Abril	154.7	80.77	26.69	156.6	153.0	86160	95513	38605	44332	56907
Mayo	140.1	76.18	26.41	143.4	139.7	79324	87547	34726	41621	52821
Junio	122.8	78.19	24.79	125.7	122.2	70589	69210	27577	40399	41633
Julio	120.3	76.86	24.45	122.8	119.4	68906	54921	22795	43553	32126
Agosto	120.7	74.68	24.12	122.1	118.8	68162	54006	22423	43154	31583
Septiembre	120.8	79.40	24.13	121.1	117.6	67533	57145	23709	41271	33436
Octubre	108.3	70.70	24.50	107.4	104.3	59495	55869	22164	34972	33705
Noviembre	115.0	71.58	24.68	113.0	109.9	62602	61806	22890	37228	38916
Diciembre	138.5	82.94	26.55	135.4	131.4	74724	80856	32380	39532	48476
Año	1571.9	939.50	25.53	1572.8	1530.5	871725	885907	353532	485299	532375

Legendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_User	Energía suministrada al usuario
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energía del sol
GlobInc	Global incidente plano receptor	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EFrGrid	Energía de la red



Proyecto: Edificio Caso 2 (Guayaquil)

Variante: Nueva variante de simulación Resultado 1 Caso 2 Guayaquil

PVsyst V7.4.7

VC0, Fecha de simulación:
21/02/25 13:00
con V7.4.7

