



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i3.4505>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Design of a grid-connected photovoltaic system for self-consumption of electricity in a hotel in Loja, Ecuador

Projeto de um sistema fotovoltaico ligado à rede para autoconsumo de eletricidade num hotel em Loja, Equador

Luis Arturo Caisaguano Caisaguano ^I
acaisaguano@istvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2992-2714>

Ivette Auxiliadora Mateo Washbrun ^{II}
imateo@istvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7523-7219>

Richard Ernesto Goya Contreras ^{III}
egoya@istvr.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-2275-9985>

Correspondencia: acaisaguano@istvr.edu.ec

***Recibido:** 23 de julio de 2025 ***Aceptado:** 14 de agosto de 2025 *** Publicado:** 04 de septiembre de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Vicente Rocafuerte “ISTVR”, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Vicente Rocafuerte “ISTVR”, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico Vicente Rocafuerte “ISTVR”, Ecuador.

Resumen

En este proyecto de investigación, se diseñó un sistema fotovoltaico para un hotel en la ciudad de Loja - Ecuador. El sistema fotovoltaico, conectada a red (ON Grid), tiene como objetivo generar y suministrar energía eléctrica para satisfacer la demanda energética, reduciendo los costes en las facturas de consumo eléctrico.

Se realizó una caracterización del recurso solar y de otras variables climatológicas mediante la recopilación de datos de una estación meteorológica cercana a la ubicación del proyecto.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico se obtuvo la demanda de energía con las cargas existentes y la facturación de energía de un año, considerando un promedio de consumo mensual. Con estos parámetros se dimensionó un generador fotovoltaico de 25,21 kWp, el espacio físico para los paneles, el ángulo de inclinación, el inversor, protecciones y cables. En la modelación y simulación del sistema se utilizó el Software PVSyst haciendo una comparación con los cálculos, obteniendo resultados favorables y satisfaciendo la demanda energética en un 100 %.

El análisis económico del proyecto determinó una tasa interna de retorno del 15 % y un índice de rentabilidad de 2,1 lo que demuestra su viabilidad y se amortiza en un plazo de 8,5 años.

Palabras Claves: Autoconsumo; ON Grid; fotovoltaico; PVSyst; energía.

Abstract

In this research project, a photovoltaic system was designed for a hotel in the city of Loja, Ecuador. The grid-connected photovoltaic system aims to generate and supply electricity to meet energy demand, reducing electricity bills.

A characterization of the solar resource and other climatic variables was performed by collecting data from a weather station near the project site.

To size the photovoltaic system, the energy demand was obtained with existing loads and a year's energy bill, considering an average monthly consumption. These parameters were used to determine the dimensions of a 25.21 kWp photovoltaic generator, the physical space for the panels, the inclination angle, the inverter, protections, and cables. PVSyst software was used for system modeling and simulation, comparing them with the calculations, obtaining favorable results and meeting 100% of the energy demand.

The project's economic analysis determined an internal rate of return of 15% and a profitability index of 2.1, demonstrating its viability and amortization within a period of 8.5 years.

Keywords: Self-consumption; ON Grid; fotovoltaic; PVSyst; energy.

Resumo

Neste projeto de investigação foi projetado um sistema fotovoltaico para um hotel na cidade de Loja, no Equador. O sistema fotovoltaico ligado à rede visa gerar e fornecer eletricidade para satisfazer a procura energética, reduzindo as faturas de eletricidade.

A caracterização do recurso solar e de outras variáveis climáticas foi realizada através da recolha de dados de uma estação meteorológica próxima do local do projeto.

Para dimensionar o sistema fotovoltaico, a procura energética foi obtida com as cargas existentes e a fatura energética de um ano, considerando um consumo médio mensal. Estes parâmetros foram utilizados para determinar as dimensões de um gerador fotovoltaico de 25,21 kWp, o espaço físico para os painéis, o ângulo de inclinação, o inversor, as proteções e os cabos. O software PVSyst foi utilizado para a modelação e simulação do sistema, comparando-os com os cálculos, obtendo resultados favoráveis e atendendo a 100% da procura energética.

A análise económica do projeto determinou uma taxa interna de rendibilidade de 15% e um rácio de rendibilidade de 2,1, demonstrando a sua viabilidade e amortização num período de 8,5 anos.

Palavras-chave: Autoconsumo; Rede ON; fotovoltaica; Sistema fotovoltaico; energia.

Introducción

En la actualidad, el mundo se encuentra en una situación de crisis energética debido a la creciente demanda de las industrias, que son fundamentales para el crecimiento económico, y al alto costo de los combustibles fósiles, los cuales generan altas tasas de contaminación. Esto ha llevado a la búsqueda de fuentes de energía renovables para cubrir la demanda generada por este sector y disminuir los efectos de contaminación que causan las fuentes de energía no renovables.

Por lo tanto, los recursos energéticos renovables se muestran de manera específica según la región geográfica a la que se busca acceder, lo que hace importante para el sector industrial conocer el potencial energético de una fuente de energía renovable. Como la energía eléctrica que es un servicio esencial para el sector hotelero, se busca incentivar la inversión del sector para explotarlos y brindar un servicio de alta calidad. Esto es especialmente importante en el territorio ecuatoriano, donde el turismo ha generado un aumento del 14 % en el ingreso económico del país (Ministerio de turismo, 2024).

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

La presente investigación, proporciona una nueva perspectiva para el sector hotelero con el fin de abrir nuevas posibilidades energéticas sostenibles en la industria, debido que las fuentes de energía renovable disponibles en las distintas zonas climáticas permiten un potencial producción de energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos son una solución innovadora y eficiente para mitigar el cambio climático y la necesidad de sostenibilidad energética. Este sistema genera energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos aprovechando la energía del sol de manera integral. Este diseño presenta una oportunidad única para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y optimizando el uso de los recursos naturales disponibles. Una de las principales aplicaciones de este sistema es en el sector hotelero. En la ciudad de Loja se encuentra ubicado el Grand Hotel Loja, el mismo experimenta un elevado consumo de electricidad debido a sus servicios de alojamiento, restaurante, sala de conferencias y eventos. Este consumo energético se refleja en costos operativos significativos y una dependencia de la red eléctrica convencional, abastecida mayoritariamente en nuestro país por fuentes hidroeléctricas. Ante esta situación, el hotel busca una solución que permita reducir estos costes y reducir el impacto ambiental. La falta de una solución eficiente y ecológica no solo impacta en los costes operativos, sino que también repercuten a la seguridad del cliente y sus instalaciones.

Desarrollo

Sistema fotovoltaico

En los últimos años, la necesidad de adoptar soluciones energéticas sostenibles y eficientes ha adquirido una importancia sin precedentes a nivel global. El incremento en los costos de la energía, junto con la preocupación por el cambio climático y la necesidad de minimizar las emisiones de GEI, ha impulsado a diferentes sectores a buscar alternativas renovables. En este escenario, el sector hotelero juega un papel crucial debido a su alto consumo energético, principalmente en el suministro de electricidad.

El Grand Hotel Loja se enfrenta a los mismos retos energéticos que muchos establecimientos hoteleros de su tipo. Con el objetivo de reducir sus costos energéticos, disminuir su impacto ambiental y mejorar su eficiencia energética, se plantea la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para autoconsumo. Este enfoque no solo responde a las demandas actuales de sostenibilidad, sino que también se alinea con las políticas y normativas energéticas locales e internacionales.

- **Evolución de la industria fotovoltaica**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

El físico Antoine Becquerel descubrió la existencia del fenómeno fotoeléctrico visualizando absorción de luz solar mediante un material capaz de absorber energía eléctrica, el mismo procedimiento que realiza una célula fotovoltaica. Este análisis surgió en el año de 1839 (Alarcón, 2019).

Al finalizar el siglo XIX se hicieron experimentos para probar el efecto de la luz encima del selenio para verificar como se iba creando el efecto de la luz, esto se pudo ver gracias a un profesor llamado Grylls Adams junto con su estudiante Evans Day.

En el año de 1885 Charles Fritts hizo el módulo fotoeléctrico, que consistía en colocar en un soporte de tipo metálico una capa de selenio extendida junto con una delgada película transparente de oro, una vez realizado este procedimiento, envió sus paneles solares a Werner Von Siemens, el cual presentó el trabajo para poder mostrar la evidencia de cómo se realizaba la conversión de energía de la luz directamente y transformarla en energía eléctrica. Iniciando 1902 ya estaba lista la interpretación de hechos por medio de Einstein, que años después tuvo su reconocimiento Nobel por su teoría fotovoltaica, pero Planck anunció la teoría de los fotones (Alarcón, 2019).

En 1941, R.S. Olh desarrolló por primera vez la célula fotovoltaica de silicio, este descubrimiento sentó las bases para el desarrollo de las mismas. En la década siguiente, investigaciones posteriores demostraron que el silicio reemplazaba al selenio como material básico y eficiente para esta célula (Puig & Jofra, 2009, pág. 2).

Por el año 1953 el científico Darryl Chapin dio inicio a la investigación con selenio y silicio, donde hizo la comprobación que células de silicio tenían eficacia alrededor del 23 %.

- **Sistema fotovoltaico autónomos**

Conocidos como sistemas aislados (OFF-Grid), son aquellos que operan independientemente de la red eléctrica. Están diseñados para proporcionar energía eléctrica en áreas remotas donde la conexión a red no es viable o es demasiado costosa. Estos sistemas son esenciales para abastecer de energía a comunidades rurales, instalaciones remotas, dispositivos de comunicación y equipos de monitoreo ambiental, entre otros. La evolución de la tecnología fotovoltaica, combinada con avances en almacenamiento de energía y gestión inteligente, ha ampliado significativamente las aplicaciones y la eficiencia de los sistemas autónomos (Mora, Cortés Borray, Balaguera Cañola, & Urueña Saavedra, 2014, págs. 157-160).

- **Sistema fotovoltaico conectado a red**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red (ON Grid), permiten la generación de electricidad a partir de la energía solar, que luego se integra directamente en la red eléctrica, proporcionando beneficios tanto para el usuario como para el sistema energético en general. La creciente demanda de soluciones sostenibles y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado el desarrollo y la implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en diversos sectores, incluyendo el residencial, comercial e industrial (Mora, Cortés Borray, Balaguera Cañola, & Urueña Saavedra, 2014, págs. 157-160).

Energías renovables

Las fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales que pueden regenerarse continuamente y, por lo tanto, no se agotan con el uso humano, se conocen como energías renovables. Las fuentes de energía renovable se distinguen por:

- **Disponibilidad perpetua:** Los recursos que se utilizan para producir energía renovable se reponen naturalmente en un corto período de tiempo.
- **Ciclo de regeneración continua:** Los procesos naturales hacen que estos recursos se renuevan continuamente. Por ejemplo, la energía solar se genera cada día cuando el sol sale, mientras que la energía eólica se genera continuamente cuando las masas de aire se mueven.
- **Sostenibilidad:** La utilización de energías renovables no compromete la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades energéticas, ya que estos recursos no se agotan.
- **Impacto ambiental reducido:** En comparación con las fuentes de energía no renovables, que requieren la extracción y quema de combustibles fósiles, el uso de energías renovables tiene un impacto ambiental mínimo.

Nuestro país viene fomentando la utilización fuentes renovables sustentables que permitan tener acceso a la generación eléctrica. El Ecuador ha hecho un cambio de la matriz energética para abarcar la calidad y sustentabilidad del servicio de energía eléctrica porque se considera entre las más confiable alrededor de todo el mundo (Cajo, 2020).

Según CELEC EP en la publicación realizada en el 2021, se trata de hallar la manera de abastecer la demanda de energía en el transcurso de los siguientes años para dar prioridad a los recursos renovables, y eso es posible incorporando al menos 1440 MW adicionales (Celec EP, 2021).

Ecuador es conocido como el quinto país del mundo en generación de electricidad a través de centrales hidroeléctricas. Por esta razón, se le reconoce como una potencia en energía hidroeléctrica,

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

lo que permite que la producción de electricidad sea de bajo coste. Esto no solo facilita el abastecimiento del mercado interno, sino que también impulsa la expansión hacia otros países (Cajo, 2020).

Tipos de energías renovables

- ✓ Energía proveniente del sol.
- ✓ Energía proveniente del aire (Eólica).
- ✓ Energía obtenida de ríos (Hidráulica).
- ✓ Energía obtenida de materia orgánica (Biomasa).
- ✓ Energía obtenida del vapor de agua caliente (Geotérmica).
- ✓ Energía de los mares (Mareomotriz) (NEC, 2020).

Energía solar

El sol, gran generador de energía natural, fuente energética inagotable en forma de radiación electromagnética y que el 70 % de energía solar que recepta la tierra se absorbe mediante la atmósfera, por los océanos y la tierra misma. Lo sobrante del porcentaje se ve reflejado por la atmósfera que va de regreso al espacio.

La radiación solar se manifiesta en forma de ondas electromagnéticas que llegan a la Tierra como radiación, proporcionando el equivalente a 35 millones de unidades de energía a través de centrales solares, una fuente totalmente limpia y accesible. Sin embargo, la explotación de recursos no renovables es preocupante, ya que contribuye al efecto invernadero y al consecuente calentamiento global (Stull, 2020).

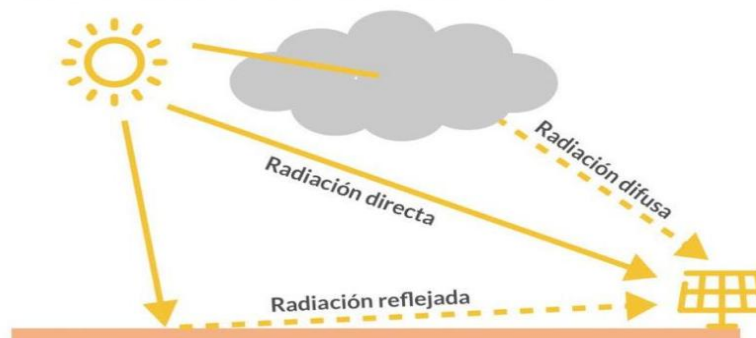
Tipos de radiación

- **Directa.** La radiación directa es la parte de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra de manera directa, sin haber sido dispersada ni reflejada por la atmósfera. Esta radiación sigue una trayectoria recta desde el sol y es responsable de la formación de sombras bien definidas. Es un componente crucial para tecnologías solares, como los paneles fotovoltaicos y los concentradores solares, que dependen de la intensidad y la dirección de la luz solar directa para su funcionamiento óptimo (Gueymard, 2009, págs. 432-444).
- **Difusa.** La radiación difusa es la parte solar dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera antes de llegar a la superficie de la Tierra. A diferencia de la radiación directa, la radiación difusa no sigue una trayectoria recta desde el sol, sino que llega desde todas las direcciones del cielo. Esto ocurre debido a la interacción de la luz solar con elementos

atmosféricos como el aire, las nubes, el polvo y otros aerosoles. La radiación difusa es especialmente importante en días nublados o parcialmente nublados, cuando la radiación directa es bloqueada o reducida. También contribuye al rendimiento de los paneles solares, aunque en menor medida que la radiación directa (Lqbal, 1983).

- **Albedo.** La radiación albedo es la porción de la radiación solar que ha sido reflejada por la superficie de la Tierra y otras superficies terrestres. Este fenómeno ocurre cuando la luz solar incide sobre superficies como nieve, agua, arena, vegetación o edificios, y una parte de esa luz es reflejada de vuelta hacia la atmósfera. La cantidad de radiación reflejada depende de las características de la superficie, como su color y textura. Superficies claras y brillantes, como la nieve y el hielo, tienen un alto albedo y reflejan una gran cantidad de luz solar, mientras que superficies oscuras, como los océanos y los bosques, tienen un albedo bajo y absorben más radiación. La radiación albedo juega un papel importante en el balance energético de la Tierra y en la regulación del clima (Wielicki, Barkstrom, Harrison, & Cooper, 2014, págs. 853-868).

Figura 1. Tipos de radiación incidente.



Fuente: Mara Porras de Digital Marketing Analyst, 2020.

Sistemas fotovoltaicos

La energía que se obtiene directamente del sol se utiliza para producir energía solar fotovoltaica, una fuente de energía renovable generada a partir de un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica. La unión de estas células forma los paneles solares (Ávila, 2017, pág. 256).

- **Célula fotovoltaica**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

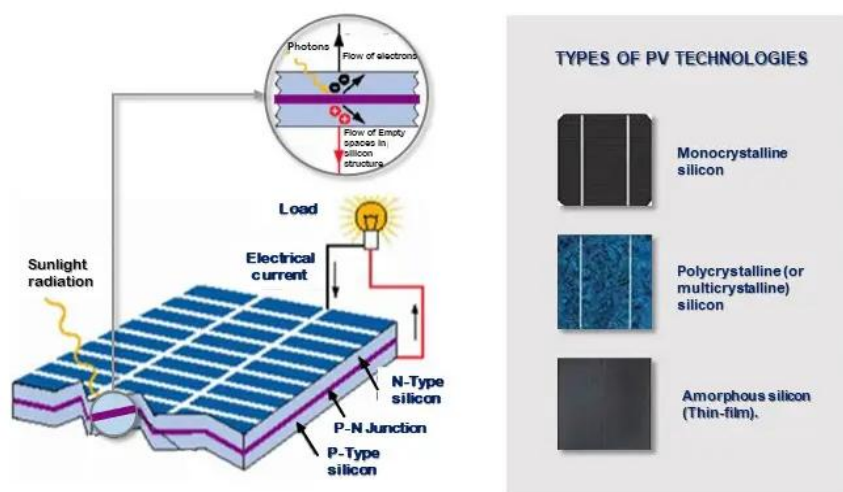
Una célula fotovoltaica, también conocida como célula solar, es un dispositivo semiconductor que utiliza el efecto fotovoltaico para transformar directamente la energía solar en energía eléctrica. Este efecto se basa en la capacidad de ciertos materiales, principalmente silicio, para producir corriente eléctrica cuando están expuestos a la luz. Las células fotovoltaicas están compuestas por capas de materiales que forman un campo eléctrico cuando la luz solar pasa por ellos, liberando electrones y generando una corriente eléctrica. Esto es lo que hace que las células fotovoltaicas sean los componentes principales de los paneles solares. Estas células se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde pequeñas calculadoras y relojes hasta grandes instalaciones de energía solar que alimentan hogares y redes eléctricas con energía solar (Redacciones, 2019).

- **Tipos de célula fotovoltaica**

A continuación, mencionaremos este tipo de células:

- ✓ Monocristalino –Silicio.
- ✓ Policristalino -Silicio.
- ✓ Filme fino Orgánicas (Fontes & De Oliveira Fontes, 2017).
- ✓ Capa delgada.

Figura 2. Tipos de células fotovoltaicas.



Fuente: Biblus editorial Team,2022.

- **Partes de las células fotovoltaicas**

Cristal de vidrio: Protector que evita que se adhiera polvo o suciedad.

Células de alto rendimiento: Elementos conectados entre sí para formar un módulo

Sellantes: Silicona que funciona como pegamento para adherir módulos PV.

Bastidor: Marco resistente que protege componentes que se encuentran en el interior.

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Caja para la conexión: Protección IP-54 como mínimo.

Diodos bypass: Realiza un corto en zonas de sombra para no perjudicar la función del módulo (Bermeo, 2019).

- **Placas fotovoltaicas**

Las placas fotovoltaicas, también conocidas como paneles solares, son dispositivos que agrupan múltiples células fotovoltaicas conectadas entre sí para convertir la luz solar en electricidad de manera más eficiente y en mayores cantidades. Entre las ventajas de las placas fotovoltaicas tenemos:

- ✓ Ahorro de combustible fósil.
- ✓ Gastos de mantenimiento bajos.
- ✓ No permite material contaminante.
- ✓ Aumento de la potencia en la planta aumentando paneles.

- **Ventajas de energía solar fotovoltaica**

- ✓ Renovable y sostenible.
- ✓ Cero emisiones de gases de efecto invernadero.
- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Reducción de costos de energía.
- ✓ Independencia energética.
- ✓ Beneficios económicos y sociales.
- ✓ Escalabilidad y modularidad.
- ✓ Aplicaciones versátiles.

- **Desventajas de energía solar fotovoltaica**

- ✓ Intensidad y variabilidad Solar.
- ✓ Costo inicial elevado.
- ✓ Almacenamiento limitado.
- ✓ Impacto ambiental de la producción.
- ✓ Uso de espacio amplio para ubicación de paneles.
- ✓ Durabilidad y vida útil.
- ✓ Intermitencia y fiabilidad de la red.
- ✓ Regulación y política.
- ✓ Hora solar pico.

- **Rentabilidad de sistemas fotovoltaicos**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

La rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos, que se refiere a la capacidad de generar un retorno económico positivo sobre la inversión inicial, depende de varios factores clave:

- ✓ Coste de instalación.
- ✓ Generación de energía.
- ✓ Tarifas de electricidad.
- ✓ Incentivos y subvenciones.
- ✓ Coste de mantenimiento.
- ✓ Valor de reventa.
- ✓ Tamaño y escala del sistema.

Inversor

Un inversor es un dispositivo electrónico especializado que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) que es utilizada por los sistemas eléctricos convencionales y la red eléctrica. Este dispositivo es fundamental para la operación de sistemas fotovoltaicos, ya que permite que la energía solar generada se utilice de manera efectiva para alimentar dispositivos, hogares, negocios y, en algunos casos, se puede verter a la red eléctrica (Open Energy Information, 2024).

- **Tipos de inversores**

Los inversores eléctricos son dispositivos esenciales en sistemas de energía renovable, especialmente en la conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC). Aquí se presentan los principales tipos de inversores:

- ✓ **Inversores de cadena (string inverters)**

Son los inversores más comunes y se utilizan en instalaciones residenciales y comerciales de pequeña a mediana escala. Convierten la corriente continua de varios paneles solares conectados en serie (cadena) en corriente alterna. Suelen estar instalados cerca de los paneles solares.

- ✓ **Inversores centrales (central inverters)**

Estos inversores son adecuados para instalaciones solares de gran escala, como plantas solares. Manejan grandes cantidades de corriente continua proveniente de múltiples cadenas de paneles solares y la convierten en corriente alterna de alta tensión para la red eléctrica.

- ✓ **Microinversores (microinverters)**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Cada panel solar en una instalación equipada con microinversores tiene su propio inversor, convirtiendo la corriente continua de cada panel directamente en corriente alterna. Esto maximiza la eficiencia y facilita el monitoreo individual de cada panel.

✓ **Optimizadores de potencia (Power optimizers)**

Aunque no son inversores en sí mismos, los optimizadores de potencia se utilizan junto con inversores de cadena o centrales para maximizar la producción de energía solar. Optimizan la corriente continua de cada panel antes de que llegue al inversor principal (Solar Energy Industries Association (SEIA), 2024).

✓ **Inversores híbridos**

Estos inversores pueden gestionar tanto la energía de paneles solares como de otras fuentes, como baterías de almacenamiento o generadores diésel. Son útiles en sistemas híbridos que combinan múltiples fuentes de energía.

Cada tipo de inversor tiene sus aplicaciones específicas según el tamaño y la complejidad de la instalación solar, así como los requisitos de eficiencia, monitoreo y gestión de la energía. La elección del tipo de inversor adecuado depende de factores como el tamaño del proyecto, la ubicación geográfica, los requisitos de salida de energía y las preferencias del usuario.

Medidores bidireccionales

Los medidores bidireccionales son dispositivos utilizados en sistemas de generación distribuida de energía, como instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica.

Un medidor bidireccional registra tanto la energía consumida de la red eléctrica como la energía generada por el sistema fotovoltaico. Puede medir el flujo de energía en ambas direcciones: desde la red hacia el consumidor (cuando se necesita más energía de la red de lo que se genera localmente) y desde el consumidor hacia la red (cuando la generación local supera el consumo).

También cumple la función de monitorear el rendimiento del sistema solar para verificar daños en tiempo real y medir el ahorro de energía (Acción Solar, 2024).

Metodología.

El proyecto investigativo se desarrolló a cabo de manera planificada y organizada, donde se pudo recopilar información del recurso meteorológico y solar incidente, el análisis de las necesidades energéticas (eléctricas y térmicas), la observación y medición física en la azotea para adecuar el

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

espacio donde se va implantar la instalación integrada solar fotovoltaica-térmica en el Grand Hotel Loja.

El tema de investigación utiliza un enfoque cualitativo y cuantitativo. En esta sección, se utilizarán los métodos y fórmulas correspondientes para realizar cálculos precisos sobre las mediciones realizadas y obtener resultados puntuales.

Para llevar a cabo este análisis, se necesitaron de los siguientes recursos y materiales para su desarrollo:

Biblioteca

- ✓ Repositorios.
- ✓ Artículos de revistas.
- ✓ Libros.
- ✓ Direccionamiento web de páginas oficiales.

Oficina

- ✓ Ordenador.
- ✓ Apuntes.

Software

- ✓ PVSyst 7.2.
- ✓ SunEarthTools.
- ✓ AutoCAD.
- ✓ Google Maps.
- ✓ ArcGIS.

Equipos

- ✓ Dron.
- ✓ Estación total.

Las Variables aplicadas a este tema estudio las dividimos de la siguiente manera:

- ✓ **Variables dependientes:** Producción de energética eléctrica y térmica para ACS.
- ✓ **Variables independientes:** Radiación solar, temperatura, factor económico.

Procedimiento

Se procede con la recopilación de información para dimensionar la demanda energética y se aplicó un análisis estadístico sobre las personas que se han alojado en el hotel mediante una tabulación en sus registros, se obtuvo un número promedio diario de cuarenta y tres personas, posterior a esto, se

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

determinó por piso las instalaciones en donde se analizó que tipos de artefactos eléctricos usados frecuentemente por los huéspedes del hotel para poder así establecer la demanda del consumo de energía eléctrica, así mismo, se observó que emplean para el calentamiento del agua de uso sanitaria cilindros de GLP de 15 kg que suministran a dos termotanques con una capacidad de 96 litros y dos calentadores eléctricos de 450 litros para el uso de ducha y lavamanos de agua caliente.

Se realizó un levantamiento topográfico y medición del área proyectada para la ubicación de los paneles solares, utilizando un dron para obtener tomas aéreas y recopilar información precisa mediante georreferenciación. Esto permitió establecer las coordenadas de los vértices del área de la azotea del hotel. Con esta información, se desarrolló la metodología de cálculo para el sistema fotovoltaico y el sistema de agua caliente sanitaria con el uso de paneles solares híbridos, integrando ambos sistemas fotovoltaico-térmico.

Para el análisis y simulación del sistema fotovoltaico, se empleó el software PVSyst 7.2, mientras que el método de F-chart se utilizó para el sistema térmico de ACS. Además, se realizó una valoración ambiental de las emisiones de CO₂, considerando el consumo de energía eléctrica y gas GLP mediante las demandas de consumo eléctrico y el uso de cilindros de 15 kg. Finalmente, se llevó a cabo una evaluación técnico-económica de la rentabilidad del sistema integrado fotovoltaico-térmico.

Metodología de cálculo para sistema fotovoltaico

Para dimensionar correctamente un sistema fotovoltaico conectado a la red para el autoconsumo eléctrico del Gran Hotel Loja, es necesario realizar los cálculos pertinentes utilizando las fórmulas matemáticas presentadas en los siguientes requerimientos:

- **Angulo óptimo de inclinación de los paneles**

El ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares es crucial para maximizar la captación de energía. En general, el ángulo de inclinación depende de la latitud del lugar, y se puede calcular con la ecuación 1 (Pereira, Martins, & Abreu, 2017, págs. 68-76).

$$\beta = 3,7 + 0,69 * \Phi \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Φ : Latitud del lugar (°).

β : Angulo de inclinación óptimo (°).

- **Demanda eléctrica del hotel**

Para realizar el cálculo de la demanda eléctrica se utiliza la ecuación 2:

$$D. P. = \frac{CEP * \frac{KWh}{mes} * FS}{DM * RS * P} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

DP: Demanda de Potencia (W).

CEP: Consumo de Energía Promedio (kWh/mes).

FS: Factor de Seguridad (%).

DM: Días del mes (días).

RS: Radiación Solar ($\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$).

P: Pérdidas (%).

Las pérdidas corresponden principalmente a las que genera el inversor, el cableado eléctrico, además se debe aplicar un factor de seguridad del 20 % a la energía demandada para suplir pérdidas por polvo y suciedad, reflectancia angular y espectral, sombras, y otras.

- **Área útil del tejado del hotel**

El área total del tejado no se puede disponer del 100 % porque se debe garantizar una zona de tránsito para mantenimientos e instalación brindando seguridad para los técnicos, es recomendable disponer de un 80 % del área total (Muneer, Asif, & Munawwar, 2018, págs. 11-19).

Por tanto, el área útil sería:

$$\text{Area útil} = \text{Area total} * 0,80 \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{ecuación 3})$$

- **Cálculo de paneles solares**

Para realizar el cálculo del número de paneles se utiliza la ecuación 4:

$$NP = \frac{P_{\text{GPV}}(\text{W})}{P_{\text{PV}}(\text{W})} \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

NP: Número de paneles.

P_{GPV} : Potencia del generador fotovoltaico (W).

P_{PV} : Potencia nominal del panel (W).

Configuraciones eléctricas del generador fotovoltaico

- **Conexión serie paralelo**

Para realizar la conexión serie paralelo va a depender del voltaje y corriente máxima que puede soportar el inversor elegido para este proyecto.

- **Voltaje del generador fotovoltaico**

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Para realizar el cálculo del voltaje del generador fotovoltaico se utiliza la ecuación 5:

$$V_{GE} = N_{PS} * V_{PV} \text{ (V)} \quad \text{(ecuación 5)}$$

Donde:

V_{GE} : Voltaje del generador fotovoltaico (V).

N_{PS} : Número de paneles en serie.

V_{PV} : Voltaje nominal del panel (V).

- **Intensidad del generador fotovoltaico**

Para realizar el cálculo de la intensidad del generador fotovoltaico se utiliza la ecuación 6:

$$I_{GE} = I_G * N_G * N_{INV} \text{ (A)} \quad \text{(ecuación 6)}$$

Donde:

I_G : Corriente del generador fotovoltaico (A).

I_G : Corriente de grupo de paneles en serie (A).

N_G : Número de grupos de paneles en serie.

N_{INV} = Número de inversores.

- **Cálculo del inversor**

Para realizar el cálculo de la potencia del inversor se utiliza la ecuación 7:

$$P_{INV} = I_{GE} * V_{GE} \text{ (W)} \quad \text{(ecuación 7)}$$

Donde:

P_{INV} : Potencia del inversor (W).

I_{GE} : Corriente del generador fotovoltaico (A).

V_{GE} : Voltaje del generador fotovoltaico (V).

- **Cálculo de los conductores eléctricos**

Para calcular la sección de los conductores se utiliza la ecuación 8:

$$\Delta V = 2 * \rho * I * \left(\frac{L}{A}\right) \quad \text{(ecuación 8)}$$

Donde se detalla cada uno de los parámetros de la ecuación:

ρ : Resistividad en ohmios por metro ($Cu = 1,7 \times 10^{-8} \Omega/m$).

ΔV : Caída de voltaje en voltios (V).

A : Sección transversal del conductor en metros cuadrado (m^2).

L : Longitud del conductor en metros (m).

I : Corriente que fluye por el conductor en amperios (A).

- **Cálculo de protecciones**

- **Protecciones en DC**

Para realizar el cálculo de las protecciones en DC se utiliza la ecuación 9:

$$I_{DC} = \frac{P_{DC}}{V_{DC}} \text{ (A)} \quad \text{(ecuación 9)}$$

Donde:

I_{DC} : Corriente en DC (A).

P_{DC} : Potencia en DC (W).

V_{DC} : Voltaje en DC (V).

Para este sistema se debe contemplar protecciones en corriente continua como fusibles en la salida de los grupos de paneles fotovoltaicos.

- **Protecciones en AC**

Para realizar el cálculo de las protecciones en AC se utiliza la ecuación 10:

$$I_{AC} = \frac{P_{AC}}{V_{AC}} \text{ (A)} \quad \text{(ecuación 10)}$$

Donde:

I_{AC} : Corriente en AC (A).

P_{AC} : Potencia en AC (W).

V_{AC} : Voltaje en AC (V).

Para este sistema se debe contemplar protecciones para corrientes alterna como Termomagnéticos en la salida del inversor.

- **Pérdidas debido a la orientación e inclinación**

Las pérdidas debido a la orientación e inclinación siempre deben ser menores del 10 % y su cálculo se deriva en función a:

Angulo azimut: Es la dirección por la cual la brújula señala donde sale la luz del sol, y suele variar varios días.

Ángulo de inclinación: Varía según la posición geográfica, se forma de la captación y el plano horizontal.

Para determinar el ángulo de azimut del panel solar híbrido, se calculan los límites de inclinación aceptables utilizando las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima. Los valores obtenidos son válidos para una latitud de 41 °. Se corrigen los límites y la inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar y la correspondiente a 41 °, para lo cual se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

$$\text{Inclinación Max.} = \beta - (41^\circ - \varphi) \quad (\text{ecuación 11})$$

$$\text{Inclinación Min.} = \beta - (41^\circ + \varphi) \quad (\text{ecuación 12})$$

Como método de verificación cuando los datos se encuentren cerca del límite, se utilizarán la ecuación 13:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * [1.2 \times 10^{-4} * (\beta - \Phi)^2] \quad (\text{ecuación 13})$$

$$\text{Para } \beta \leq 15^\circ$$

En un sistema fotovoltaico térmico instalado en Ecuador, la inclinación recomendada sería entre 0° y 5° . Aunque cero grados no es lo óptimo, porque se provocaría acumulación de suciedad, por ello, mínimo sería de 5° de inclinación en zonas ecuatoriales (Wiley Online Library, 2013).

Sin embargo, para ilustrar la inclinación de los paneles solares se detallan en la Tabla 9:

Tabla 1. Cuadro de inclinación de paneles solares.

Latitud del Lugar (°)	Inclinación Recomendado (°)
0 a 15	15
15 a 25	La misma latitud

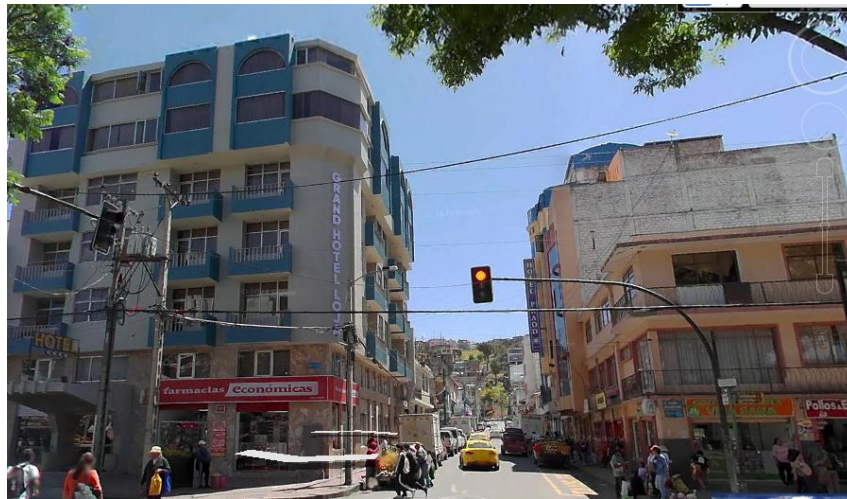
Sombras

Cuando el lugar de instalación del sistema tiene sombras causadas por obstáculos, elementos arquitectónicos o naturales, estas obstrucciones pueden impedir el aprovechamiento óptimo de la radiación solar incidente sobre la superficie de captación. Por ello, es fundamental considerar estos obstáculos al evaluar el potencial real del sistema, ya que la posición del sol cambia durante el día.

En nuestro proyecto, el hotel está rodeado por edificaciones de menor altura que no proyectan sombras sobre el área de instalación de los paneles solares, como se puede observar en la Figura 23.

Figura 3. Vista frontal del Grand Hotel Loja y edificaciones aledañas.

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador



Fuente: Google Maps Pro, 2024.

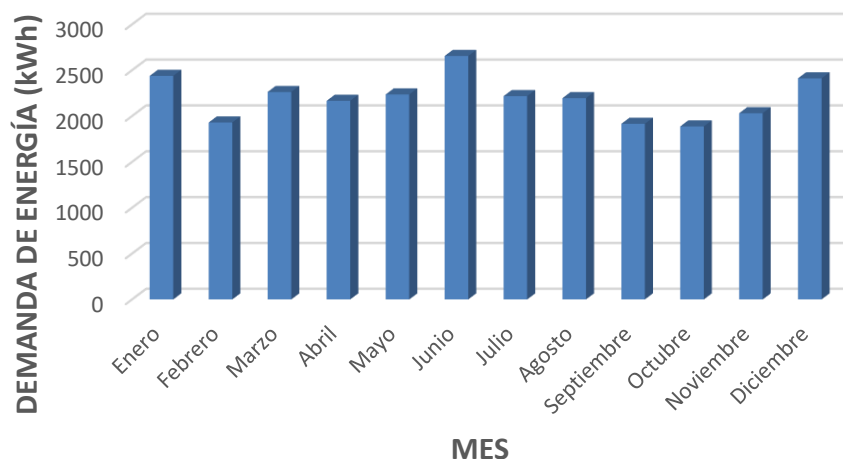
Discusión de resultados.

- **Demanda de energía para el sistema fotovoltaica**

De acuerdo con las planillas de consumo eléctrico correspondientes al año 2023, proporcionadas por el hotel, se calculó un promedio de consumo obteniendo una demanda de energía de 2195,92 kWh mensual. Considerando las pérdidas generadas principalmente por el inversor y el cableado eléctrico, y aplicando un factor de seguridad del 20% para compensar pérdidas por polvo y suciedad, reflectancia angular, espectral y sombras, se obtuvo una potencia demandada de 25180 W, que será nuestro dato de entrada para el diseño fotovoltaico.

Figura 4. *Demanda de energía mensual del hotel.*

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador



Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En función de los cálculos de las variables y parámetros de entrada para el diseño de nuestro sistema, presentamos un resumen de los resultados en la Tabla 26.

Tabla 2. Resultados de parámetros de dimensionamiento de sistema fotovoltaico.

Referencia	Cantidad	Unidades
Demanda de Energía Hotel	2195,92	kWh/mes
Demanda de Potencia Hotel	25180	W
Voltaje Generador Fotovoltaico	718,38	V
Corriente Generador Fotovoltaico	35,04	A
Potencia Generador Fotovoltaico	25212	W
Paneles Solares 350 W	72	Glb
Área de ocupación de paneles	141,1	m ²
Inversor Trifásico GroWatt	30000	W
Conductores eléctricos para DC	4	mm ²
Conductores eléctricos para AC	20	mm ²
Portafusibles 2P y fusibles DC	10	A
Interruptor Magnetotérmico 3P	70	A
Interruptor Diferencial 4P	70	A
Medidor Bidireccional	110-220	V
Angulo de inclinación de paneles	20,0	°

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Rendimiento del sistema fotovoltaico	85,7	%
Producción anual de energía del sistema fotovoltaico	32814,22	kWh

Equipamiento del sistema fotovoltaico

Los equipos y materiales que se van usar en nuestro proyecto de acuerdo a los cálculos de diseño y cumpliendo con la necesidad del hotel lo presentamos en la Tabla 27.

Tabla 3. Equipos del sistema fotovoltaico.

Cantidad	Equipos	Características
72	Paneles Solar	Monocristalina marca OSDA 350 W
1	Inversor trifásico	GroWatt MAC30KTL5-XL 220V 3Ø
400	Cables DC	XHHW 4 mm ² 1KV negro
400	Cables DC	XHHW 4 mm ² 1KV rojo
25	Cables AC	THHW 20 mm ² 0,6KV
8	Portafusibles	2P 10A 1000Vdc
8	Fusibles	10A 1000Vdc
2	Interruptor Magnetotérmica	3P 70A 600Vac
1	Interruptor Diferencial	4P 70A 600Vac
1	Medidor Bidireccional	110VAC - 220Vac
1	Kit de estructura soporte panel	Material anticorrosivo

Análisis económico del sistema fotovoltaico

El análisis económico del sistema fotovoltaico para el Grand Hotel Loja se centra en evaluar la viabilidad financiera del proyecto, considerando tanto los costos iniciales como los ahorros a largo plazo. A continuación, se presentan los resultados de este análisis en la Tabla 29.

Tabla 4. Resultados del análisis económico.

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

Datos	Cantidad	Unidad
Producción Anual Fotovoltaico	32683	kWh
Descenso Producción	0,50	%
Coste Total	40208,25	Dólares
Precio kWh	0,28	Dólares
Precio Excedente	0,033	Dólares
Coste Explotación	1000	Dólares
Coste Mant.	1	%
Interés	3	%
TIR 25 años	15%	-

Los resultados demuestran que esta inversión no solo proporciona beneficios económicos, sino también ventajas intangibles. Se evidencia una alta factibilidad económico-financiera, lo que hace que la implementación del sistema fotovoltaico-térmico sea altamente atractiva.

El proyecto presenta un TIR del 15% a lo largo de sus 25 años de vida útil, un VAN positivo y un IR del 2,19 % esto confirma que el proyecto es económicamente rentable y competitivo.

Conclusiones

- El alcance de este trabajo es abordar el diseño de un sistema fotovoltaico para el Grand Hotel Loja, enfocándose en las demandas energéticas específicas del negocio, como el consumo eléctrico. El propósito es introducir una tecnología innovadora que no solo optimice los recursos financieros destinados a energía, sino que también promueva prácticas responsables y sostenibles en el uso de energías renovables, como es la solar. La principal aportación radica en contribuir positivamente al medio ambiente a través de la reducción de emisiones de GEI y fomentar la autonomía energética durante el día, aplicado al sector hotelero, mediante una solución eficiente.
- Se identificó la zona climática específica en base al recurso solar para asegurar el diseño eficiente de sistemas fotovoltaicos que satisfagan las necesidades energéticas, como la electricidad. Según los registros meteorológicos evaluados, la irradiación solar incidente promedio es de 4,08 kWh/m² día, con al menos 4,5 horas de sol diarias para garantizar el funcionamiento continuo del sistema, clasificando así la zona de la

ciudad de Loja como tipo 2. Esta caracterización climática tiene el potencial de beneficiar otras investigaciones y aplicaciones en sistemas similares.

- Se diseñó una propuesta técnica para el sistema fotovoltaico para el Grand Hotel Loja, con una selección de equipos y accesorios para maximizar la eficiencia y optimizar los recursos energéticos. La propuesta incluye paneles fotovoltaicos monocristalinos marca OSDA de 350 vatios. Estos equipos incorporan tecnologías avanzadas que aseguran un rendimiento óptimo bajo las condiciones específicas de operación del hotel, garantizando durabilidad y eficacia a largo plazo.
- El sistema solar fotovoltaico genera anualmente 32814,22 kWh, superando la demanda de consumo eléctrico de 26351 kWh. Este excedente puede ser inyectado a la red de la empresa eléctrica proveedora o utilizado para compensar el consumo energético durante períodos nocturnos o de bajo recurso solar.
- El sistema propuesto es técnicamente viable y rentable desde la perspectiva económica. A pesar de que la inversión inicial es significativa, se proyecta un periodo de recuperación de 8.5 años en relación con la vida útil de los paneles fotovoltaicos, que es de 25 años o más con un adecuado mantenimiento. Además, se ha calculado un TIR del 15% y un índice de rentabilidad de 2,19 asegurando que los propietarios del hotel recuperen su inversión y que el proyecto sea sostenible a largo plazo. Este enfoque permitirá al hotel beneficiarse de energía gratuita, lo que se traducirá en una mejora notable en su rentabilidad al reducir significativamente las facturas de electricidad, optimizando así los recursos financieros destinados a energía.
- La implementación de estos sistemas renovables y novedosos en la sociedad no solo promueve la adopción de tecnologías solares, sino que también impulsa la economía local al fomentar industrias y negocios dedicados a estos sistemas. Requiere mano de obra especializada para la instalación y mantenimiento, lo cual genera empleo y contribuye al desarrollo regional.

La implementación del sistema fotovoltaico en el Grand Hotel Loja no solo establece un modelo pionero, sino que también ofrece una base sólida para la investigación aplicada en energías renovables. Este enfoque no solo impulsa el avance del conocimiento en el diseño e integración de sistemas solares en entornos comerciales, sino que también fortalece el compromiso del hotel con la sostenibilidad y la innovación energética.

Referencias

- Acción Solar . (2024). Cómo Funcionan Los Medidores Bidireccionales. Obtenido de <https://accion-solar.org/como-funcionan-los-medidores-bidireccionales/>
- Alarcón, A. M. (2019). Energía Solar Fotovoltaica. España: Elearning S.L.
- Ávila, S. S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista científica , 256.
- Bermeo, E. U. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico. Cuenca : Universidad Católica de Cuenca.
- Brealey, R., Stewart, M., & Allen, F. (2020). Principles of Corporate Finance. Mc Graw Education.
- Cajo, W. E. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador. 2020: Universidad Internacional SEK.
- Celec EP. (17 de Agosto de 2021). Ecuador actualiza su Plan Maestro de Electricidad para impulsar inversiones en Energías Renovables No Convencionales. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/noticias-noticias/ecuador-actualiza-su-plan-maestro-de-electricidad-para-impulsar-inversiones-en-energias-renovables-no-convencionales-por-cerca-de-usd-2-200-millones/#:~:text=Es%20importante%20mencionar%20que%20hasta>,
- Falcat . (2024). Materiales de Fabricación de Estructuras Fotovoltaicas.
- Fontes, F. d., & De Oliveira Fontes, L. Á. (2017). Estudio del desempeño de un sistema híbrido fotovoltaico termico. Rio de Janeiro: Universidad Federal de Rio Grande de Norte .
- IDAE. (01 de Junio de 2010). Guía técnica de agua caliente sanitaria central. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf
- International Energy Agency . (2014). Technology Roadmap Solar Heating and Cooling. IEA, 7-44.
- Lqbal. (1983). An Introduction to Solar Radiation. Academic Press.
- Mora, J. A., Cortés Borray, A., Balaguera Cañola, D., & Urueña Saavedra, M. (2014). Aplicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: estado del arte. Tecnura, 157-160.
- Muneer, Asif, M., & Munawwar, S. (2018). Design considerations for building-integrated photovoltaics: Occupant safety and maintenance access. Renewable Energy, 11-19-122.
- Open Energy information. (18 de enero de 2024). Inversor (dispositivo). Obtenido de <https://openei.org/wiki/Inverter>

Diseño de un sistema fotovoltaico con conexión a red para el autoconsumo eléctrico en un hotel de Loja Ecuador

- Pereira, Martins, F. R., & Abreu, S. L. (2017). The effect of tilt angle on the performance of photovoltaic panels. *Solar Energy*, 68-76.
- Puig, P., & Jofra, M. (2009). Energía solar fotovoltaica. En H. comunicación, *Energía renovables para todos* (págs. 2-3). Madrid: Fundación de energía de la comunidad de Madrid.
- Pvsyst. (2023). Requerimientos de instalación. Obtenido de <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>
- Redacciones. (18 de JUNIO de 2019). Cubre pueblos. Obtenido de *Célula fotovoltaica*: <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/celula-fotovoltaica/>
- Solar Energy Industries Association (SEIA). (2024). Inverters. Obtenido de <https://www.seia.org/initiatives/inverters>
- Stull, R. (2020). *Meteorology for Scientists and Engineers*. Brooks/Cole.
- Weather Spark. (2022). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Loja Ecuador. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19339/Clima-promedio-en-Loja-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20Loja%2C%20la%20temporada%20de,m%C3%A1s%20de%2023%20%C2%B0C.>
- Wielicki, Barkstrom, B., Harrison, E., & Cooper, J. E. (2014). Clouds and Earth Radiant Energy System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 853-868.
- Wiley Online library. (2 de abril de 2013). *Ingeniería Solar de Procesos Térmicos*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118671603>
- Ministerio de turismo. (2024). El nuevo Ecuador: obtenido de El turismo interno en el Ecuador aporta 1.100 millones de dólares a la economía. Obtenido de <https://www.turismo.gob.ec/el-turismo-interno-en-el-ecuador-aporta-1-100-millones-de-dolares-a-la-economia-3/>.