



Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Sistema Fotovoltaico en la Escuela Jaime Roldós Aguilera: Análisis Técnico y Económico

Feasibility Study for the Implementation of a Photovoltaic System at the Jaime Roldós Aguilera School: Technical and Economic Analysis

Estudo de Viabilidade para Implantação de Sistema Fotovoltaico na Escola Jaime Roldós Aguilera: Análise Técnica e Econômica

Sunny Lisett Quiñonez-Quíñonez ^I
sunnyquinonez@insluistello.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-6775-2946>

Cristhian Xavier Angulo-Mendoza ^{II}
cxangulo@istluistello.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3118-8264>

Correspondencia: sunnyquinonez@insluistello.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 18 de febrero de 2025 * **Aceptado:** 27 de marzo de 2025 * **Publicado:** 05 de abril de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Carrera de Tecnología Superior en Electricidad, Esmeraldas, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Luis Tello, Carrera de Tecnología Superior en Electricidad, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

El presente estudio planteó como objetivo realizar análisis técnico y económico de factibilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico en la Escuela Jaime Roldós Aguilera, Ecuador. La metodología empleada es de enfoque cuantitativo, de tipo campo, por lo que la recolección de información se realizó a través de la observación directa para el levantamiento de datos sobre las instalaciones de red eléctrica y cargas conectadas del edificio y acerca de los modos de uso de la energía eléctrica del edificio. También se realizó el análisis de consumos energéticos del edificio y el análisis técnico y económico del potencial de implementar la alternativa del sistema fotovoltaico. Los resultados del consumo de energía arrojaron un valor de 83,742kWh/día que constituye un ahorro monetario reflejado en la disminución del costo de la factura a pagar por concepto de consumo energético y en el aspecto medioambiental en la minimización de emisiones de CO₂. Dentro de las conclusiones se determinó que el verdadero impacto que tiene la implementación del sistema fotovoltaico se evidencia en aspectos ambientales, sociales, económicos y tecnológicos reflejados de manera uniforme en el valor exacto del beneficio costo por unidad monetaria invertida.

Palabras clave: Edificación escolar; consumo; energía; panel solar; sistema fotovoltaico.

Abstract

The objective of this study was to conduct a technical and economic feasibility analysis for the implementation of a photovoltaic system at the Jaime Roldós Aguilera School, Ecuador. The methodology employed is a quantitative, field-based approach. Data collection was conducted through direct observation to gather data on the building's electrical grid installations and connected loads, as well as on the building's energy usage patterns. An analysis of the building's energy consumption and a technical and economic analysis of the potential for implementing a photovoltaic system as an alternative were also conducted. Energy consumption results showed a value of 83,742 kWh/day, representing a monetary savings reflected in the reduction of the energy bill and, on the environmental side, in the minimization of CO₂ emissions. The conclusions determined that the true impact of implementing the photovoltaic system is evident in environmental, social, economic, and technological aspects, which are uniformly reflected in the exact value of the cost benefit per monetary unit invested.

Keywords: School building; consumption; energy; solar panel; photovoltaic system.

Resumo

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico na Escola Jaime Roldós Aguilera, Equador. A metodologia empregada é uma abordagem quantitativa, baseada em campo, portanto as informações foram coletadas por meio de observação direta para reunir dados sobre as instalações da rede elétrica do edifício e cargas conectadas, bem como sobre os padrões de uso de energia elétrica do edifício. Também foi realizada uma análise do consumo energético do edifício e uma análise técnica e econômica do potencial de implementação de uma alternativa de sistema fotovoltaico. Os resultados do consumo de energia apresentaram um valor de 83.742 kWh/dia, o que representa uma economia monetária refletida na redução da conta de energia e, do lado ambiental, na minimização das emissões de CO₂. As conclusões determinaram que o verdadeiro impacto da implementação do sistema fotovoltaico é evidente nos aspectos ambientais, sociais, econômicos e tecnológicos, que se refletem uniformemente no valor exato do custo-benefício por unidade monetária investida.

Palavras-chave: Edifício escolar; consumo; energia; painel solar; sistema fotovoltaico.

Introducción

Es indudable la importancia de la energía eléctrica para el desarrollo social y económico de la humanidad, este hecho se ha reflejado en situaciones que permiten atender sistemas y servicios esenciales como la habitabilidad en los hogares, la salud pública, la educación, procesos productivos empresariales e industriales, comerciales, financieros, entre otros muchos más aspectos.

En términos concretos, vinculados al funcionamiento de los edificios escolares, se registra un significativo consumo eléctrico para satisfacer las demandas de iluminación, climatización, refrigeración y funcionamiento de los equipos para las tareas escolares y administrativas. Desde esta perspectiva, el uso de la energía eléctrica en las escuelas, tal como afirma Kralj (2020), es un requisito fundamental para ofrecer un hábitat saludable y con condiciones de confort adecuadas para el aprendizaje. En este sentido, también Moreno & Sosa (2020) destacan que las condiciones

de las aulas relacionadas con los aspectos de confort térmico, ventilación e iluminación, tienen consistentemente beneficios significativos en el logro estudiantil.

Igualmente, De la Cruz Chaidez et al., (2023) consideran que es fundamental identificar las condiciones ambientales al interior de las aulas debido a que estas se relacionan con el bienestar, el rendimiento y la productividad de los estudiantes en términos de concentración, atención y aprendizaje durante el horario escolar.

No obstante, autores como Thewes et al, (2019) señalan a las escuelas como “importantes consumidores de energía, a la par de los edificios residenciales y de oficinas” (p. 469). En la misma perspectiva, Castañón et al, (2024) manifiestan que los edificios de instituciones educativas son consumidores importantes en energía, cuyo uso es principalmente en iluminación, lo que puede relacionarse con impactos negativos como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el confort térmico y rendimiento académico de los estudiantes.

De hecho, las principales fuentes de energía que consumen energía los centros educativos son la electricidad y los combustibles fósiles, es por ello, que Schwartz et al (2021)., enfatizan su participación tangible en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el sector público. Así, en este contexto, las emisiones de CO₂ se han multiplicado y tienen consecuencias en el calentamiento del planeta, aunque otros gases como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) presentes en la atmósfera en menor medida, también pueden contribuir todavía más al calentamiento global que provoca el cambio climático (Parlamento Europeo, 2023).

Este escenario ha conllevado a reconocer en numerosas reuniones de expertos en el tema ambiental, la necesidad de potenciar una sensibilización sobre el cuidado del medio natural, donde el comportamiento energético de las edificaciones escolares es indispensable dada su contribución mediante el consumo de energía a la emisiones de GEI, a la par de dar respuesta a la necesidad de formación en buenas prácticas ambientales, consiguiendo así los cambios requeridos para generar soluciones a los problemas ambientales producidos por las actividades antrópicas.

En este sentido, las instituciones educativas pueden adoptar tecnologías renovables como los sistemas fotovoltaicos para reducir sus emisiones de GEI, además de promover una adecuada formación en la temática medioambiental, lo que implica necesariamente un cambio de conductas y hábitos en los estudiantes en lo individual y en lo grupal, lo que invariablemente repercutirá en la sociedad en general.

Los sistemas de energía fotovoltaica tienen un gran potencial como tecnología de suministro de energía con un nivel bajo de emisiones de carbono (Resch, 2019). Según los autores Stucki et al., (2023) las emisiones de carbono asociadas con la generación de 1 kWh de electricidad solar a partir de sistemas fotovoltaicos son mucho menores que las emisiones de los generadores de combustibles fósiles, que pueden emitir hasta 1 kg de CO₂ por kWh.

La ciencia lo indica claramente que, para evitar los impactos más negativos del cambio climático, es necesario reducir las emisiones a casi la mitad en 2030 y alcanzar el cero neto en el año 2050 (Naciones Unidas, 2020).

Teniendo presente la actual situación de emergencia planetaria, tal como aportan Chavarry et al., (2023) la implementación de energías renovables en la construcción y la mejora de la eficiencia energética en los edificios son soluciones clave para reducir las emisiones de CO₂, donde evidentemente también se acogen los establecimientos escolares.

Actualmente, las energías renovables suponen, en realidad, la opción más asequible en la mayor parte del mundo, pues sus precios están disminuyendo cada vez más. Esta caída de los precios hace que las energías renovables sean más atractivas en cualquier lugar, incluso en los países con rentas medias o bajas, de donde procederá principalmente la demanda adicional de esta nueva electricidad (Naciones Unidas, 2020).

En este marco, Ecuador es un país con características topográficas muy variadas, de gran diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias (Izquierdo, 2019). En atención a esto, el presente estudio plantea como objetivo realizar análisis técnico y económico de factibilidad para la implementación de un sistema fotovoltaico en la Escuela Jaime Roldós Aguilera, Ecuador.

Metodología

Este trabajo de investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dentro de un diseño de campo, con apoyo de un estudio bibliográfico, se ejecutó en tres etapas, la primera fase comprendió la realización del diagnóstico general a partir de visitas a la institución, con lo cual se logró una aproximación de la situación actual que presenta la institución educativa, respecto al uso y consumo de energía por las diferentes luminarias y equipos para el desarrollo de las funciones escolares y administrativas. Para ello fue esencial la utilización de las técnicas de entrevistas informales y

observación directa que permitieron la recopilación y registro de la información de interés (Hurtado, 2000).

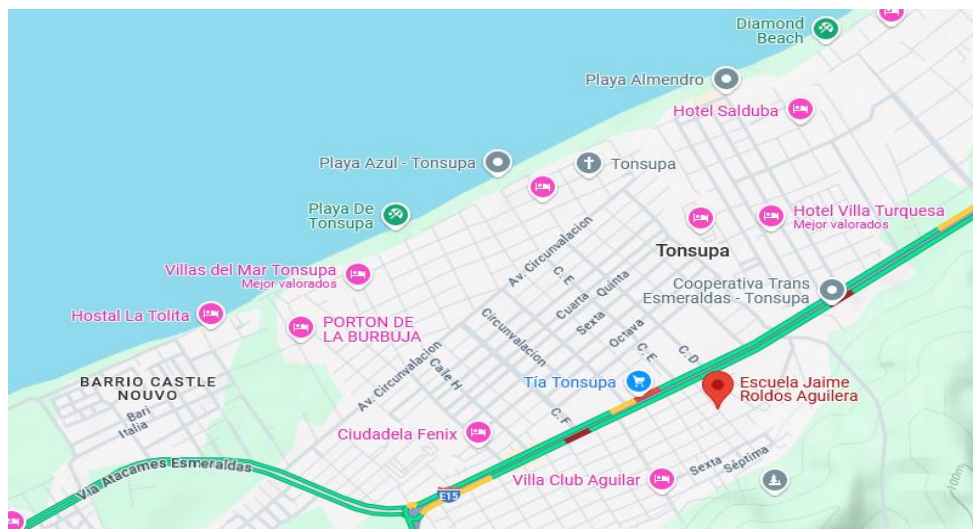
En un segundo momento se procedió a realizar un análisis sobre los datos obtenidos, relativos al estudio de cargas eléctricas de luminarias, consumo de aires acondicionados y equipos para las tareas escolares y administrativas (computadoras, impresoras, otros).

El tercer momento, corresponde al análisis de la factibilidad técnica y económica, del sistema fotovoltaico con posibilidades de implementarse en la Institución Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador.

Descripción del área de estudio

En la Figura 1 se encuentra la ubicación de la Escuela Jaime Roldós Aguilera.

Figura 1. Localización Escuela Jaime Roldós Aguilera de Ecuador



Nota. Fuente: Google Maps

En la Figura 2 se muestra la fachada de la Escuela Jaime Roldós Aguilera.

Figura 2. Fachada de la Escuela Jaime Roldós Aguilera de Ecuador



El estudio se realiza en las instalaciones correspondientes a la edificación donde se imparte el nivel de Educación General Básica de la Unidad Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador, desde el punto de vista del gasto de la energía eléctrica en los centros educativos como la Escuela Jaime Roldós Aguilera, está asociada a factores como el tamaño, la cantidad de alumnos y personal, y las condiciones climáticas.

En este sentido, los servicios que aportan beneficios para un aprendizaje de calidad, repartidos en dos jornadas matutina y vespertina, comprenden aulas totalmente equipadas y climatizadas, proyectores y equipos tecnológicos y cámaras de seguridad e todas las instalaciones, por lo que, el gasto energético se concentra mayoritariamente en el consumo de electricidad y en menor porcentaje para la climatización artificial mediante aires acondicionados tipo Split y para el funcionamiento de equipos para el desarrollo de las actividades académicas y administrativas (computadoras, proyectores y demás equipos tecnológicos).

Las características generales de la escuela se describen a continuación: niveles PB, 1piso superior contentivo de los siguientes espacios, aulas (14), laboratorio de computación (1), oficinas (6), pasillos (2), auditorio pequeño (1); biblioteca (1); baños p/hombres (3) y baños p/mujeres (3), escaleras a planta alta (1), el promedio de aula 35 a 41 m²; para un área total 2585 m². La institución cuenta con una iluminación natural y artificial, siendo la iluminación artificial usada la mayor parte del tiempo.

Metodología para el levantamiento de la información del diagnóstico general

Esta fase se realiza en tres fases:

a. Levantamiento de datos

- Visitas: observación arquitectura del edificio: recorrido, conversaciones con el personal directivo, docente, administrativo y personal de mantenimiento.
- Observación de equipos para tareas académicas y administrativas e instalaciones de red eléctrica y cargas conectadas del edificio: levantamiento de la información sobre los modos de uso de la energía eléctrica del edificio. Se toma nota en una planilla con el listado de equipamiento y un estimado de la cantidad de horas por día de funcionamiento de cada elemento.

b. Análisis de consumos energéticos

- Estudios de cargas de las luminarias
- Estudio del consumo eléctrico del sistema de aires acondicionados y equipos para la labor escolar y administrativa (computadoras, impresoras, proyectores, otras)
- Se obtienen los valores de consumo y porcentaje de participación de cada uso final.

c. Análisis de potencial de la alternativa del sistema fotovoltaico

- Factibilidad técnica: Potencial ahorro energético

Factibilidad económica

Selección estrategia de sistema fotovoltaico

La inspección de las instalaciones correspondientes a cada espacio de la edificación, con el fin de realizar el estudio de cargas, se limitó a aquellos equipos prioritarios para el funcionamiento escolar y administrativo, de esta forma, contempló la estimación del número de lámparas que conforman la luminaria tanto interna como externa, y sistemas de aires acondicionados.

La edificación donde se imparte el nivel de Educación General Básica de la Unidad Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador, dispone de una planta baja y un nivel superior en donde cada uno de los dos niveles dispone de varias aulas de clase, oficinas, pasillo, biblioteca, baños para hombres y mujeres, escalera y un auditorio de pequeñas dimensiones.

El consumo diario de energía estimada para cada área del edificio es el parámetro más importante a considerar en el dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico (FV), mediante el cual se logró estimar la cantidad de módulos fotovoltaicos a conectar en serie y en paralelo que conforman el mismo.

Resultados

Resultados correspondientes al estudio de cargas de luminarias de la Unidad Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador.YT

La Tabla 1 muestra la carga que maneja la Escuela Jaime Roldós Aguilera.

Tabla 1. Cuadro de carga

CARGA	Cantidad	Potencia luminaria (W)	por Horas diarias	Días mensuales	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Carga conectada (kW)
Luminarias	61	40	7		17,08	375,76	2440
Computadoras de escritorio	30	200	7		42	924	6000
Aire acondicionado	2	1333	7	22	18,662	410,564	2666
Impresoras	2	600	1		1,2	26,4	1200
Proyectores	4	300	4		4,8	105,6	1200
TOTAL					83,742	1842,324	13506

Nota. Elaboración propia

Las luminarias de la Unidad Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador, donde se muestra el consumo energético correspondiente a la cantidad de 61 luminarias fluorescentes de tipo ahorradora, con un consumo eléctrico teórico diario de 17,08 kWh/día, un gasto mensual obtenido de 375,76 kWh/mes y una carga conectada total a la red de 2440kW en el edificio escolar relacionada al uso de luminarias ahorradoras.

Los sistemas de iluminación en las edificaciones escolares, requeridas para ejecutar las actividades académicas, de gestión y apoyo, emiten dióxido de carbono (CO₂) un gas de efecto invernadero que tiene un relevante impacto en el medioambiente, sobre este particular el autor Saavedra (2020) resalta que el mayor consumo por la actividad académica directa corresponde a las aulas, laboratorios y biblioteca.

De esta manera, la Red de Observadores Escolares (2023) señala que las escuelas como edificaciones, cumplen un rol activo en el proceso de aprendizaje, por tanto, deben contar

regularmente con los servicios básicos necesarios para garantizar su operatividad. Las condiciones básicas se entienden como las características con las cuales deben contar las escuelas para asegurar un adecuado funcionamiento que permiten establecer estándares de calidad asociados a la infraestructura, servicios, espacios pedagógicos y equipamiento escolar, así como el impacto de estas condiciones en los días de clase (Red de Observadores Escolares, 2023). En especial, los centros educativos tienen la responsabilidad relevante de contribuir al logro de disminuir las emisiones de GEI que provienen del uso constante de las luminarias, en este sentido, a la par de la formación académica de estudiantes, sensibilización de docentes y demás personal que labora en la escuela, para actuar a favor de la protección del medioambiente desde el aula y de los otros espacios escolares, se puede establecer un sistema fotovoltaico que se enmarca dentro de las fuentes de generación de energía más limpia para tal efecto.

El uso de aire acondicionado en los diversos espacios, donde los niños y niñas de la Unidad Educativa Jaime Roldós Aguilera en Tonsupa, Esmeraldas-Ecuador, así como los profesores, tanto del horario matutino como vespertino, pasan un promedio de 7 horas diarias, 22 días hábiles al mes en la institución durante más de 180 días al año, en atención a ello, por mencionar, en concreto, el impacto sobre el medioambiente las altas concentraciones de emisión de CO₂ son especialmente frecuentes en los espacios de alta ocupación, tal como suelen ser el caso de las aulas.

En este particular, vale expresar que el consumo de energía eléctrica tiene un costo en el tiempo, así, mientras más energía eléctrica se utilice en largos periodos de tiempo más elevado será su costo, de esta forma la energía consumida se calcula como sigue:

Consumo eléctrico (Energía consumida) = Potencia (W) x Tiempo (h).

En este sentido, para poder determinar el consumo eléctrico en la edificación que alberga el centro educativo abordado, se asumió un funcionamiento continuo de los equipos de 12h diarias con turnos matutinos y vespertinos, desde las 7am hasta las 6pm, con una jornada laboral de 22 días laborales al mes.

A la hora de medir el gasto energético se tiene que un sistema de aire acondicionado tipo Split, comúnmente utilizado por su eficiencia y diseño compacto que consumen diariamente alrededor 18,662 kWh por hora.

El consumo de energía eléctrica total antes indicado en la Tabla 2, se considera es la demanda eléctrica que se debe tomar en consideración para implementar un sistema fotovoltaico para minimizar el gasto y disminuir las emisiones de GEI.

La tabla anterior muestra el consumo eléctrico de los equipos ofimáticos utilizados para el desarrollo de las actividades escolares y administrativas en la Escuela Jaime Roldós Aguilera, donde se refleja que el mayor gasto corresponde a la carga conectada a la red eléctrica de las computadoras de escritorio (42 kWh) debido al mayor número de equipos en uso diario correspondiente a 30 equipos para el desarrollo de actividades académicas en el Laboratorio de computación de la escuela.

En segundo lugar, se ubican las fotocopiadoras con una carga conectada (kW) a la red, correspondiente a 1.2 kW, en tercer lugar, con un 4.8 kWh de gasto de carga conectada se tienen los 2 equipos de Video Beam del centro escolar.

En atención a ello, en el texto publicado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2019) se pone de relieve que en la continua búsqueda para dar respuesta a la problemática ambiental y social, en Ecuador, las políticas educativas públicas se identifican como un compromiso con el mejoramiento de la calidad ambiental y conservación del patrimonio natural del país, tomando como premisa que la Educación Ambiental es fundamental para orientar la planificación y viabilizar el desarrollo de la gestión ambiental nacional, en función de coadyuvar a la educación formal y no formal en el ámbito ambiental de la sociedad ecuatoriana en general.

Desde esta perspectiva, en el documento de la Red de Observadores Escolares (2023) se indica que la infraestructura educativa debe cumplir con una serie de condiciones fundamentales, que permitan garantizar un ambiente físico adecuado para que ocurran los aprendizajes, la convivencia y el esparcimiento. La edificación escolar debe garantizar la seguridad, calidad, oportunidad, y sustentabilidad en su estructura, componentes y equipos.

En la Tabla 2, se encuentra una descripción de los resultados del consumo de energía eléctrica de las luminarias, computadoras de escritorio, aire acondicionado, impresoras y proyectores de la edificación escolar contexto de este estudio.

Tabla 2. Matriz análisis de resultados del consumo de energía eléctrica de luminarias, computadoras de escritorio, aire acondicionado, impresoras y proyectores

CARGA	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)
Luminarias	17,082	375,76

Computadoras de escritorio	42	924
Aire acondicionado	18,662	410,564
Impresoras	1,2	26,4
Proyectores	4,8	105,6
	83,742	1842,324

Nota. Elaboración propia

La demanda total diaria 83,742 kWh/día y mensual de 1842,324 kWh/mes, la cual es necesario disminuir por su incidencia económica, aunado a su impacto ambiental por las emisiones de GEI. La demanda eléctrica es la cantidad de potencia eléctrica que un consumidor utiliza en un período de tiempo (Barroso, 2019).

Análisis de potencial de la alternativa del sistema fotovoltaico

Evaluación técnica

El sistema fotovoltaico es un instrumento para poner en práctica la eficiencia energética del edificio escolar y el manejo responsable de recursos energéticos que permita el funcionamiento de las oficinas, las aulas, laboratorios, oficinas y demás espacios escolares.

La Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11, en Ecuador los componentes de los Sistemas solares fotovoltaica (SFV) deberán ser homologados por una entidad creada específicamente para estas funciones, acreditada ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE), bajo las normas que se creen para el efecto (NEC-11, 2011).

Los elementos y equipos de un sistema fotovoltaico son los siguientes: paneles solares, estructura para soporte de paneles, controlador de carga, banco de baterías, inversor, gabinete de protecciones eléctricas, acometida eléctrica y sistema de puesta a tierra (Pinillos et al., 2022).

Siguiendo con estos aportes, a partir de la radiación solar y la identificación de las necesidades energéticas de la sede, se define el dimensionamiento para el sistema fotovoltaico (Pinillos et al., 2022). El recurso Solar, está determinado por la radiación solar que incide sobre una zona geográfica determinada (Martínez, 2021). La energía solar en Ecuador es muy elevada debido a su ubicación en la zona intertropical, las Horas Solares pico (*HSP*) alcanza un promedio de 4.378 (kW - h/m² día) (Echegaray et al., 2018).

Sistema solar fotovoltaico

Paso 1: Datos iniciales

Demanda total del edificio

1842,324 kWh/mes

Convertimos a Wh/día:

$$E_{demanda\ diaria} = \frac{1842.324 \times 100}{30} = 61410.8Wh/dia$$

Datos del panel solar

Potencia nominal: 580 Wp

Horas solares pico (HSP) en Esmeraldas: 4.5 h/día (este valor representa la cantidad de horas en las que la radiación solar es equivalente a 1000 W/m²)

Paso 2: Energía generada por un panel solar al día

Cada panel solar de 580 Wp generada:

$$E_{panel} = P_{panel} \times HSP$$

$$E_{panel} = 580 \times 4.5$$

$$E_{panel} = \mathbf{2610\ Wh/dia}$$

Paso 3: Cálculo del número de paneles solares necesarios

Para determinar la cantidad de paneles solares requeridos. Usamos la ecuación:

$$N_{paneles} = \frac{E_{demanda\ diaria}}{E_{panel}}$$

$$N_{paneles} = \frac{61410.8}{2610}$$

$$N_{paneles} = 23.53$$

Como no podemos instalar fracciones de paneles, redondeamos hacia arriba:

$$N_{paneles} = 24\ \text{paneles}$$

Potencia del sistema

Paso 1: Determinar la potencia máxima del sistema

La potencia máxima del sistema solar fotovoltaico se calcula como:

$$P_{max} = N_{paneles} \times P_{panel}$$

Donde:

$$N_{paneles} = 24\ \text{paneles (calculados anteriormente)}$$

$P_{panel} = 580 W$ (potencia nominal de cada panel)

$$P_{max} = 24 \times 580$$

$$P_{max} = 13920 W = 13.92 kW$$

Paso 2: Selección del inversor

Un inversor solar debe manejar al menos la potencia generada por los paneles. Sin embargo, se recomienda que su capacidad sea aproximadamente 20% mayor que la potencia nominal del sistema para evitar sobrecargas y compensar posibles variaciones.

$$P_{inversor\ recomendado} = P_{max} \times 1.2$$

$$P_{inversor\ recomendado} = 13.92 \times 1.2$$

$$P_{inversor\ recomendado} = 16.70 kW$$

Para este sistema, se recomienda un inversor de al menos 16.7 kW. Comercialmente, los inversores más cercanos serían de 17 kW o 20 kW.

Paso 3: cantidad de inversores requeridos

Si elegimos un inversor comercial de 17 kW, la cantidad de inversores necesarios es:

$$N_{inversores} = \frac{P_{max}}{P_{inversor\ seleccionado}}$$

$$N_{inversores} = \frac{13.92}{17}$$

$$N_{inversores} = 0.82$$

Como no podemos instalar fracciones de inversores, se necesita 1 inversor de 17 kW.

Sistema de almacenamiento

Paso 1: determinar la energía a almacenar

La capacidad de almacenamiento del banco de baterías debe ser suficiente para cubrir la demanda de energía del edificio durante un periodo sin sol.

Ya sabemos que el consumo diario del edificio es:

$$E_{demanda\ diario} = 61410.8 Wh/día = 61.41 kWh/día$$

Para calcular el banco de baterías, consideramos una autonomía de 1 día (es decir, almacenar suficiente energía para operar sin sol durante un día completo). Si se requiere más autonomía, se puede ajustar.

Paso 2: Determinar la capacidad del banco de baterías en Ah

La capacidad del banco de baterías se determina con la siguiente ecuación:

$$C_{bateria} = \frac{E_{demanda\ diaria}}{V_{bateria} \times DOD \times \eta}$$

Donde:

$E_{demanda\ diaria} = 61.41\ kWh = 61410.8\ Wh$ (energía que se debe almacenar)

$V_{bateria} = 48\ V$ (sistema típico en bancos de baterías solares)

$DOD = 0.5$ (profundidad de descarga típica del 50% para baterías de plomo-acido, si se usaran baterías de litio pueden ser 80%)

$\eta = 0.9$ (rendimiento del banco de baterías, incluye pérdidas en el inversor y cableado, típicamente 90%)

Sustituyendo los valores:

$$C_{bateria} = \frac{61410.8}{48 \times 0.5 \times 0.9}$$

$$C_{bateria} = \frac{61410.8}{21.6}$$

$$C_{bateria} = 2844.9\ Ah$$

Esto significa que el banco de baterías debe tener una capacidad de 2845 Ah a 48 V.

Paso 3: Selección del tipo de baterías

- Opción 1: Baterías de Plomo- Acido (gel o AGM)

Si usamos baterías de 250 Ah a 12 V, podemos conectar 4 baterías en serie para lograr 48 V. Luego, calculamos el número de cadenas en paralelo:

$$N_{cadenas} = \frac{C_{bateria}}{C_{bateria\ individual}}$$

$$N_{cadenas} = \frac{2845}{250}$$

$$N_{cadenas} = 11.38 :: 12$$

Se necesitan 12 cadenas en paralelo de 4 baterías de 250 Ah a 12V, lo que da un total de 48 baterías.

- Opción 2: Baterías de litio (LiFeP04)

Si usamos baterías de litio de 200 Ah a 48V, podemos calcular:

$$N_{cadenas} = \frac{C_{bateria}}{C_{bateria\ individual}}$$

$$N_{cadenas} = \frac{2845}{200}$$

$$N_{cadenas} = 14.23 :: 15$$

Se necesitan 15 baterías de litio de 200 Ah a 48V.

Conclusiones

Se determinó que la implementación de un sistema fotovoltaico en la Escuela Jaime Roldós Aguilera es técnicamente factible, considerando la demanda eléctrica del edificio y la disponibilidad del recurso solar en la zona.

La instalación del sistema fotovoltaico contribuirá significativamente a la reducción del consumo de energía convencional, minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto se traduce en una mejora ambiental y un avance en la transición hacia fuentes de energía limpia y renovable.

La implementación del sistema no solo mejorará la eficiencia energética del edificio escolar, sino que también servirá como una herramienta didáctica para estudiantes y docentes, promoviendo la conciencia ambiental y el uso de energías renovables en la comunidad educativa.

Referencias

1. ARCERNNR 001-2021. (2021). Seminario Proyectos Fotovoltaicos con Nuevas Regulaciones: Regulaciones No. ARCERNNR: 001/2021 y 002/2021. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR). <https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/6.-Regulaciones-ARCERNNR-001-y-002-2021.-O.Salazar-20210721.pdf>, pp.39.
2. Aristizábal, C., & González, J. (2021). Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo. *Semestre Económico*, 24 (57). <https://doi.org/10.22395/seec.v24n57a2>, pp.30-57.
3. Barroso, A. (2017). Estimación de la Demanda Eléctrica. Universidad Católica Andrés Bello-UCAB. <https://api-saber.ucab.edu.ve/server/api/core/bitstreams/17a93359-6b0a-4073-87b0-94a6321299e8/content>, pp.1-22.
4. Bos, M., & Schwartz, L. (2023). Educación y Cambio Climático ¿Cómo desarrollar habilidades para la acción climática en la edad escolar? . Banco Interamericano de Desarrollo (BID). División de Educación. III. Título. IV. Serie. IDB-PB-376.

- <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Educacion-y-cambio-climatico-como-desarrollar-habilidades-para-la-accion-climatica-en-la-ed>, pp.40.
5. Capel Molina, J. (2019). Nimbus 13-14, 2004. Universidad de Almeira. <https://books.google.com.ec/books?id=14UdCwAAQBAJ&pg=PA44&dq=NIMBUS+no+13-, pp.82>.
 6. Casneiro, I. (2019). Estudio de Factibilidad Para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos de 70 MVA. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Trabajo de titulación. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20081/1/Casneiro%2c%20Ismael.%20Estudio%20de%20factibilidad.pdf>, pp.140.
 7. Castañón, M., Ravelo, A., Hernández, J., & Jiménez, A. (2024). Análisis de eficiencia energética en una institución educativa en Baja California. Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad (TERYS), Vol. 3, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.178> , pp.45-49.
 8. CEACV. (2019). Guía Didáctica Huella de Carbono del Sector Educativo. Frente al Cambio Todas las personas cuentan. Centre d’Educació Ambiental de la Comunitat Valenciana (CEACV). España. https://mediambient.gva.es/documents/20550103/167446797/CAST_GuiaHC_CentrosEscolares.pdf/d084c534-d1c4-4f0c-a030-c442d65a9681, pp.22.
 9. CELEC EP. (2024). Estudio de Potencial Solar Fotovoltaico del Ecuador. Cuenca-Ecuador: Corporación Eléctrica del Ecuador-CELEC EP. Primera Edición. Pág. 20. <https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Folleto-PROYECTOS-FOTOVOLTAICOS-ECU-2024-2-26-FEB.pdf>.
 10. Cevallos, W., Rojas, D., Dominguez, L., Cruz, B., & Yerovi, M. (2019). La energía fotovoltaica. Revista contribuciones a la Economía. ISSN: 1696-8360. <https://eumed.net/ce/2019/1/energia-fotovoltaica.html>, pp.1-22.
 11. Chavarry, C., Zavala, J., & Rojo, M. (2023). Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO2 en edificaciones multifamiliares. Universidad, Ciencia y Tecnología. UCT; vol.27, no.119, Quito. Ecuador. <https://doi.org/10.47460/uct.v27i119.706>. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212023000200052.

12. Chere-Quiñónez, B. F., Ayovi Gruezo, G. A., Martínez-Peralta, A. J., & Mercado-Bautista, J. D. (2024). Technical-economic analysis of a grid-connected photovoltaic system. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, 14(1), 125-157. Recuperado a partir de http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion_y_saberes/article/view/246
13. De la Cruz Chaidez, M., Armendariz, J., Del Campo Saray, F., Sahagún, M., Castañón, M., & García, C. (2023). Evaluación del confort térmico y lumínico en aulas universitarias en Tijuana, Baja California. Caso de estudio FCITEC, Valle de las Palmas. *Rev. cienc. tecnol.* vol.5, no.4. <https://doi.org/10.37636/recit.v5n4e233>. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-19252022000400105.
14. Echegaray, R., Masabanda, M., Rodriguez, F., Toulkeridis, T., & Mato, F. (2019). Solar Energy Potential in Ecuador. 5th International Conference on eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2018. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372318>, pp.46-51.
15. Frohmann, A. (2013). Cálculo y etiquetado de la huella de carbono. Seminario “Huella de carbono e inventarios corporativos” Buenos Aires. Argentina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/seminario_hc_flacso_argentina-presentacion2_2013.pdf, pp.45.
16. Grupo NAP. (2019). Energía Solar Fotovoltaica. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Grupo de Nuevas Actividades Profesionales (NAP). Madrid. España. https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/energia_solar_fotovoltaica.pdf, pp.122.
17. Helios Strategia Ecuador. (2024). Estructuras para paneles solares. <https://heliostrategiaecuador.com/estructuras/>.
18. Hernández Gallegos, R. (2019). Análisis de Factibilidad para la Instalación de un Sistema de Energía Limpia Mediante Celdas Fotovoltaicas para la Alimentación Eléctrica del Edificio 4 en el ITSLV. Instituto Tecnológico Superior de Villa la Venta (ITSLV), Villahermosa. Tabasco. Trabajo de Grado.

- <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRoldofo%20MMANAV%202017.pdf>, pp.85.
19. Hurtado, J. (2019). Metodología de la Investigación Holística. Caracas. Venezuela: SYPAL. Servicios y Proyecciones para América Latina. 666 páginas. <https://ayudacontextos.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>.
 20. Inca Yajamín, G., Cabrera, D., Villalta, D., & Zurita, R. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*; 7(3). DOI. 10.37811/cl_rcm. v7i3.6835. https://www.researchgate.net/publication/372386258_Evaluacion_de_la_actualidad_de_los_sistemas_fotovoltaicos_en_Ecuador_avances_desafios_y_perspectivas, pp.9493-9509.
 21. INTEDYA. (2019). Guía rápida de aplicación de ISO 14064-1 Sistema de Gestión Huella de Carbono. INTEDYA: International Dynamic Advisors. https://www.intedya.com/productos/Plantilla_NORMAISO14064-1.pdf, pp.1-10.
 22. ISO 14064-1:2019(es). (2019). Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. ISO. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>.
 23. Izquierdo Tacuri, F. (2020). Prólogo. En CONELEC, Atlas Solar del Ecuador Con Fines de Generación Eléctrica (pág. Pág.4). Quito, Ecuador: Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)/Corporación para la Investigación Energética (CIE). Pág.51. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>.
 24. Kralj, M. (2019). Energía en las Escuelas: Consumos y Potenciales Ahorros. Universidad de Buenos Aires. Argentina.Trabajo de Maestría. <https://www.ceare.org/tesis/2019/tes38.pdf>, pp.186.
 25. Lee, J., Chang, B., Aktas, C., & Gorthala, R. (2020). Economic Feasibility of Campus-Wide Photovoltaic Systems in New England. *Renewable Energy*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.009>, pp.452–464.
 26. Manchay, D. (2022). Análisis de Factibilidad de un Sistema Solar Fotovoltaico Para una Vivienda Unifamiliar Ubicada en la Parroquia Nueva Fátima del Cantón Sozoranga. Universidad Nacional de Loja - Ecuador.

https://www.researchgate.net/publication/359443261_ANALISIS_DE_FACTIBILIDAD_DE_UN_SISTEMA_SOLAR_FOTOVOLTAICO_PARA_UNA_VIVIENDA_UNIFAMILIAR_UBICADA_EN_LA_PARROQUIA_NUEVA_FATIMA_DEL_CANTON_SOZO_RANGA.

27. Martínez, L. (2021). Estudio de Factibilidad Técnica para Implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico para el Edificio “Búnker” en la Universidad de los Llanos. Universidad de los Llanos. Colombia. Trabajo de titulación, pp.64.
28. Martínez-Peralta, A. J., Chere-Quiñónez, B. F., Guzmán-López, J. L., Orobio-Arboleda, T. J., & Valencia-Bautista, E. L. (2022). Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda unifamiliar en la parroquia rural Vuelta Larga del cantón Esmeraldas. *Dominio De Las Ciencias*, 8(1), 887–908. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2611>
29. Mercado libre Ecuador. (2025). Inversor solar. https://listado.mercadolibre.com.ec/computacion/inversor-solar-para-casa_Frenos-ABS_Si#!messageGeolocation.
30. Ministerio de Agroindustria-Argentina. (2019). Manual de Aplicación de la Huella de Carbono. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos Aires. Argentina. https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf, pp.33.
31. Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2020). Estrategia Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible 2017 – 2030. Quito- Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Primera edición. Pág. 56. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/ENEA-ESTRATEGIA.pdf>.
32. Moreno, L., & Sosa, M. (2019). Diagnóstico y Adecuación Térmica-Lumínica de Edificaciones Escolares Operativas en Venezuela Con Clima Tropical. Caso de Estudio: Escuela Pitahaya, Estado Miranda. XXXVI Jornadas de Investigación IDEC. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19253/1/EE-03.pdf>, pp.237-367.

33. Naciones Unidas. (2020). Energías renovables: energías para un futuro más seguro. Naciones Unidas Acción por el Clima. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>.
34. NEC-11. (2019). Capítulo 14. Energías Renovables. Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11. <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-14-energ3adas-renovables-021412.pdf>, pp.110.
35. OLADE. (2021). Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector energético por la pandemia producida por el COVID – 19. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/01/Generacion-electrica-mundial-y-para-America-Latina-y-el-Caribe-ALC_01-12-2020.pdf, pp.1-7.
36. Organización Acción contra el Hambre – España. (2024). Plan de Reducción de la Huella de Carbono. España: Organización Acción contra el hambre. <https://accioncontraelhambre.org/sites/default/files/2024-08/Plan%20de%20Reducci%C3%B3n%20Huella%20de%20carbono%20-%20ES.pdf>.
37. Parlamento Europeo. (2023). Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Temas Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>.
38. Pinillos, F., Pinillos, D., & Sandoval, E. (2022). Universidad Piloto de Colombia. Bogotá. D.C. Trabajo de titulación. , pp.236.
39. Pinillos, F., Pinillos, D., & Sandoval, E. (2022). Sistemas Fotovoltaicos en Escuelas: Diseño, Suministro, Instalación y Puesta en Marcha del Suministro de Energía Eléctrica Por Medio de Sistemas Fotovoltaicos Para 4 Escuelas Ubicadas en el Municipio de Aguachica –Cesar. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá. D.C. Trabajo de titulación., pp.236.
40. ProViento. (s/f). Paneles Solares. <https://proviento.com.ec/10-paneles-solares>.
41. Red de Observadores Escolares. (2023). Infraestructura, equipamiento y matrícula. Venezuela: OE con la Escuela. https://humvenezuela.com/wp-content/uploads/2024/02/INFORME_1_1_1.pdf.

42. Resch, R. (2019). La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>.
43. Rueda Panchano, C. I., Ramirez Toro, J. A., Chere Quiñónez, B. F., Mina González, N. F., & Simisterra Quiñónez, K. Y. (2024). Design of an Assisted Photovoltaic Solar Energy System for Block 5. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, 14(3), 88-109. Recuperado a partir de http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion_y_saberes/article/view/285
44. Saavedra, E. (2020). Huella de Carbono– Emisiones de GEI Por Uso del Sistema de Iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. *TECNIA*; Vol.30, N°1. DOI: <https://doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.827>.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/tecnica/v30n1/2309-0413-tecnica-30-01-121.pdf>, pp.121-138.
45. Schwartz, Y., Godoy-Shimizu, D., Korolija, I., Dong, J., Hong, S., Mavrogianni, A., y otros. (2021). Developing a data-driven school building stock energy and indoor environmental quality modelling method. *Energy and Buildings*, 249(2), 111249. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111249>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821005338>.
46. Spiller, I. (2019). Generación de energía en América Latina. *Revista Perspectivas # 5*. Bogotá. Colombia. <https://co.boell.org/es/perspectivas-en-america-latina-un-alto-costo-generacion-de-energia>.
47. Stucki, M., Götz, M., De Wild-Scholten, M., & Frischknecht, R. (2023). Análisis de Ciclo de Vida Ambiental de la Electricidad de los Sistemas Fotovoltaicos. International Energy Agency (IEA). <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/09/Task-12-Fact-Sheet-Spanish.pdf>, pp.1-4.
48. Sukumaran, S., & Sudhakar, K. (2017). Resource-Efficient Technologies Fully solar powered Raja Bhoj International Airport: A feasibility. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3). <https://doi.org/10.1016/j.refit.2017.02.001>, pp.309–316.

49. Thewes, A., Maas, S., Scholzen, F., Waldmann, D., & Zürbes, A. (2014). Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg. *Energy and Buildings*, 68(Part A, January). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.002>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778813006403>, pp.460–470.
50. Travis, J., Dunlap, M., Leo, D., & Grant, J. (2013). Dynamic Characterization of Biomimetic Artificial Hair Cells. In *Volume 2: Mechanics and Behavior of Active Materials; Structural Health Monitoring; Bioinspired Smart Materials and Systems; Energy Harvesting* (Vol. 2, p. V002T06A011). <https://doi.org/10.1115/SMASIS2013-3130>.
51. Ultracell. (s/f). Ficha técnica Batería GEL 2V 1150Ah Ultracell UCG 1150-2. <https://cdn.autosolar.es/pdf/Ultracell-UCG1150-2.pdf>, pp.1-3.
52. UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). ISBN 978-92-3-300070-4. Pág. 68. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423/PDF/252423spa.pdf.multi>.
53. Velazquez, A. (2024). *Estudio de Factibilidad Para el Uso de Energías Renovables Como Suministro Eléctrico Complementario en la Escuela de Ingeniería Industrial de la UCAB Guayana*. Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). Venezuela. Trabajo de titulación. <https://api-saber.ucab.edu.ve/server/api/core/bitstreams/6195edb6-18f3-4363-9729-0202ecf89230/content>, pp.144.
54. Yopez, A., Perez, L., Carvajal, F., Hallack, M., & Snyder, V. (2021). *Cinco cosas que debes saber sobre el sector energía en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://blogs.iadb.org/energia/es/cinco-cosas-que-debes-saber-sobre-energia-en-america-latina-y-el-caribe/>