

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO MARIANO SAMANIEGO



CARRERA DE ELECTRICIDAD

Trabajo de Fin de Titulación para la obtención del título en Tecnólogo Superior en Electricidad.

Tema: Análisis de factibilidad de optimización del sistema fotovoltaico OFF GRID del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga.

Trabajo de tesis presentado por:	Soto Bermeo, Jorge Rene Rodríguez Vicente, Pablo Antonio
Director/a:	Sánchez López, Karla Fernanda Ing.
Fecha:	23/10/2024

Cariamanga - Loja - Ecuador

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor sobre el tema: **“Análisis de factibilidad de optimización del sistema fotovoltaico OFF GRID del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga”**, de los señores. **Jorge Rene Soto Bermeo y Pablo Antonio Rodríguez Vicente**. Egresados de la carrera de Tecnología en **“ELECTRICIDAD”** del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego, certifico que dicho trabajo de graduación cumple con todos los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, para su correspondiente revisión, estudio y calificación.

Cariamanga, 23 de octubre del 2024



Ing. Karla Fernanda Sánchez López

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los criterios emitidos en el trabajo de proyecto de titulación “**Análisis de factibilidad de optimización del sistema fotovoltaico OFF GRID del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga**”, como también los contenidos descritos en este trabajo son de responsabilidad de los autores.

Nosotros, **Jorge Rene Soto Bermeo y Pablo Antonio Rodríguez Vicente**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada; Así, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son de responsabilidad de los autores.



Jorge Rene Soto Bermeo



Pablo Antonio Rodríguez Vicente

AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Autorizamos al Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego, para que haga uso de este proyecto de tesis/investigación un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, siguiendo estrictamente las normas de la institución.

Cedemos los derechos del trabajo de fin de titulación para fines de difusión pública, creación de artículos académicos, respetando el principio de la Educación Superior de no apremiar el beneficio económico y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Cariamanga, 01 de octubre del 2024

AUTORES,



Jorge Rene Soto Bermeo

CI. 1105215030



Pablo Antonio Rodríguez Vicente

CI. 1106071143

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado con mucho cariño y amor a toda mi familia, quienes supieron brindarme su apoyo incondicional siendo mi motivación más grande para alcanzar mis metas proyectadas, y de manera muy especial a mi madre quien ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores que me han incentivado a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Pablo Antonio Rodríguez Vicente

Este trabajo va dedicado con inmenso amor a Dios por ser quien me bendice cada día y me ha permitido culminar este objetivo propuesto en mi vida.

A mi esposa principalmente por el apoyo incondicional en todo este proceso. A mis hijos que han sido mi mayor motivación para alcanzar este objetivo. A mi madre por inculcarme buenos valores, sus enseñanzas y consejos.

Jorge Rene Soto Bermeo

AGRADECIMIENTO

Primeramente, dar gracias a Dios y a la Virgencita por brindarme vida, salud, sabiduría e inteligencia cada día, por permitirme superarme de forma académica y personal. Por otra parte, agradezco a mi humilde familia porque gracias a su apoyo, sus consejos y su confianza hicieron que esté cumpliendo mi objetivo. De igual manera al INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR “MARIANO SAMANIEGO” donde obtuve la oportunidad de prepararme académicamente como profesional. A todos los docentes quienes compartieron sus ideas y conocimientos día a día en las aulas y espacios de la institución.

Pablo Antonio Rodríguez Vicente

Mi agradecimiento especial al Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y culminar con éxito mi carrera profesional. A sus autoridades y docentes por brindarme sus sabios conocimientos que hicieron posible mi formación integral.

Finalmente agradezco a familiares y amigos que de una u otra manera me brindaron su apoyo para concluir con esta meta propuesta.

Jorge Rene Soto Bermeo

RESUMEN

El presente estudio se centra en el análisis de factibilidad y optimización del sistema fotovoltaico OFF-GRID en el laboratorio de electricidad del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego, ubicado en la ciudad de Cariamanga. Esta investigación se basa en un estudio técnico-económico, cuyo objetivo es determinar los costos y beneficios de la implementación de energía solar. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de estudios fotovoltaicos relacionados con la demanda y factibilidad, lo que permitió establecer una fundamentación teórica con carácter cuantitativo. Además, se recopilaron datos de la radiación solar durante tres meses consecutivos mediante la estación meteorológica de la institución.

Los resultados obtenidos indican que la demanda eléctrica del sistema fotovoltaico OFF-GRID si es óptima en las condiciones actuales, debido a su vida útil y los factores de la intensidad de la radiación solar. En cuanto a la factibilidad, se encontró que el costo de inversión y mantenimiento del sistema no supera los beneficios económicos y energéticos a largo plazo. Además, se evidenció que las diferencias económicas entre costo y demanda si son lo suficientemente significativos para justificar una inversión en la actualidad.

Este análisis brinda una base sólida para la toma de decisiones sobre la implementación del sistema fotovoltaico, ofreciendo sugerencias para su diseño y técnicas para maximizar su rentabilidad y eficiencia, sirviendo como guía para proyectos similares en la región, al fomentar la sostenibilidad energética local y el uso de energías renovables.

Palabras Claves: Estación meteorológica, radiación, fotovoltaico, energía, OFF-GRID.

ABSTRACT

This study focuses on the feasibility analysis and optimization of the OFF-GRID photovoltaic system in the electricity laboratory of the Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego, located in the city of Cariamanga. This research is based on a technical-economic study whose objective is to determine the costs and benefits of the implementation of solar energy. For this purpose, a bibliographic review of photovoltaic studies on demand and feasibility was carried out, which allowed to establish a theoretical basis with a quantitative character. In addition, solar radiation data were collected for three consecutive months using the institution's meteorological station.

The results obtained indicate that the electrical demand of the OFF-GRID photovoltaic system is optimal under the current conditions, due to its useful life and solar radiation intensity factors. In terms of feasibility, it was found that the investment and maintenance costs of the system do not exceed the economic and energy benefits in the long term. In addition, it was found that the economic differences between cost and demand are significant enough to justify an investment at this time.

This analysis provides a solid basis for decision making regarding the implementation of the photovoltaic system, offers suggestions for its design and techniques to maximize its profitability and efficiency, and serves as a guide for future projects.

Keywords: Weather station, radiation, photovoltaic, energy, OFF-GRID.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
DECLARATORIA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
INDICE DE CONTENIDOS	8
INDICE DE TABLAS.....	10
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE ECUACIONES	13
CAPÍTULO I.....	14
1.1 Introducción.....	15
1.2 Tema	16
1.3 Planteamiento del problema.....	17
1.4 Objetivos	18
1.5 Justificación.....	19
CAPÍTULO II.....	20
2.1 Metodología de la Investigación	21
2.2 Marco teórico o estado del arte.....	22
2.3 Elementos y dispositivos	38
CAPÍTULO III.....	42
3.1 Materiales y Métodos	43
3.2 Recopilación de Datos	46
3.3 Cálculo para la implementación del sistema fotovoltaico.....	62
3.4 Proponer mejoras	65
CAPÍTULO IV.....	67
4.1 Análisis de resultados.....	68
4.2 Discusión	75
CAPITULO V.....	77

5.1 Conclusiones.....	78
5.2 Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos mes de junio	47
Tabla 2 Datos mes de Julio.....	49
Tabla 3 Datos mes de agosto	50
Tabla 4 Datos obtenidos del laboratorio del ISTMS	51
Tabla 5 Datos de cargas del canchón	53
Tabla 6 Datos de cargas del Laboratorio 1 Mecánica.....	53
Tabla 7 Datos de cargas del Comedor.....	54
Tabla 8 Datos de cargas del Laboratorio 2 de Mecánica	54
Tabla 9 Datos de cargas de La Oficina 1	54
Tabla 10 Datos de cargas de La Oficina 2	55
Tabla 11 Datos de cargas de La Aula 1	55
Tabla 12 Datos de cargas de La Aula 2	56
Tabla 13 Datos de cargas del Laboratorio 3 de Mecánica	56
Tabla 14 Datos de cargas del Laboratorio 1 Electricidad.....	56
Tabla 15 Datos de cargas del Laboratorio 2 Electricidad.....	57
Tabla 16 Datos de cargas de los Baños	57
Tabla 17 Costo del consumo eléctrico del laboratorio del ISTMS	72
Tabla 18 Costo del consumo al mes y anual al implementar el sistema OFF-GRID	73
Tabla 19 Presupuesto de Implementación del Sistema	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Geometría Solar	22
Figura 2 Recorrido del sol en el cielo	23
Figura 3 Altura solar y Azimut solar.....	23
Figura 4 Movimiento aparente del sol a lo largo del día.	24
Figura 5 Movimiento aparente del Sol a lo largo del año.....	25
Figura 6 Movimiento del sol en el cielo.....	26
Figura 7 Panel bajo la lluvia.....	27
Figura 8 Insolación Difusa Anual Promedio	27
Figura 9 Insolación Directa Anual Promedio	28
Figura 10 Insolación Global Anual Promedio	28
Figura 11 Estación meteorológica La Nubia	30
Figura 12 Esquema general de una estación meteorológica	31
Figura 13 Curva Corriente vs Voltaje; Potencia vs Voltaje para una celda	33
Figura 14 Gráfica de corriente, potencia y voltaje de una celda fotovoltaica.	35
Figura 15 Sistema fotovoltaico autónomo aislado de la red (OFF- GRID).....	36
Figura 16 Esquema de un sistema fotovoltaico.....	37
Figura 17 Panel solar de silicio monocristalino	38
Figura 18 Panel solar de silicio policristalino.....	38
Figura 19 Regulador de carga.....	39
Figura 20 Batería.....	40
Figura 21 Inversor de corriente.....	41
Figura 22 Soporte: Base Donde Se Colocarán Los Paneles Solares	43
Figura 23 Panel Solar Monocristalino	43
Figura 24 Panel Solar Policristalino	44
Figura 25 Cableado: Diámetro - Flexibilidad - # De Filamentos, Etc.....	44
Figura 26 Regulador: PWM – MPPT	44
Figura 27 Baterías: 12V - 24V / 100AH - 250AH	45

Figura 28 Inversor	45
Figura 29 Protectores Y Disyuntores: Evita Sobrecargas Y Daños	46
Figura 30 Horas Solar Pico (HSP) durante un día del mes de Junio	68
Figura 31 Horas Solar Pico (HSP) durante un día del mes de Julio	69
Figura 32 Horas Solar Pico (HSP) durante un día del mes de agosto	70
Figura 33 Consumo eléctrico del laboratorio del ISTMS	71
Figura 34 Graficas de la radiación solar	85
Figura 35 Datos numéricos en wh/m ² de la radiación solar	85
Figura 36 Grafica de resultados de la radiación solar.....	86
Figura 37 Estación Meteorológica del ISTMS	86
Figura 38 Estación Meteorológica del ISTMS	87
Figura 39 Imagen de recolección de información del ingreso al laboratorio del ISTMS.....	87
Figura 40 Imagen de recolección de información del canchón de mecánica del ISTMS.....	88
Figura 41 Imagen de recolección de información del laboratorio de electricidad del ISTMS.....	88
Figura 42 Imagen de recolección de información del elevador de mecánica del ISTMS	89
Figura 43 Imagen de recolección de información del compresor del ISTMS.....	89

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Punto máximo de potencia	33
Ecuación 2. Factor de llenado	34
Ecuación 3. Promedio	48
Ecuación 4. Hora pico solar	48
Ecuación 5. Potencia de intensidad	58
Ecuación 6. Potencia total.....	59
Ecuación 7. Potencia total de cargas.....	59
Ecuación 8. Potencia total de cargas especiales	60
Ecuación 9. Potencia total del sistema.....	61
Ecuación 10. Potencia fotovoltaica	62
Ecuación 11. Número de paneles.....	63
Ecuación 12. Número de baterías	63
Ecuación 13. Intensidad de la batería	63
Ecuación 14. Amperaje del regulador de carga.....	64
Ecuación 15. Cálculo de inversor	64
Ecuación 16. Sistema de protección	65
Ecuación 17. Tasa TIR.....	73

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

El Ecuador depende en gran medida de la hidroelectricidad, es decir, de la energía hídrica. Sin embargo, actualmente enfrentamos un déficit en generación eléctrica debido a la sequía que afecta el caudal de los ríos que alimentan a los diferentes proyectos hídricos. Además, la falta de mantenimiento en los últimos años ha reducido la eficiencia de estos proyectos, impidiendo que operen al 100%.

Como resultado la ciudadanía enfrenta racionamientos de electricidad de más de 8 horas al día, lo que dificulta diversas actividades que requieren electricidad. Ante esta problemática, surge la necesidad de explorar otras fuentes de energías renovables que no dañen al medio ambiente, y reduzcan la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

Dentro de las fuentes de energías renovables, se encuentra la energía solar, producida mediante paneles solares. Estos paneles están compuestos por celdas fotovoltaicas que captan la energía proveniente del sol y la convierte en corriente eléctrica. Este tipo de energía renovable es amigable con el medio ambiente, ya que no genera emisiones contaminantes ni residuos peligrosos.

El Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego ISTMS en la ciudad de Cariamanga, cantón Calvas, provincia de Loja, cuenta con los laboratorios de electricidad, los cuales actualmente utilizan un sistema fotovoltaico OFF-GRID para generar su propia energía eléctrica. Sin embargo, existe la necesidad de evaluar la viabilidad de optimizar este sistema para mejorar su eficiencia y reducir los costos energéticos.

Teniendo en cuenta la siguiente metodología investigativa, recuperaremos datos reales de la radiación solar de la ciudad de Cariamanga mediante la estación meteorológica. Además, realizaremos un análisis exhaustivo de los datos obtenidos para evaluar la radiación solar y determinar la factibilidad, eficiencia y optimización del sistema. Como resultado del mismo la energía solar tendrá en un futuro mayor preponderancia, ya que podrá verse favorecida significativamente por técnicas de optimización, es decir el diseño de proyectos más rentables y amigables con el medioambiente.

1.2 Tema

Análisis de factibilidad de optimización del sistema fotovoltaico OFF-GRID del Instituto Superior

Tecnológico Mariano Samaniego mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga

1.3 Planteamiento del problema

Ante la actual escasez de generación energética en nuestro país, el Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego ISTMS ha adoptado una solución sostenible como el sistema fotovoltaico OFF-GRID para generar su propia energía eléctrica y minimizar su impacto ambiental. Sin embargo, la falta de datos meteorológicos precisos en el momento de la implementación del sistema fotovoltaico limitó su capacidad para operar con eficiencia óptima.

El sistema no está diseñado para satisfacer la demanda energética total de las instalaciones del laboratorio del ISTMS, lo que conlleva una reducción en la eficiencia y un abastecimiento parcial, haciendo necesario recurrir a la red eléctrica nacional. Además, la falta de información precisa sobre la radiación solar en la zona impide optimizar el sistema, lo que generando dificultades para expandirlo o mejorar su eficiencia, y aumentando la probabilidad de fallas y gastos de mantenimiento.

¿Es factible el uso de sistemas fotovoltaicos OFF-GRID en la ciudad de Cariamanga?

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

Realizar un estudio técnico-económico para la implementación del sistema fotovoltaico OFF-GRID en el laboratorio del ISTMS.

1.4.2 *Objetivos Específicos.*

Recopilar datos de la radiación solar, obtenidos de la estación meteorológica en la zona

Realizar el estudio de la demanda eléctrica del laboratorio.

Diseñar y calcular el sistema fotovoltaico para la red de iluminación y circuitos derivados hacia las oficinas del laboratorio.

Realizar el análisis costo-beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico para el laboratorio.

1.5 Justificación

Debido a la alta demanda de energía en la actualidad, la poca eficiencia del servicio eléctrico y la alta contaminación al medioambiente que produce la energía no renovable, nos vemos en la necesidad de analizar si es factible la optimización de un sistema fotovoltaico OFF-GRID en el ISTMS, mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga.

Convirtiéndose en una alternativa favorable frente a otros sistemas de generación no convencional, permitiendo conocer si es factible la implementación de estos sistemas, si las cargas en los circuitos están bien dimensionadas, y si existe alguna fuga de cableado eléctrico; con ello nos permitirá determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos que cubra las necesidades del mismo y sea amigable con el medioambiente.

El desarrollo del presente trabajo tiene el objetivo de analizar la radiación solar en Cariamanga y la optimización del sistema fotovoltaico OFF-GRID para el laboratorio de electricidad del ISTMS que tendrá los siguientes beneficios como: Reducción de costos energéticos disminuyendo el valor de las facturas al generar su propia energía, mayor sostenibilidad, ya que el uso de esta energía solar limpia ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto medioambiental del mismo, mejora de la confiabilidad energética mediante el sistema fotovoltaico OFF-GRID.

Además, proporciona una fuente de energía confiable e inagotable, permitiendo ser ejemplo para la comunidad cálense, la implementación e innovación de estos sistemas amigables con el ambiente, y el beneficio económico que obtendrá el Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego podrán emplearse en otras actividades a favor de la comunidad estudiantil.

CAPÍTULO II

2.1 Metodología de la Investigación

Para el presente proyecto, se realizó una investigación bibliográfica basada en estudios fotovoltaicos sobre demanda y factibilidad en el entorno. Esta revisión permitió establecer un marco teórico sólido y comprender las técnicas y metodologías más adecuadas empleadas en investigaciones anteriores. Además, se utilizó una metodología cuantitativa, tomando como referencia la estación meteorológica del ISTMS, lo que nos permitió demostrar la factibilidad del proyecto al comparar los resultados obtenidos con los requisitos de generación de energética necesarios. La combinación de estos métodos facilitó una evaluación integral y detallada del potencial de mejora del sistema fotovoltaico, asegurando una fundamentación sólida para las conclusiones y recomendaciones de este estudio.

2.2 Marco teórico o estado del arte

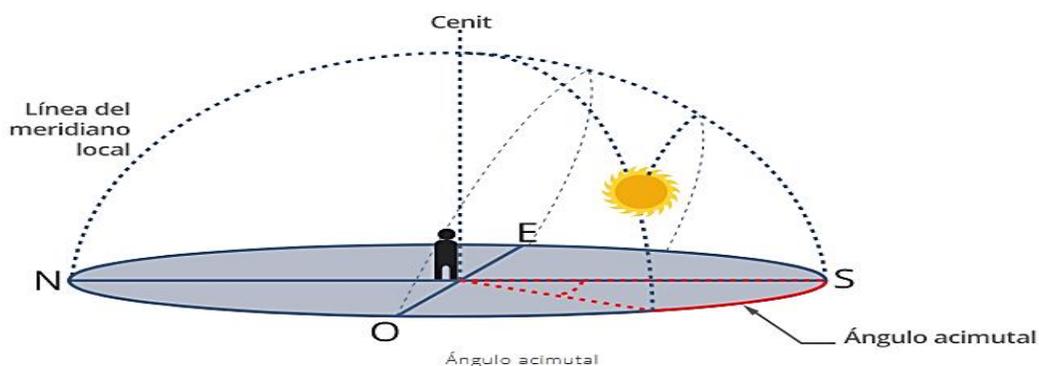
2.2.1 Geometría Solar

Para (Limón, 2018) “la geometría solar se conoce como el conjunto de relaciones matemáticas que permite conocer la localización del sol en un punto de la bóveda celeste, así como la trayectoria de sus rayos (considerados paralelos) relativa a una superficie. Es decir, trata de medir los recorridos y localización del sol en el espacio, con la finalidad de utilizar los resultados para las diferentes ciencias”.

La geometría solar trata en principio de los recorridos aparentes del sol en el cielo y su localización en distintas fechas y horas para, de ese modo, predecir su interacción con planos y volúmenes en el espacio, en función de su ubicación relativa. Este conocimiento nos permite aprovechar beneficiosamente los efectos de la energía solar o protegernos de la misma. (Azqueta, 2010)

Figura 1

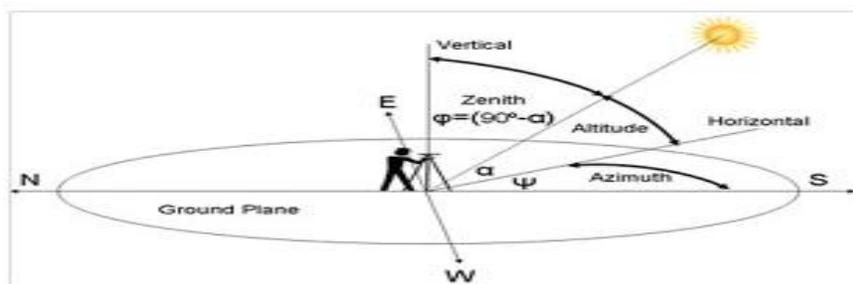
Geometría solar



Nota. La imagen muestra el ángulo acimutal se obtiene desde el punto donde la línea vertical atraviesa el horizonte hasta el sur geográfico. Puesto que es negativo al este y positivo al oeste, con un intervalo de -108° a 180° . Fuente (Guadarrama, 2022)

Figura 2

Recorrido del sol en el cielo

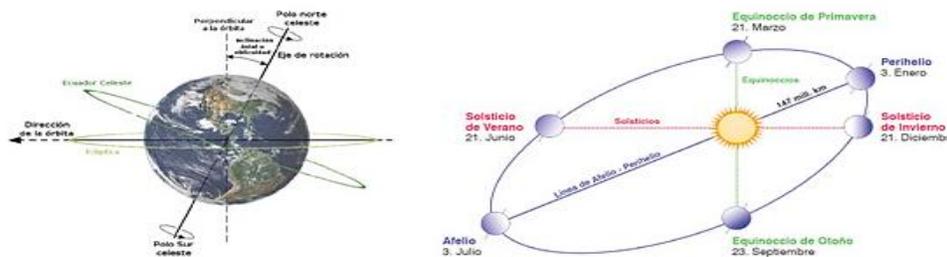


Nota. La figura muestra que el sol se levanta por el Este, alcanza al mediodía solar su elevación máxima sobre el horizonte y se pone al anochecer por el Oeste. Fuente (Salvador Escoda S.A., 2017)

Según (Lamigueiro, 2013) “este movimiento terrestre se compone una traslación alrededor del sol y un giro sobre su eje. En el movimiento de traslación la tierra se desplaza alrededor del sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el sol ocupa uno de los focos, donde la duración de este movimiento define un año. Este movimiento se encuentra contenido el llamado plano de la eclíptica, debido a la baja excentricidad de la elipse, la distancia entre sol y la tierra durante el movimiento de traslación es variable.”

Figura 3

Altura solar y Azimut solar.



Nota. La imagen ilustra la altura solar es el complemento del ángulo cenital. El azimut solar es el ángulo en el cenit local entre el plano del meridiano del observador y el plano de un gran círculo que pasa por el cenit y el sol. Fuente: (Salvador Escoda S.A., 2017)

2.2.2 *Movimiento aparente del sol*

El movimiento aparente del sol, es la percepción que se tiene al observar al sol desde la tierra, parece que el sol se mueve, pero en realidad, es la tierra la que está en movimiento (traslación y rotación sobre su eje), desde la tierra se percibe al sol en movimiento, pues estando en una misma ubicación se puede apreciar como conforme pasan las horas el sol se mueve y el observador se mantiene en la misma posición. (Gómez, 2024)

En su investigación (Gómez, 2024), “trabajó con el supuesto de pensar que el sol se mueve alrededor de la tierra, para poder estudiar el sol y su posición. Basándose en la percepción que se tiene al observar el cielo y sentir que el sol está moviéndose, para ello se desarrolla el concepto de Bóveda Celeste, una esfera imaginaria que tiene como centro a la Tierra, desde allí al observarse el cielo celeste se pudo apreciar entre otros el Movimiento Aparente del Sol”.

Para (Lamigueiro, 2013), “el movimiento que realiza la tierra es considerado como un movimiento aparente del sol a través de la esfera celeste respecto a la superficie terrestre. Este movimiento puede ser descifrado mediante ecuaciones vectoriales referidas al eje terrestre y los ejes locales. Es importante mencionar que el punto de observación es la superficie terrestre mediante su pertenencia a un meridiano y su distancia angular al plano ecuatorial”.

Figura 4

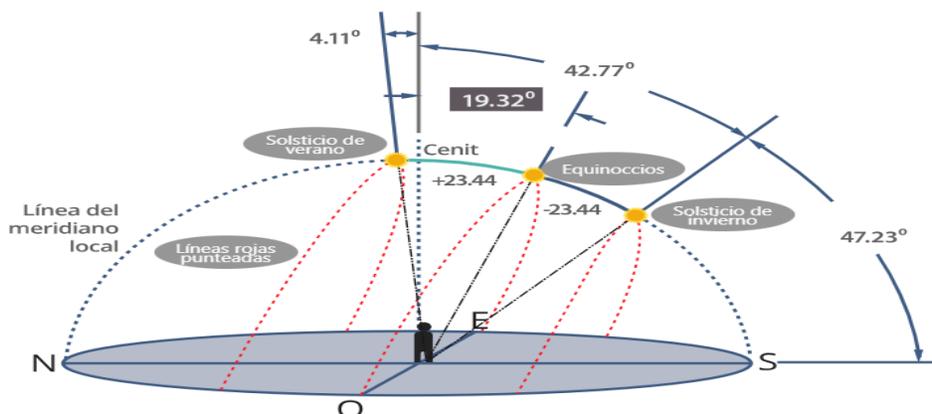
Movimiento aparente del sol a lo largo del día.



Nota. La figura ilustra la trayectoria visible que se lleva a cabo el sol en la esfera a lo largo de un día. Sin embargo, el movimiento del sol es diferente durante todo el año, es mayor en verano y menor en invierno. Fuente: (Martínez Martínez, 2018)

Figura 5

Movimiento Aparente del Sol a lo largo del año



Nota. La imagen muestra la posición del Sol se va proyectando en las distintas constelaciones del Zodíaco, El desplazamiento es de aproximadamente 1° al día, cada mes se desplaza unos 30° y se completa el ciclo en 12 meses. Fuente: (Guadarrama, 2022)

Se Revela concretamente, que el solsticio de verano es cuando el sol está en su punto más alto y el punto de su arco orbital está más al norte, mientras que el solsticio de invierno es cuando el sol está en su nivel más bajo y el punto de su arco orbital está más al sur. El sol alcanza su altura central en el equinoccio de primavera, esto hace que el sol proyecte diferentes sombras a lo largo del año. (Martínez Martínez, 2018)

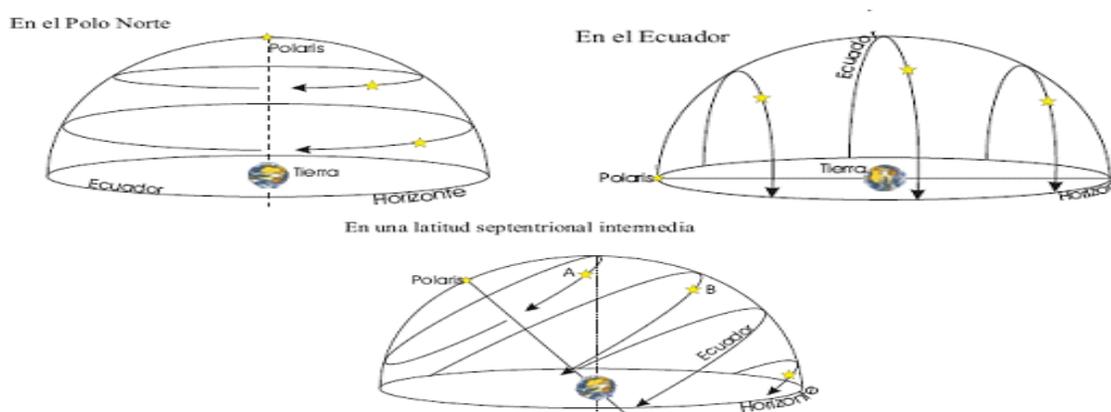
En el solsticio de invierno, cuando el sol está en su posición más baja y su sombra es larga, es el día más largo del año, el movimiento del sol asciende sobre el cielo y su sombra se hace cada vez más corta hasta el solsticio de verano, cuando el sol está más alto y por tanto la sombra es la más corta del año. Pasado este punto, el sol se va ocultando y las sombras se alargan hasta llegar nuevamente al solsticio de invierno.

2.2.3 *Inclinación óptima del panel fotovoltaico*

La inclinación óptima de un panel fotovoltaico es un factor crucial para maximizar su eficiencia y obtener el máximo provecho de una instalación fotovoltaica, la gran importancia que existe en tomar en cuenta los factores como la inclinación y orientación de las placas solares, debido a la inclinación en el eje de rotación de la tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del sol, hace que un mismo punto en la superficie absorba los rayos solares a distintas inclinaciones. Por tal razón un mismo punto absorbe irradiancias diferentes dependiendo de la época del año. (Romero, 2015).

Figura 6

Movimiento del sol en el cielo



Nota. La figura ilustra la posición del sol depende de la ubicación de un punto en la Tierra, la hora del día y la época del año. Fuente: (Salvador Escoda S.A., 2017)

En primera instancia hay que tomar en cuenta la época del año que tendrá un mayor consumo de energía al momento de determinar el ángulo de inclinación, una ventaja del Ecuador en utilizar sistemas fotovoltaicos para producir energía es que en nuestro país los rayos solares inciden de manera más perpendicular sobre la superficie y la inclinación ideal es de 10-15 grados, aprovechando las lluvias como estrategia para mantener limpios los paneles.

Figura 7

Panel bajo la lluvia



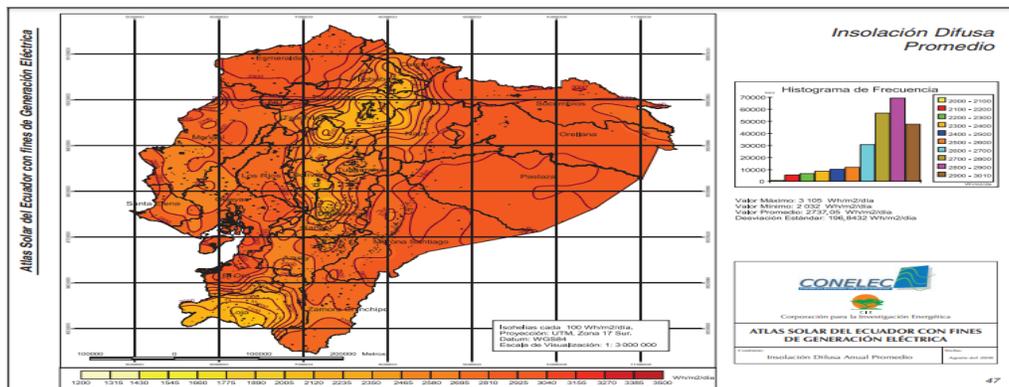
Nota. La imagen ilustra el panel bajo la lluvia ideal para que los paneles se limpien de toda la suciedad acumulada y vuelvan a brindar la máxima claridad para recibir los rayos del sol, una vez pasen las precipitaciones. Fuente: (Inmodo, 2022)

2.2.4 Atlas solar del Ecuador

Este Atlas representa la cuantificación del potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas de insolación directa, global y difusa y sus correspondientes isohelias, con el fin de ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar esta tecnología para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones como fabricar colectores térmicos y módulos fotovoltaicos. (Izquierdo, 2010)

Figura 8

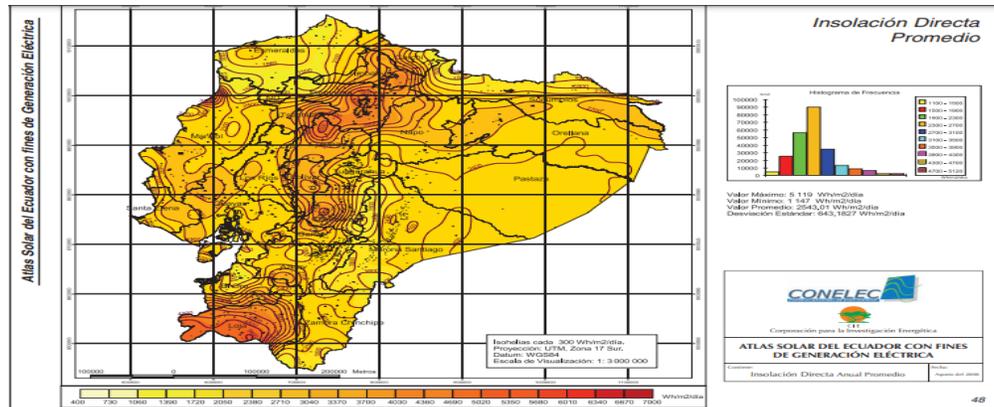
Insolación Difusa Anual Promedio



Nota. La figura muestra el atlas Solar del Ecuador al dividirlo entre 1 000, pues las unidades de insolación del Atlas se encuentran en Wh/m² /día. Fuente: (CONELEC, 2018)

Figura 9

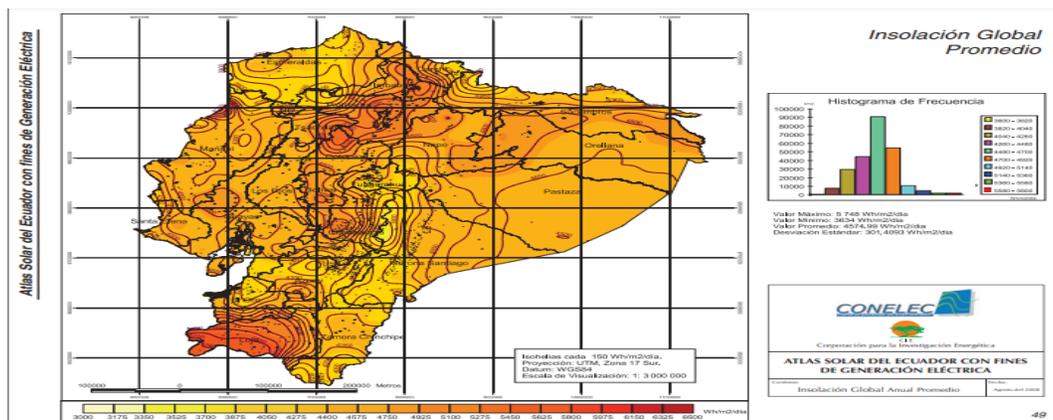
Insolación Directa Anual Promedio



Nota. La imagen muestra la insolación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia Fuente: (CONELEC, 2018)

Figura 10

Insolación Global Anual Promedio



Nota. La figura ilustra la cantidad de insolación global o total que incide al día sobre los módulos solares, se expresa en kWh/m² /día o su equivalente en horas de sol máximo y horas de sol pico (HSP). Fuente (CONELEC, 2018)

2.2.5 Sistema OFF-GRID

Según (Vasquez, 2022) en “los sistemas fotovoltaicos existen distintos tipos de sistemas y de conexiones. Por un lado, están los sistemas ON-GRID, que son aquellos sistemas que tienen dependencia de la red eléctrica. Por otro lado, están los sistemas OFF-GRID que son aquellos que están completamente desconectados a la red eléctrica, siendo su componente principal las baterías de almacenamiento”.

Estos sistemas son netamente desconectados de la red eléctrica, también conocidos como sistemas Back-up. Nos ofrecen energía autónoma durante todo el tiempo en caso de no contar de servicios de la red nacional, teniendo como fuente principal de generación los paneles fotovoltaicos y sus demás componentes.

Debido a que no dependen de la conexión eléctrica existente, requieren de una mayor inversión inicial para instalar todo el sistema FV ya que las baterías (elemento clave en Off-Grid) deben ser cambiadas cada vez que cumplan con su ciclo de vida útil. Estos sistemas son netamente desconectados de la red eléctrica, también conocidos como sistemas Back-up. Nos ofrecen energía autónoma durante todo el tiempo en caso de no contar de servicios de la red nacional, teniendo estación meteorológica.

Según (Ahoma, 2023 , pág. 3), indica que “Una estación meteorológica es una instalación que es propiamente diseñada para medir, registrar y transmitir diversos elementos y variables atmosféricas en una ubicación determinada. Las instalaciones de una estación son fundamentales para el monitoreo y estudio del clima, ya que proporcionan datos precisos y continuos sobre las condiciones meteorológicas locales”

Además, nos explica que la estación meteorológica está compuesta por una serie de instrumentos y sensores especializados: “Los instrumentos principales de la estación meteorológica constan de: termómetros para medir la temperatura del aire, higrómetros para determinar la humedad relativa, barómetros para medir la presión atmosférica, anemómetros y veletas para registrar la

velocidad y dirección del viento, pluviómetros o dendrómetros para determinar la cantidad de la precipitación, y sensores que miden la radiación solar. Dichos instrumentos pueden ser analógicos o digitales, y deben cumplir con las especificaciones internacionales de precisión y calibración” (Ahoma, 2023 , pág. 24)

Figura 11

Estación meteorológica La Nubia



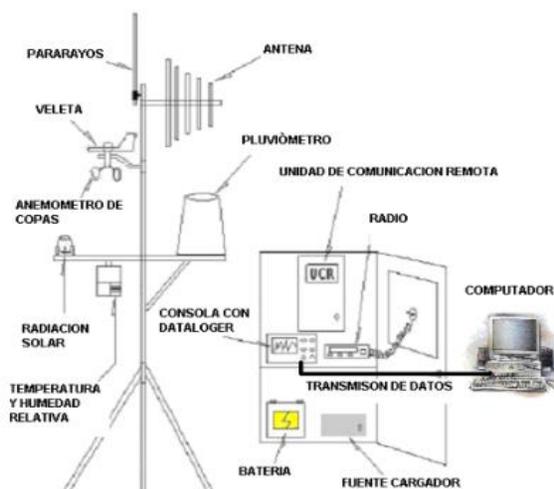
Nota. La imagen muestra una estación meteorológica con algunos de sus componentes los cuales miden variables asociadas al comportamiento del clima. Fuente (Cortés, Gloria S., Betancur-Londoño, Carvajal-Quintero, & Guerrero-González, 2020)

Existen varios tipos de estaciones meteorológicas con diferentes características, las mismas que son monitoreadas por el ser humano para su lectura y registro de datos. Específicamente, “Las Estaciones meteorológicas son manuales, donde sus instrumentos son leídos y registrados por un examinador humano, y las estaciones automáticas, utilizan sensores electrónicos y sistemas de adquisición de datos para medir y transmitir la información de manera automática. También pueden clasificarse según su propósito, como estaciones sinópticas, climatológicas, aeronáuticas, agrícolas, entre otras” (Ahoma, 2023 , pág. 41)

Por otro lado, se resalta la importancia de ubicación y mantenimiento adecuado de las estaciones meteorológicas. “La selección del emplazamiento de una estación meteorológica es crucial para garantizar afianzar la representatividad de las mediciones. Los instrumentos deben estar expuestos de manera óptima, evitando obstáculos y fuentes de calor o humedad artificiales. Además, es fundamental realizar un mantenimiento periódico y calibración de los instrumentos para garantizar la integridad y fiabilidad de la información de dichos datos” (Ahoma, 2023 , pág. 67)

Figura 12

Esquema general de una estación meteorológica



Nota. La figura ilustra la estructura básica de una estación meteorológica con todos sus instrumentos de medición de variables climáticas como; una batería de alimentación de voltaje para los mismos, elemento de comunicación para la transferencia de datos por medio de una radiofrecuencia y un computador por el cual nos permite observar las gráficas de todas las variables climáticas que sean medidas en función del tiempo. Fuente: (Diego , Alexander , & Walter, 2012, págs. 24-25)

2.2.6 Funcionamiento de una estación meteorológica

Es un sistema completo de dispositivos interconectados que conforma una estación meteorológica, lo cual está diseñada específicamente para realizar un seguimiento constante de las

condiciones atmosféricas en un lugar específico. Cuenta con sensores especializados, equipos de medición, y mecanismos para recolectar y transmitir datos de forma automática.

Su propósito principal es registrar de manera continua diversas variables climáticas clave. Entre los elementos monitoreados se encuentran la temperatura ambiente, los niveles de humedad, la presión atmosférica reinante, la dirección e intensidad de los vientos, la cantidad de precipitaciones, así como los niveles de radiación solar en el área. Toda esta información recopilada permite caracterizar detalladamente el estado del tiempo en ese lugar determinado (OMM (Organización Meteorológica Mundial), 2021, pág. 23)

2.2.7 Curva corriente del panel fotovoltaico

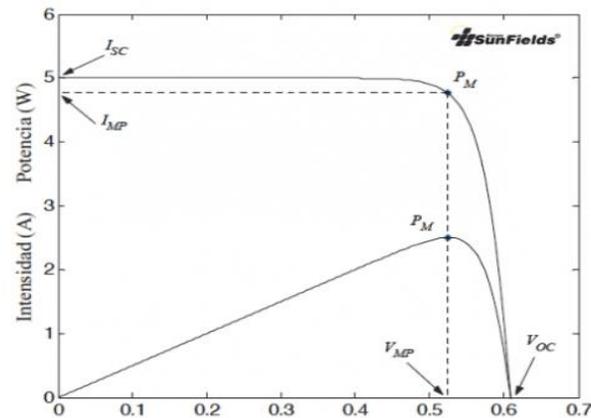
La curva corriente-tensión (curva I-V) es la interpretación gráfica básica para examinar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Esta curva describe la relación entre la corriente y el voltaje creado por el panel bajo distintos requerimientos de operación y brinda información importante sobre la eficiencia y capacidades de producción de energía (Aristizabal, Hernandez, Gordillo, Rodríguez, & Álvarez, 2018). Un estudio elaborado de las curvas IV es crucial para optimizar el diseño y operación de plantas solares.

2.2.8 Factores que influyen en la curva I-V

El diseño y las características de la curva I-V de una placa fotovoltaica se ven afectadas por distintos factores como; la intensidad de la radiación solar incidente, la temperatura de la celda y las componentes eléctricos inherentes del material semiconductor utilizado (Ghazi, Malik, Ahmad, & Munir, 2022). “La curva I-V incrementa y reduce según la intensidad de la radiación solar, por otra parte, la temperatura de la celda afecta al voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito” (Ghazi, Malik, Ahmad, & Munir, 2022, pág. 3).

Figura 13

Curva Corriente vs Voltaje; Potencia vs Voltaje para una celda



Nota. La imagen presenta la carga que se produce cuando una célula solar está en funcionamiento.

Fuente: (Febres Flores, 2021)

Los principales parámetros que se pueden obtener de la figura 13 son:

- ✚ La corriente de cortocircuito (I_{sc}), corresponde al nivel de corriente de cortocircuito idealmente.
- ✚ La tensión de circuito abierto (V_{oc}), corresponde al voltaje más alto.
- ✚ El punto de máxima potencia (MPP) se alcanza cuando la potencia suministrada a la carga tiene un valor máximo.

Por otro lado, para determinar la intensidad del punto de máxima potencia, se empleará la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Punto máximo de potencia

$$PMP = VM * IM \quad (1)$$

Donde:

VM = Voltaje máximo

IM = Intensidad máxima

✚ El factor de llenado (FF) evalúa el nivel de calidad celular.

Asimismo, se puede determinar con la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Factor de llenado

$$FF = \frac{P_{max}}{VOC * ISC} \quad (2)$$

Donde:

Pmax = Potencia máxima

VOC = Voltaje de circuito abierto

ISC = Corriente de cortocircuito

✚ La eficiencia del panel, atiende la posibilidad de modernización con costos mínimos.

(Chao, Yu, Gao, Ma, & Liu, 2019).

Estos parámetros son esenciales para evaluar el rendimiento y la calidad de los paneles fotovoltaicos, ya que permiten determinar la eficiencia energética y la capacidad de generación de electricidad. Además, son fundamentales para diseñar sistemas eficientes de seguimiento del punto de máxima potencia (MPP), lo que garantiza la extracción de la máxima energía posible desde la fuente solar.

2.2.9 Técnicas de medición y modelado

Existen diversas técnicas para medir y modelar la curva I-V de paneles fotovoltaicos, que van desde métodos experimentales en condiciones reales hasta simulaciones por computadora basadas en modelos matemáticos (Ghazi, Malik, Ahmad, & Munir, 2022).

Los modelos más comunes son el modelo de diodo único, el modelo de diodo doble y el modelo de circuito equivalente (Aristizabal, Hernandez, Gordillo, Rodríguez, & Álvarez, 2018). Estos modelos

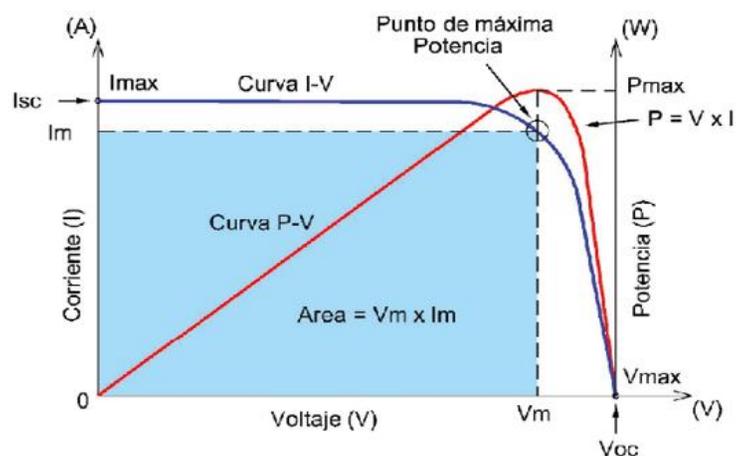
pueden predecir cómo se comportarán los paneles en diferentes condiciones y optimizar su diseño y rendimiento.

2.2.10 Curva gráfica nivel de eficiencia de las celdas solares

La eficiencia de las células fotovoltaicas se representa gráficamente mediante la curva característica I-V (corriente-tensión). Esta curva muestra la relación entre la corriente generada bajo condiciones de iluminación específicas y el voltaje suministrado a la batería. La forma de la curva I-V nos proporciona información valiosa sobre el rendimiento y la eficiencia de la batería. (Pachauri, Moors, van Vuuren, & Worrell, 2020)

Figura 14

Gráfica de corriente, potencia y voltaje de una celda fotovoltaica.



Nota. La figura nos muestra la curva I-V es una herramienta esencial para comprender y optimizar el rendimiento de las células solares. Fuente: (Novoa Jerez, Alfaro, Alfaro, & Guerra, 2020)

La eficiencia de una célula fotovoltaica se define como la relación entre la potencia eléctrica máxima que puede producir y la potencia de la radiación solar que incide sobre su superficie. El punto de máxima potencia se define en la curva I-V como el punto en el que el producto de la corriente y el voltaje es máximo. (Verde, 2022)

Varios factores afectan la forma de la curva I-V y, a su vez, la eficiencia de la celda. Entre ellos se incluyen la calidad del material semiconductor, la estructura celular, la temperatura de funcionamiento y la intensidad de la radiación solar incidente. "Las celdas de alta eficiencia tienen curvas I-V más cuadradas y menores pérdidas de impedancia" (Honsberg & Bowden, 2023).

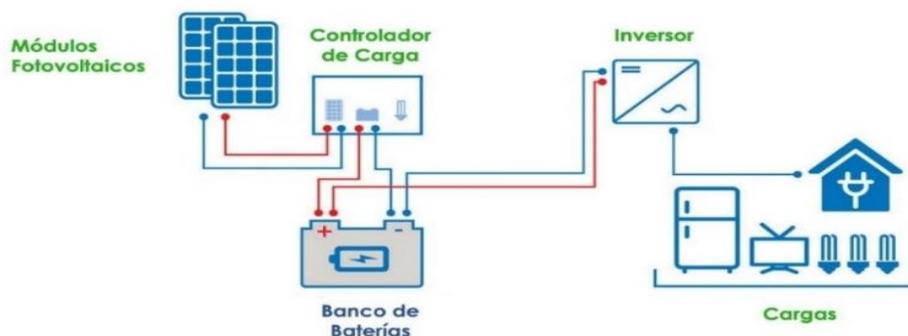
2.2.11 Sistema fotovoltaico

Según (Sifuentes, Martínez, & Berumen, 2016), mencionan que "los sistemas fotovoltaicos son aptos para todo tipo de público. Son fáciles de instalar y de operar, además requieren poco mantenimiento. La vida útil es de unos 15 años, a diferencia de otras formas de energía renovable, como la energía hidroeléctrica o la producción de energía eólica requiere ciertas características ambientales como Flujo de agua o aire, energía. La energía solar está en todas partes y época del año".

Las celdas solares transforman directamente la luz del sol en electricidad, mediante el efecto fotovoltaico. La luz se compone de fotones de diferentes energías, si un fotón tiene suficiente energía para colisionar con átomos de ciertos materiales, como el silicio. La energía del fotón se absorbe y los electrones del material quedan en estado excitado por la energía absorbida, lo que permite en ciertos casos, se mueva libremente. En caso de que sean varios los electrones que circulen libremente se produce una energía eléctrica bajo ciertas condiciones y, por lo tanto, se genera electricidad a partir de energía solar.

Figura 15

Sistema fotovoltaico autónomo aislado de la red (OFF- GRID)



Nota. La imagen ilustra la interconexión entre los componentes y destaca la importancia del sistema autónomo aislado de la red para generar electricidad y almacenarla en baterías para su uso posterior.

Fuente: (Peña, 2023)

Según (Sanchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sanchez, 2017) nos expresan que, “Un sistema de células solares (SPV) es un conjunto de componentes que consta de un generador de energía fotovoltaica y conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden proporcionar control y conversión. Además, el Almacenamiento y distribución de electricidad producida por TFV en mar abierto con un voltaje determinado esta apto para el consumo de los usuarios en cargas eléctricas como, por ejemplo: luces, radios, bombas, motores, etc.)”

Para explicar este grupo de dispositivos que acondicionan la potencia eléctrica para su uso respectivo conforman el denominado “balance del sistema”, (BOS por sus siglas en inglés: Balance Of System).

Figura 16

Esquema de un sistema fotovoltaico



Nota. La imagen nos muestra un sistema de generación fotovoltaica, donde consta el generador fotovoltaico que convierte la energía solar en eléctrica; acondicionadores de energía que convierten esta energía en energía utilizable y finalmente las cargas eléctricas que representan los dispositivos que consumen la energía generada. Fuente: (Sanchez, Martínez, Santos, Ortega, & Sanchez, 2017)

2.3 Elementos y dispositivos

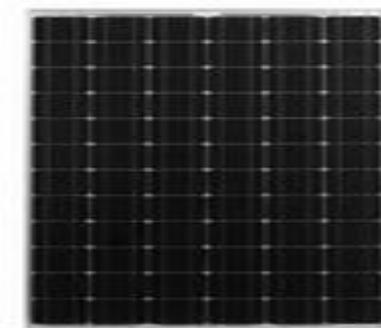
2.3.1 Tipos de paneles solares

Los paneles solares más comúnmente utilizados están compuestos por células fotovoltaicas de uniones P-N fabricadas con silicio monocristalino y policristalino. Estos materiales son los más populares en la industria fotovoltaica debido a su alta eficiencia y estabilidad. (Pareja, 2020)

Monocristalinos: Los monocristales tienen una estructura cristalina completamente ordenada y se obtienen a partir de silicio fundido puro dopado con boro. Es conocido por sus colores sólidos azul intenso y metálicos.

Figura 17

Panel solar de silicio monocristalino

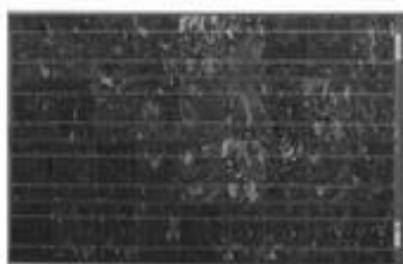


Nota. La imagen nos ilustra un panel solar de silicio monocristalino que permite una mayor eficiencia en la conversión de energía solar. Fuente: (Pareja, 2020)

Policristalino: Tiene una estructura dispuesta en diferentes regiones. Las ubicaciones irregulares pueden reducir el rendimiento. Esto se consigue de la misma forma que un monocristal, pero con menos fases cristalinas (combinaciones de átomos). Esto se reconoce porque en la superficie se pueden distinguir diferentes tonos de azul y gris metalizado.

Figura 18

Panel solar de silicio policristalino



Nota. La figura presenta un panel solar de silicio policristalino caracterizador por estar diseñado para soportar condiciones climáticas adversas y durar muchos años. Fuente: (Pareja, 2020)

2.3.2 Regulador de carga

También conocidos como controladores de carga, son dispositivos indispensables en instalaciones aisladas para controlar la carga de baterías en sistemas fotovoltaicos, eólicos o de generación de energía renovable. Para (García Martín, 2021) hay dos tipos principales PWM y MPPT:

“Modulación de ancho de pulso (PWM): Se puede utilizar cuando el voltaje generado por el panel solar es ligeramente superior al voltaje de la batería. (PWM significa Modulación de Ancho de Pulso) estos controladores tienen una conexión directa entre el panel solar y la batería. Durante la carga, el voltaje de la matriz del panel se reduce para igualar el voltaje de la batería. A medida que estas se cargan, su voltaje aumenta y el regulador aumenta el voltaje en la unidad del panel”.

“MPPT: Son más eficientes porque buscan el punto máximo de potencia de la electricidad producida, optimizando así la carga de la batería. También tienen otras ventajas, como que el voltaje producido por el panel solar puede ser mucho mayor que el voltaje de la batería. En estos reguladores de voltaje, el voltaje del panel se reduce para igualar el voltaje de la batería; pero al mismo tiempo, la intensidad aumenta para que se aproveche toda la energía suministrada por el panel (García Martín, 2021)”.

Figura 19

Regulador de carga



Nota. La imagen nos presenta un modelo del regulador de carga, el mismo que se encarga de controlar la carga de las baterías. Fuente: (García Martín, 2021)

2.3.3 Bateria

Las baterías almacenan la electricidad producida por los paneles solares, que se cargan mediante un controlador de carga. Es recomendable que las células solares proporcionen una descarga profunda alrededor del 60%. Algunas baterías pueden emitir gases, por lo que deben instalarse en un área bien ventilada y debidamente etiquetada. Existen algunos tipos de baterías entre ellas:

Batería de ácido de plomo abierto: Se trata de una tecnología que se utiliza en sistemas solares aislados desde hace décadas. Son más baratos, pero ocupan mucho espacio y emiten gases, por lo que deben almacenarse en zonas designadas, bien ventiladas y señalizadas. Requieren mantenimiento cada dos o cuatro semanas y un suministro de agua destilada.

Batería de gelatina: Contienen electrolitos en forma de gel. No requieren mantenimiento y tienen más ciclos de vida que las tecnologías anteriores, lo que las hace más duraderas. Además, tienen una baja tasa de autodescarga, un rendimiento estable durante toda su vida útil y buena resistencia al calor.

Batería de Litio: Son más ligeras en peso y volumen. No requieren mantenimiento y pueden descargar hasta un 90% de profundidad. Tienen aproximadamente tres veces el ciclo de vida de las baterías abiertas de plomo-ácido, pero pueden ser un 50% más caras.

Figura 20

Batería



Nota. La figura nos ilustra un modelo de batería que tiene como función almacenar la energía generada por los paneles solares. Fuente: (García Martín, 2021)

2.3.4 Inversor

Convierte la CC almacenada en la batería en CA (120, 220, 230 V) para hacer funcionar aparatos y dispositivos tradicionales. Existen distintos tipos de inversores entre ellos:

Inversor de onda de corrección: Su corriente de salida no es exactamente la misma que la corriente normal. Son más económicos, pero pueden causar problemas con el funcionamiento de los equipos electrónicos.

Onda pura: Son más caros, pero su corriente de salida es exactamente la misma que la corriente convencional y se pueden utilizar en todo tipo de equipos eléctricos.

Figura 21

Inversor de corriente



Nota. La imagen muestra el inversor de corriente encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna. Fuente: (García Martín, 2021)

CAPÍTULO III

3.1 Materiales y Métodos

3.1.1 *Materiales para el Sistema Fotovoltaico*

La implementación de un sistema fotovoltaico consta de varios componentes clave, cada uno de ellos cumplen una función específica, entre ellos tenemos:

Figura 22

Soporte: Base Donde Se Colocarán Los Paneles Solares



Nota. La figura nos muestra las bases y estructuras del soporte, los cuales permiten fijar y dirigir correctamente la ubicación de los paneles solares en una instalación fotovoltaica. Fuente: (EFC SOLAR, 2024)

Figura 23

Panel Solar (Monocristalino)



Nota. La figura ilustra una referencia de los paneles solares, en esta ocasión un monocristalino. Fuente: (Torres-Pacheco, Jurado-Pérez, Granados-Liberman, & Lozano-Luna, 2018)

Figura 24

Panel Solar Policristalino



Nota. Asimismo, la imagen muestra un panel solar policristalino. Fuente: (Torres-Pacheco, Jurado-Pérez, Granados-Liberman, & Lozano-Luna, 2018)

Figura 25

Cableado: Diámetro - Flexibilidad - # De Filamentos, Etc.



Nota. La figura ilustra los diversos cables y en especial el cable solar que suelen dividirse en categorías de cables de 4 mm², 6 mm², 10 mm² o 16 mm² y vienen en diferentes colores según el propósito.

Fuente: (Vasquez, 2022)

Figura 26

Regulador: PWM – MPPT



Nota. La imagen nos muestra un regulador de carga que tiene como objetivo controlar el flujo de energía que existe entre el campo fotovoltaico y las baterías del panel solar. Fuente: (Albasolar, 2022)

Figura 27

Baterías: 12V - 24V / 100AH - 250AH



Nota. La figura ilustra varios tipos de baterías de litio, AGM y gel. Estas presentan varios aspectos en su tecnología, vida útil, tamaño y rendimiento a temperaturas extremas y profundidad de descarga.

Fuente: (FQS Battery., 2023)

Figura 28

Inversor



Nota. La imagen muestra un inversor y sus funciones, es el encargado de transformar la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) Fuente: (Wang, Li, & Liu, 2021)

Figura 29

Protectores Y Disyuntores: Evita Sobrecargas Y Daños



Nota La figura muestra un modelo de protección en un sistema fotovoltaico, el cual es importante porque ayuda a evitar descargas eléctricas peligrosas y evita daños de los dispositivos. Fuente: (Chavesta, 2019)

3.2 Recopilación de Datos

Los datos obtenidos para el Análisis de factibilidad de optimización del sistema fotovoltaico OFF-GRID del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego mediante el estudio de la radiación solar en la ciudad de Cariamanga, los obtuvimos específicamente de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 y UV que cuenta la institución, dándonos como resultado valores reales y precisos.

3.2.1 Datos de la estación meteorológica

La estación meteorológica Davis Vantage Pro2 y UV se encuentra funcionando desde el mes de junio del presente año, para el desarrollo del presente estudio hemos obtenido datos de los meses junio, julio y agosto.

Tabla 1

Datos de la Estación Meteorológica del mes de junio

Mes de Junio	
Hora	Irradiación W/m ²
7:00am	151,2
8:00am	323,2
9:00am	486
10:00am	593,55
11:00am	647,64
12:00am	492,55
13:00am	541,08
14:00am	531,31
15:00am	453,69
16:00am	240,25
17:00am	124,27
18:am	26,3
Irradiación alta	384,25
mensual en W/m ²	

Nota. La tabla 1, muestra datos de irradiación alta mensual recolectados en junio mediante la estación meteorológica del ISTMS. Con un promedio total de 384,25 W/m² entre las 7:00 am y 18:00 pm.

Utilizando los datos recolectados de la estación meteorológica (Tabla 1), calculamos la hora solar pico del mes de junio. Para ello, determinamos el promedio de las tendencias más altas de irradiación entre las 9:00 am hasta las 15:00pm. Las ecuaciones utilizadas para el siguiente cálculo son:

Ecuación 3. Promedio

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3)$$

Donde:

\bar{x} =Promedio

$\sum x$ = Suma de todos los valores

n = Número de valores

Cálculo:

$$\bar{x} = \frac{3745,81}{7} = 535,12 \text{ W/m}^2$$

El valor resultante representa el promedio de la irradiación solar alta en ese horario específico, que posteriormente dividimos para el intervalo del tiempo:

Ecuación 4. Hora pico solar

$$\text{Hora Solar Pico} = \frac{\text{Máximo consumo}}{\text{horas} * \text{días}} \quad (4)$$

$$\text{HSP} = \frac{535,12}{12 * 12} = 3,72$$

En conclusión, la hora solar pico en el mes de junio fue de 3,72

Tabla 2*Datos de la Estación Meteorológica mes de Julio*

Mes de Julio	
Horas	Irradiación W/m ²
7:00am	198,08
8:00am	407,17
9:00am	567,75
10:00am	626,92
11:00am	710,67
12:00am	794,17
13:00am	777,42
14:00am	751,83
15:00am	547,33
16:00am	358,67
17:00am	210,17
18:am	44,83
Total	499,58 W/m ²

Nota. Igualmente, la tabla 2 nos muestra los datos obtenidos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 y UV del mes de julio, desde las 7:00 am hasta las 18:pm. Obteniendo un promedio de irradiación alta de 499,58 W/m².

Considerando estos datos (Tabla 2), realizamos de la misma manera el cálculo de la hora pico solar (HSP) del mes de julio, tomando en cuenta la tendencia más alta de irradiación solar entre las 09:00 am a 15:00 pm. Los cálculos son los siguientes:

Promedio de la irradiación solar del mes de julio:

$$\bar{x} = \frac{4776,08}{7} = \mathbf{682,30 \text{ W/m}^2}$$

Cálculo de la hora solar pico del mes de julio:

$$\mathbf{HSP} = \frac{682,30}{12 * 23} = \mathbf{2,47}$$

Por lo tanto, la hora solar pico en el mes de julio fue de 2,47

Tabla 3

Datos de la Estación Meteorológica mes de agosto

Mes de Agosto	
Horas	Irradiación W/m ²
7:00am	231,56
8:00am	425,88
9:00am	468,06
10:00am	487,69
11:00am	670
12:00am	833,75
13:00am	643,25
14:00am	552
15:00am	565,44
16:00am	276,19
17:00am	76,75
18:am	34,38
Total	438,74 W/m ²

Nota. En la tabla 3 nos ilustra los datos obtenidos mediante la estación meteorológica la irradiación mensual de agosto desde las 7:00 am hasta las 18:pm, resultando un promedio de irradiación de 438,74 W/m².

De igual forma y considerando los resultados obtenidos (Tabla 3) y la tendencia en irradiación alta desde las 09:00 am a 15:00 pm, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

Promedio de la irradiación solar del mes de agosto:

$$\bar{x} = \frac{4220,19}{7} = 602,88 \text{ W/m}^2$$

Cálculo de la hora solar pico del mes de agosto:

$$HSP = \frac{608,88}{12 * 22} = 2,28$$

Por lo tanto, la hora solar pico en el mes de agosto fue de 2,28.

Asimismo, calculamos la hora solar pico en promedio total de los tres meses de estudio (junio, julio y agosto) dándonos como resultado:

$$\bar{x} = \frac{3,72 + 2,47 + 2,28}{3} = 2,82 \text{ HSP}$$

En conclusión, se determinó que la hora solar pico en la ciudad de Cariamanga es de 2,82. Los datos recolectados durante los tres meses consecutivo no mostraron diferencias significativas, lo que sugiere una estabilidad en la irradiación solar en este periodo.

3.2.2 Estudio de la demanda eléctrica del laboratorio del ISTMS

Para el estudio de la demanda eléctrica, se realizó una recopilación de datos de cargas en iluminación, tomacorrientes y cargas especiales dentro del laboratorio del ISTMS. En este proceso, se cuantificaron las cantidades de cargas dentro de las diferentes áreas del laboratorio. Los valores de consumo de cada uno de ellos, expresados en watts (W), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4

Dato Obtenidos del Laboratorio del ISTMS

Área	Circuito	Lámparas	Lámparas	Tomas	Tomas	Esp.	Esp.	Esp.
		9W	50W	140W	800W	500W	1400W	370W
Canchón taller	1						1	
Laboratorio 1 Mecánica	2		3					
Canchón taller	3	6	10					
Laboratorio 1 Electricidad	4		3					
Baños	5	4						
Comedor Bodega,	6		1	1	1			
Laboratorio 2 mecánica	7		5			1		
Oficina 1	8	1			1			
Oficina 2	9	1			1			
Aula 1 Laboratorio 3 mecánica	10 11	3	3 2	1	1			
Aula 2	12	3	3	1	1			
Laboratorio 2 electricidad	13		6	1	1			1
TOTAL		18	36	4	6	1	1	1

Nota. Una vez cuantificados los circuitos de las diversas áreas de estudio del laboratorio del instituto, se procede a detallar la cantidad y tipo de cargas posee cada una. Posteriormente, se realizan los cálculos

respectivos para obtener el valor del consumo en kilovatio-hora (kWh) por áreas y también el consumo total del laboratorio. Para ello, cada área del laboratorio especifica el tipo de carga instalada, así como el tiempo de uso en horas.

Tabla 5

Datos del Consumo de Cargas del Canchón

	Potencia	Horas/día	kWh
Iluminación	9	6	0,324
Iluminación	50	6	3
Compresor	1400	2	2,8
Consumo total kWh			6,124

Nota. La tabla 5, muestra la potencia de las cargas en iluminación y compresor del área del Canchón, incluyendo su potencia, horas de consumo diario y consumo en kilovatio-hora (kWh). Esto nos permite calcular un consumo total de 6,124 kWh.

Tabla 6

Datos de cargas del Laboratorio 1 Mecánica

	Iluminación
Potencia	50
H/día	5
kWh	0,75
Consumo Total kWh	0,75

Nota. La tabla indica en el área del laboratorio 1 de mecánica, posee una sola carga en iluminación, la misma que tiene una potencia de 50 vatios (W), el consumo diario es de 5 horas, dándonos un consumo total de 0,75 kWh.

Tabla 7

Datos de Cargas del Comedor

	Iluminación(W)	Proyector	Computadora
Potencia	50	800	140
H/día	4	2	4
KWh	0,4	1,6	0,56
Consumo total kWh			2,56

Nota. La tabla ilustra las cargas del Comedor, la misma que tiene un total de 2,56 kWh, en cargas de iluminación, proyector y computadora.

Tabla 8

Datos de Cargas del Laboratorio 2 de Mecánica

	Iluminación	Esmeril
Potencia	50	500
H/día	6	2
kWh	1,5	1
Consumo total kWh	2,5	

Nota. De igual manera, la tabla 8 muestra las cargas del área del laboratorio 2 de mecánica, con un total de 2,5 kWh.

Tabla 9

Datos de Cargas de la Oficina 1

	Iluminación	Computadora
Potencia	50	140
H/día	6	3
kWh	0,3	0,42
Consumo total kWh	0,72	

Nota. Asimismo, la tabla representa las cargas del área de la oficina 1, con un total de 0,72 kWh.

Tabla 10*Datos de Cargas de la Oficina 2*

	Iluminación	Computadora
Potencia	50	140
H/día	6	3
kWh	0,3	0,42
Consumo total kWh	0,72	

Nota. La tabla 10, representa las cargas del área de la oficina 2, en iluminación y computadora con un total de consumo 0,72 kWh.

Tabla 11*Datos de Cargas de la Aula 1*

	Iluminación	Proyector	Computadora
Potencia	9	50	800
H/día	6	6	1

kWh	0,162	0,9	0,8	0,42
Consumo total kWh				2,28

Nota. La tabla indica las cargas del Aula 1, la misma que posee un consumo total de 2,28 kWh.

Tabla 12

Datos de Cargas de la Aula 2

	Iluminación	Proyector	Computador
Potencia	50	800	140
H/día	6	1	3
KWh	0,6	0,8	0,42
Consumo total kWh			1,82

Nota. Los datos de la tabla indican las cargas del área del Aula 2, con un consumo total de 1,82 kWh.

Tabla 13

Datos de Cargas del Laboratorio 3 de Mecánica

	Iluminación
Potencia	50
H/día	3
KWh	0,3
Consumo total kWh	0,3

Nota. Asimismo, la tabla ilustra las cargas del laboratorio 3 de mecánica, con un consumo total de 0,3 kWh.

Tabla 14

Datos de Cargas del Laboratorio 1 Electricidad

	Iluminación
Potencia	50
H/día	4
kWh	0,6
Consumo total	
kWh	0,6

Nota. La tabla muestra las cargas del área del Laboratorio 1 Electricidad, con un consumo total de 0,6 kWh.

Tabla 15*Datos de Cargas del Laboratorio 2 Electricidad*

	Iluminación	Proyector	Computador
Potencia	50	800	140
H/día	6	1	3
KWh	1,8	0,8	0,42
Consumo total kWh			3,02

Nota. Igualmente, la tabla indica las cargas del área del laboratorio 2 de electricidad, con un consumo total de 3,02 kWh.

Tabla 16*Datos de Cargas de los Baños*

	Iluminación
--	-------------

Potencia	9
H/día	6
Kwh	0,216
Consumo total kwh	0,216

Nota. La tabla ilustra las cargas del área de los baños, con un consumo total de 0,21 kWh.

Con la información obtenida de cada área del laboratorio del instituto, procedemos a calcular el consumo diario energético que necesitan las cargas por las horas de utilización. El consumo energético diario es de **24,88 kWh**. Para ello, obtenemos la potencia de intensidad con la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Potencia de intensidad

$$P_i = W * N_c \quad (5)$$

Donde:

P_i = Potencia de intensidad

W = Vatios (focos led)

N_c = Número de cargas

Para realizar los cálculos correspondientes de cada una de las potencias utilizamos los datos recopilados en el levantamiento del circuito de iluminación del laboratorio del ITSMS; para ello, se presenta a continuación los respectivos cálculos de potencia del circuito de iluminación:

Datos:

Lámparas led = 9 W /50W

Números de cargas = 18/36

Calculo 1

$$P_{i1} = W \times N_c$$

$$Pi1 = 9W \times 18 = \mathbf{162W}$$

Calculo 2

$$Pi2 = W \times Nc$$

$$Pi2 = 50W \times 36 = \mathbf{1800W}$$

Para calcular la potencia total utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Potencia total

$$PiT = Pi1 + Pi2 \quad (6)$$

Donde:

Pi1 = Potencia de intensidad 1

Pi2 = Potencia de intensidad 2

Aplicando la fórmula anteriormente expuesta, procedimos a calcular la sumatoria de las potencias obtenidas en los dos circuitos de iluminación descritas anteriormente:

$$PiT = 162W + 1800W = 1962W$$

Dicho resultado se lo multiplica por un factor de simultaneidad de 0.75%

$$PiT = 1962W \times 0,75\%$$

$$PiT = \mathbf{1471,5W}$$

Este es el resultado de la potencia total en vatios (1471,5W) consumirá el circuito de iluminación del laboratorio del ISTMS.

Por otro lado, para calcular la potencia total de las cargas de computador y el proyector, utilizamos los datos recopilados en el levantamiento de cargas de tomacorrientes. Con la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Potencia total de cargas

$$Pt = W * Nc \quad (7)$$

Consideramos la potencia de las cargas de tomacorrientes y proyector, los cálculos son los siguientes:

Datos:

Tomacorrientes para computador: 4

Tomacorrientes para proyector: 6

Potencia del computador: 140W

Potencia del proyector: 800W

Calculo 1

$$P_{tc} = W \times N_c$$

$$P_{tc} = 140W \times 4 = \mathbf{560W}$$

Calculo 2

$$P_{tp} = W \times N_c$$

$$P_{tp} = 800W \times 6 = \mathbf{4800W}$$

Luego de obtener estos resultados realizamos la sumatoria de las potencias de tomacorrientes, proyector y del computador utilizando la ecuación 6: Potencia total.

$$P_{tT} = P_{tc} + P_{tp}$$

$$P_{tT} = 560W + 4800W = 5360W$$

Así mismo el resultado obtenido lo multiplicamos por el 0,8% de simultaneidad.

$$P_{tT} = 5360 \times 0,8\% = \mathbf{4288W}$$

Este resultado es la potencia total en vatios (4288W) que consumirán las computadoras y proyectores en el laboratorio del ISTMS.

Además, calculamos las cargas especiales como son el compresor y elevador, que se encuentran ubicadas en el canchón de laboratorio de mecánica del ISTMS. Para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Potencia total de cargas especiales

$$P_{Tce} = P_{te} + P_{tc} \quad (8)$$

Donde:

PT_{ce} = Potencia total de cargas especiales

P_{te} = Potencia total del elevador

P_{tc} = Potencia total del compresor

Procedemos con el cálculo:

Datos:

Potencia del elevador = 500W

Potencia de compresor = 1400W

$$PT_{ce} = 500W + 1400W = 1900W$$

El resultado de la potencia total de las cargas especiales lo multiplicamos por un factor de simultaneidad que es 0.9%

$$PT_{ce} = 1900W \times 0,9\% = \mathbf{1710W}$$

Este resultado es la potencia total en vatios (1710W) que consumirán las cargas especiales ubicadas el canchón de mecánica del laboratorio del ISTMS.

En conclusión, para obtener la potencia total que consume todo el laboratorio del ISTMS, sumamos todos los resultados de las potencias totales de los diferentes circuitos: de iluminación, tomacorrientes y cargas especiales calculadas anteriormente.

Para lo cual obtenemos la potencia total de todo el sistema con la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Potencia total del sistema

$$PT_s = P_{iT} + P_{tT} + PT_{ce} \quad (9)$$

Donde:

PT_s = Potencia total del sistema

P_{iT} = Potencia de iluminación total

P_{tT} = Potencia de tomacorrientes total

PT_{ce} = Potencia total de cargas especiales

Cálculo:

$$PT_s = 1471.5W + 4288W + 1710W$$

$$PT_s = \mathbf{7469,5W}$$

Como resultado final del análisis y cálculos realizados, se determinó que la potencia total requerida para el sistema eléctrico del laboratorio del Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego es de **7469,5 vatios** (W). Esta cifra refleja el consumo eléctrico total por hora proyectado para todas las instalaciones y equipos, considerando los factores de simultaneidad.

3.3 Cálculo para la implementación del sistema fotovoltaico

Se elaboró el cálculo para la implementación del sistema fotovoltaico basándonos en los datos obtenidos a través de la estación meteorológica del ISTMS, con el fin de conocer la cantidad de paneles, baterías, tipo de inversor, controlador, calidad del cable y sistema de protección que se deberá utilizar al implementar este sistema en todo el laboratorio.

Para calcular la potencia fotovoltaica del panel, se utiliza el valor del consumo diario del laboratorio, que es de 24,88 kWh, y la hora solar pico que es de 3h. Estos valores se obtuvieron de los datos de irradiación solar proporcionados por la estación meteorológica durante los tres meses de estudio. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para el cálculo:

Ecuación 10. Potencia fotovoltaica

$$PV = \frac{\text{Consumo diario}}{HSP} \quad (10)$$

$$PV = \frac{24,88 \text{ kWh}}{3h} = 8,29 \text{ kW}$$

Una vez calculado la potencia fotovoltaica que es de 8,29 kW, dividimos para la potencia del panel que es de 550 W transformado a kW es 0,55 kW, así adquirimos el número de paneles necesarios con la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Número de paneles

$$\text{Número de paneles} = \frac{PV}{0,55 \text{ kW}} \quad (11)$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{8,29 \text{ kW}}{0,55 \text{ kW}} = 15,07 \text{ paneles}$$

Resultando que al implementar el sistema fotovoltaico necesitamos 15 paneles de 550W cada uno, y con una potencia total instalada de 8,29 kW.

Cálculo de baterías

Para este cálculo utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Número de baterías

$$N. \text{ baterías} = \frac{\text{Consumo diario} * AD}{\text{Eficiencia}} \quad (12)$$

Donde:

Consumo diario = 24,88 kWh

AD (Autonomía deseada) = 2 días

Eficiencia del sistema = 90%

Batería JYC gel 12v 200ah

$$N. \text{ baterías} = \frac{24,88 \text{ kWh} * 2}{0,9} = 55,29 \text{ Wh}$$

Para la intensidad de la batería utilizamos esta potencia (55,29 Wh y la convertimos a kWh, el cálculo es el siguiente:

Ecuación 13. Intensidad de la batería

$$I = \frac{N. \text{ baterías}}{48 \text{ V}} \quad (13)$$

$$I = \frac{55280 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 1151,7 \text{ A}$$

Con baterías de 200Ah/12V, necesitamos 4 baterías en serie de 12V para llegar a 48V y 4 ramas en paralelo para alcanzar la capacidad Total: 16 baterías de 12V/200AhN.

Regulador de carga

Para sistemas de esta potencia (>3kW), se recomienda usar 48V para reducir las corrientes. Es así que para determinar el amperaje del regulador se divide la potencia de los paneles y la tensión del sistema quedando de la siguiente manera:

Ecuación 14. Amperaje del regulador de carga

$$\text{Amperaje} = \frac{\text{Potencia de los paneles}}{\text{Tensión del sistema}} \quad (14)$$

Datos:

Potencia de los paneles = 4400 W

Tensión del sistema= 48 V

$$A = \frac{4400 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 91,67 \text{ A}$$

Como resultado se determinó el amperaje es de 91,67 A. Con este dato nos indica que se puede utilizar un regulador MPPT de 100A/48V o dos reguladores MPPT de 60A/48V en paralelo.

Inversor

Para el cálculo del inversor hacemos uso del consumo diario del laboratorio que es de 24,88 kWh, y asumiendo con una simultaneidad del 60% con un margen de seguridad de 1,25, quedándonos el cálculo de la siguiente manera:

Ecuación 15. Cálculo de inversor

$$P = \text{Consumo diario} * \text{factor} \quad (15)$$

$$P = 24880 \text{ Wh} * 0,6 = 14928 \text{ W}$$

$$P = 14928 \text{ W} * 1,25 = 18660 \text{ W}$$

Por lo tanto, se recomienda usar cuatro inversores de 48V/5000W en paralelo.

Cálculo de la protección del sistema

Para calcular el sistema de protección se divide la potencia de los paneles con tensión del sistema, realizando el cálculo nos queda de la siguiente manera:

Datos:

Potencia total del sistema: 7469,5 W

Voltaje de salida del sistema: 127 V

Ecuación 16. *Sistema de protección*

$$SP = \frac{\text{Potencia total de sistema}}{\text{Voltaje de salida del sistema}} \quad (16)$$

Cálculo:

$$SP = \frac{7469,5 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 58,81 \text{ A}$$

3.4 Proponer mejoras

Los laboratorios del ISTMS actualmente cuenta con un sistema fotovoltaico OFF-GRID para una parte del laboratorio por lo cual se plantea expandir dicho sistema y así poder cubrir la demanda de todo el laboratorio; a continuación, podemos considerar los siguientes aspectos:

- Ampliación del sistema fotovoltaico aumentando el número de paneles solares para incrementar la capacidad de generación de energía.
- Mejorar el sistema de almacenamiento ampliando el banco de baterías para una mejor capacidad de almacenamiento de la energía, considerando la implementación de baterías de litio las cuales ofrecen mayor densidad energética y tienen ciclos de vida en más largos.
- Actualizar el inversor actual por uno de mayor capacidad de almacenamiento, se pueden considerar inversores híbridos que puedan manejar tanto la energía solar como una posible conexión a la red eléctrica en el futuro.

- Formación y educación donde se desarrolle un programa de capacitación para estudiantes y personal sobre el funcionamiento y mantenimiento del sistema fotovoltaico. También crear estaciones de trabajo que permitan a los estudiantes experimentar con diferentes configuraciones del sistema.

CAPÍTULO IV

4.1 Análisis de resultados

Las gráficas muestran un patrón similar donde la intensidad solar aumenta poco a poco por la mañana a partir de las 10:00 am hasta alcanzar un máximo de radiación hasta las 14:00 pm y luego disminuye paulatinamente a las 18:00 pm, esto corresponde al movimiento del Sol y a la inclinación de la Tierra.

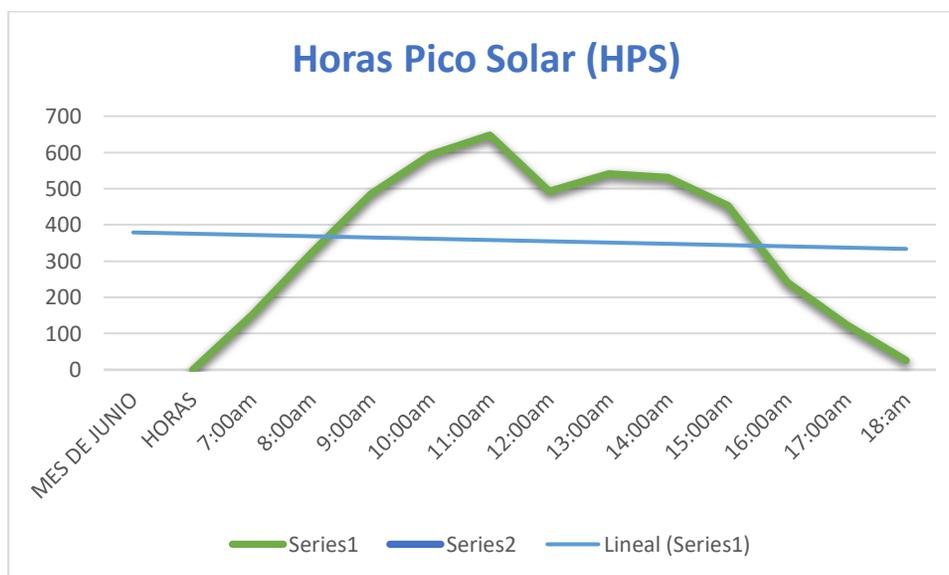
Además, se identifica que la variación mensual general es similar, pero podrían existir pequeñas variaciones en el momento exacto del pico máximo o en la pendiente de la curva entre los diferentes meses, ya que estos cambios pueden deberse a factores como la duración del día, la degradación solar o las condiciones atmosféricas locales.

4.1.1 Gráficas de hora pico solar

A continuación, se indican las respectivas gráficas de las horas solar pico, correspondientes a los tres meses de estudio (junio, julio y agosto), recopilados mediante la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 y UV del ISTMS.

Figura 30

Horas Solar Pico (HSP) durante un día promedio del mes de Junio



Nota: La gráfica indica muestra la variación de la irradiación solar en un día promedio del mes de junio.

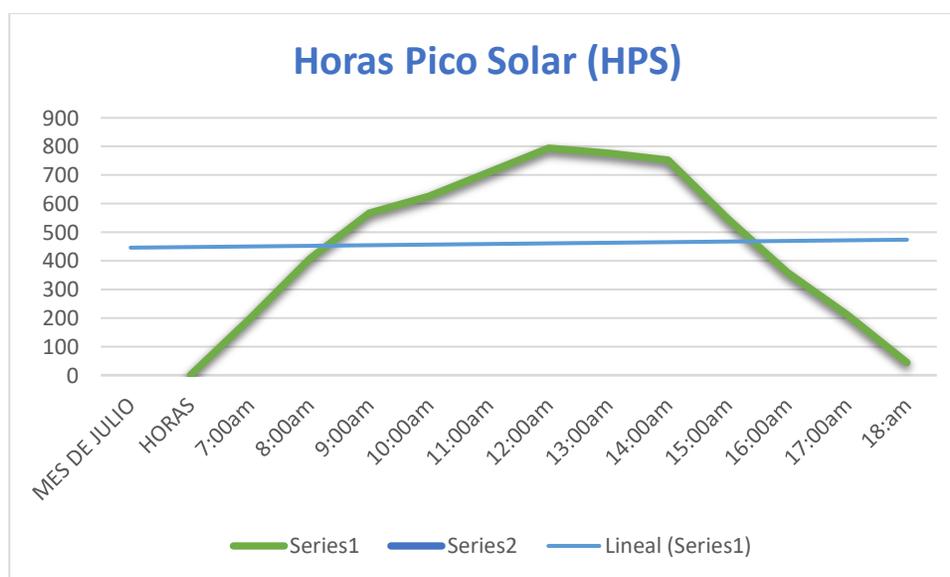
La línea verde representa la cantidad de radiación solar entre las 7:00 am a 18:00pm.

Esta gráfica nos indica una tendencia de irradiación alta desde las 9:00 am hasta las 15:00 pm, con un aumento constante de intensidad hasta alcanzar el pico máximo alrededor de las 11:00 am.

Posteriormente, y se produce una disminución gradual de la intensidad solar desde el mediodía hasta las 18:00 pm.

Figura 31

Horas Solar Pico (HSP) durante un día promedio del mes de Julio



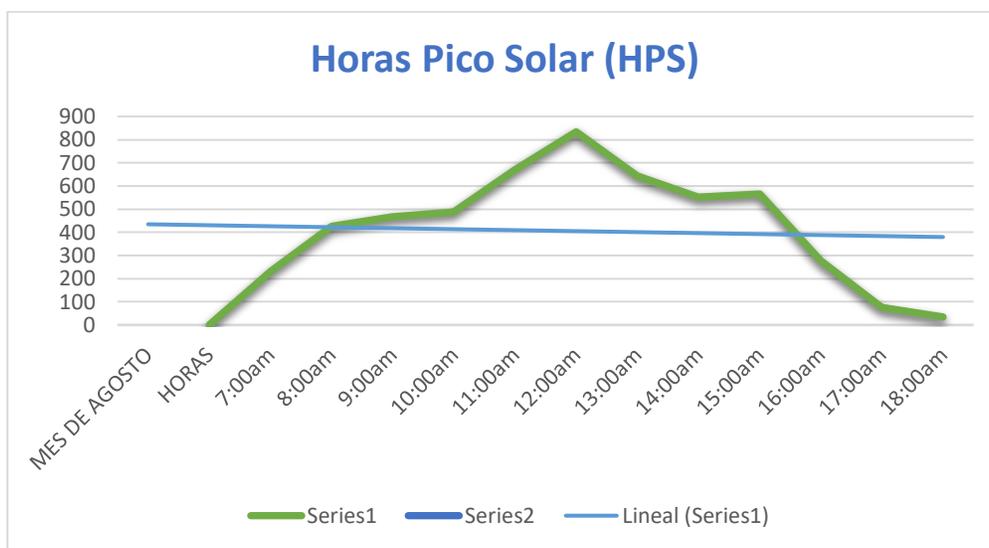
Nota: Esta gráfica ilustra la variación de la intensidad de la luz solar en un día promedio de julio. La línea verde representa la cantidad de radiación solar recibida cada hora.

Se observa una tendencia gradual, donde la intensidad solar se mantiene constantemente desde las 9:00 am. hasta las 15:00 pm., aproximadamente. Esto indica que la luz del sol se vuelve más intensa a medida que avanza la mañana, alcanzando su máximo al alrededor del mediodía (12:00 pm), cuando la intensidad del sol es máxima.

Esta es la hora del día en la que el sol está más directamente sobre nosotros, recibiendo la mayor cantidad la mayor cantidad de irradiación. A partir del mediodía, se produce un debilitamiento gradual de la intensidad del solar, que continua hasta las 18:00pm. Esto significa que, por la tarde, la luz del solar se vuelve más débil.

Figura 32

Horas Solar Pico (HSP) durante un día promedio del mes de agosto

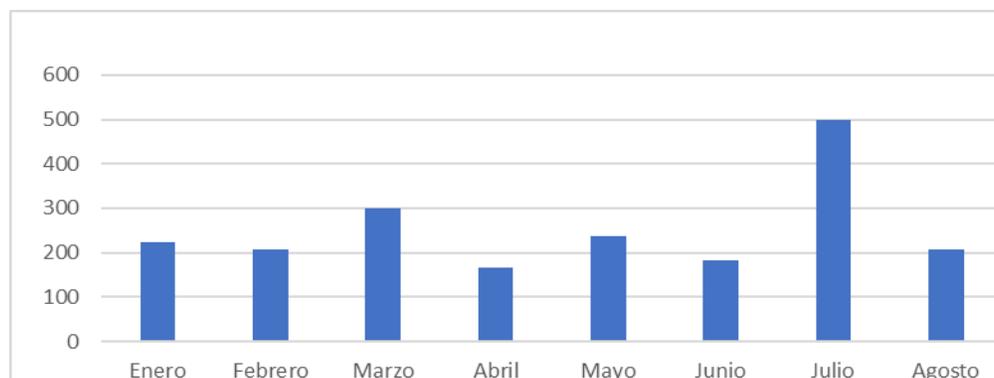


Nota: Asimismo, la gráfica representa cómo cambia la intensidad solar a lo largo de un día promedio del mes de agosto, desde las 7:00 am a 18:00pm.

Se observa una tendencia gradual donde la intensidad de la luz solar, que se mantiene constantemente desde las 9:00 am hasta las 15:00 pm. Esto significa que la luz del sol se vuelve más intensa a medida que avanza la mañana, alcanzando su punto máximo al medio día (12:00 pm), momento en el que el sol está más directamente sobre nosotros. Posteriormente, la intensidad del sol disminuye gradualmente hasta las 18:00 horas, lo que significa que, por la tarde, la luz solar se vuelve más débil.

Figura 33

Consumo eléctrico del laboratorio del ISTMS según EERSSA



Nota. La gráfica muestra el consumo de energía eléctrica según la EERSSA medido en kilovatios hora (kWh) a lo largo de los primeros ocho meses del año.

La gráfica presenta el consumo de energía eléctrica de los primeros ocho meses del presente año del área del laboratorio del ISTMS, expresado en kilovatios hora (kWh). Cada barra representa un mes y su altura indica la cantidad de energía consumida durante ese período. Este consumo es el que suministra la empresa eléctrica por medio de las redes de distribución.

En el análisis de consumo de energía eléctrica, marzo registra el valor más alto con 299,78 kWh,. A partir de los datos recopilados, se calcula un consumo promedio mensual de 230,86 kWh y anual de 2770,29 kWh. En términos financieros, esto representa un gasto promedio mensual de \$20,78 y anual de \$249,32 para el ISTMS de la ciudad de Cariamanga.

Estas variaciones del consumo eléctrico pueden estar influenciadas por diferentes factores, como:

- ✚ **Horario de funcionamiento del laboratorio:** Si el laboratorio tiene un horario de funcionamiento variable o si se realizan experimentos que demandan mayor consumo energético en ciertos períodos, esto puede influir en los resultados.

- ✚ **Tipo de equipos utilizados:** Los equipos eléctricos presentes en el laboratorio (computadoras, instrumentos de medición, etc.) y su eficiencia energética también pueden afectar el consumo total.
- ✚ **Mantenimiento de equipos:** Las tareas de mantenimiento de equipos pueden implicar un mayor consumo energético en determinados momentos.

4.1.2 Costo del consumo eléctrico del laboratorio del ISTMS

Revisando el consumo eléctrico durante los primeros ocho meses del presente año obtenemos un costo aproximado de \$145,44 en lo que va de este año, como lo indica la siguiente tabla

Tabla 17

Costo del Consumo Eléctrico de los primeros meses del año Laboratorio del ISTMS según EERSSA

Mes	Costo	Consumo kwh
Enero	17,10	190
Febrero	20,21	224,96
Marzo	26,98	299,78
Abril	14,87	165,22
Mayo	21,38	237,56
Junio	20,21	224,56
Julio	24,69	274,33
Total	145,44	2030,86

Nota: Esta tabla muestra el registro del consumo y el costo de energía eléctrica según datos de EERSSA del laboratorio durante los primeros ocho meses del año.

Con los datos obtenidos se calcula un consumo promedio mensual de 230,86 kWh y anual de 2770,29 kWh. En términos financieros, esto representa un gasto promedio mensual de \$20,78 y anual de

\$249,33 para el Instituto Superior Mariano Samaniego al continuar dependiente de la red eléctrica nacional.

Tabla 18

Costo del Consumo al Mes y Anual al Implementar el Sistema OFF-GRID

Costo al implementar el Sistema OFF-GRID	
kWh-mes	6,18
Costo-mes	12,80
Costo AÑO	153,63
TIR	1,05

Nota. Esta tabla nos indica el consumo total implementando el Sistema Fotovoltaico, además consideramos la Tasa Interna de Retorno (TIR) lo cual nos sirve para analizar si nuestro sistema es factible o no implementarlo.

Tasa TIR se la obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación 17. Tasa TIR

$$TIR = \frac{\text{Gasto de implementación} - \text{Ahorro}}{\text{Ahorro}} * 100\% \quad (17)$$

Primero se calcula la inversión inicial con el costo del consumo anual de energía del sistema a implementado por los 25 años de vida útil ($153,63 * 25$), el resultado nos permite identificar el ahorro durante este periodo de vida útil, el cual podrá ser invertido en otras necesidades. El cálculo es el siguiente:

$$TIR = \frac{7490,05 - 3649,30}{3649,30} * 100\% = 1,05$$

Según (Ramón, 2023) este resultado del TIR es 1.05 (>0) podemos interpretar que si el ISTMS decidiera implementar el sistema fotovoltaico OFF-GRID es resulta factible y viable ya que sus beneficios superan los gastos de inversión.

4.1.3 Presupuesto de implementación del sistema OFF GRID

Este presupuesto detalla los costos estimados de cada componente para la instalación de un sistema OFF GRID de energía solar fotovoltaico. A continuación, presentamos un desglose de todos los componentes principales y sus respectivos precios:

Tabla 19

Presupuesto de Implementación del Sistema

Descripción	Cantidad	Costo por unidad
PANEL FV SOLAR 150W-12V POLYCRISTALINO	8	117,00 USD
BATERIA JYC GEL 12V 200AH	12	450,00 USD
INVERSOR HIBRIDO OFF GRID GROWATT SPF 3000TL LVM 24V	1	876,00 USD
REGULADOR DE CARGA SRNE HCPWM 12V/24V 100A	5	54,00 USD
CABLE SOLAR DC 6MM ²	30 m	1,49 USD /m
CONECTORES MC4	2	4,2 USD
DC BREAKERS PARA SISTEMAS SOLARES	1	34,50 USD
GASTOS VARIOS (MATERIAL ADICIONAL)		100,00 USD
Total		7668,9 USD

Nota. La tabla proporciona una visión clara y concisa de los costos involucrados en la instalación de un sistema solar fotovoltaico para el laboratorio del ISTSMS con un total de \$ 7668.9 en materiales. Este presupuesto se lo realizó utilizando y sacando precios de la página PROVIENTO, la cual se encarga de la venta de productos para energías renovables (Proviento Store, 2023)

4.2 Discusión

La instalación de sistemas fotovoltaicos OFF-GRID fuera de la red en el laboratorio del ISTMS enfrenta desafíos importantes que cuestionan su viabilidad y posible funcionamiento eficiente. Primero, las condiciones físicas del laboratorio pueden no ser óptimas para la instalación de paneles solares, debido a posibles limitaciones de espacio en el techo o áreas aledañas, así como a la presencia de obstáculos que crean sombras y reducen la eficiencia de la recolección de energía solar. Además, el cambio climático en la región puede afectar la consistencia de la generación eléctrica, especialmente durante las temporadas de invernales con menor radiación solar.

Desde una perspectiva técnica, la complejidad de los sistemas fuera de la red requiere componentes especializados como baterías de alta capacidad, potentes inversores y controladores de carga avanzados, cuya compra y mantenimiento pueden exceder el presupuesto disponible del instituto. La implementación también requiere personal capacitado en instalación, operación y mantenimiento, recursos humanos que pueden no estar fácilmente disponibles en ISTMS.

Además, las fluctuantes necesidades de energía del laboratorio, especialmente durante experimentos de alta energía, pueden exceder la capacidad de la célula solar, poniendo en peligro la continuidad de las operaciones de investigación y enseñanza.

Las regulaciones y permisos locales requeridos para instalaciones de energía autónomas pueden agregar complejidad y costo al proyecto. Teniendo en cuenta estos factores, se cuestiona la viabilidad a largo plazo del sistema, ya que los beneficios potenciales de la sostenibilidad y el ahorro de energía pueden no justificar la inversión inicial y los costos operativos continuos.

El análisis del consumo eléctrico del laboratorio del ISTMS revela la importancia de implementar medidas de eficiencia energética para reducir costos y contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente. Al abordar los factores que influyen en el consumo y aplicando las recomendaciones mencionadas, es posible lograr ahorros significativos en el gasto energético.

CAPITULO V

5.1 Conclusiones.

Se realizó un detallado análisis técnico- económico de la demanda eléctrica del laboratorio, donde se demostró que la instalación de un sistema fotovoltaico en el laboratorio de electricidad no es factible en las condiciones actuales, por motivo de que el período de recuperación de la inversión excede significativamente la vida útil esperada del sistema.

Se efectuó la recopilación de datos de la radiación solar del laborío del Instituto Superior Mariano Samaniego del cantón Cariamanga, durante un periodo consecutivo de tres meses, obtenidos a través de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 y UV que alberga la misma institución, para verificar el rendimiento del sistema fotovoltaico de manera exitosa.

Se diseñó y calculó un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda eléctrica de la red de iluminación y circuitos derivados hacia el laboratorio del instituto. Posteriormente, se realizó el estudio de la demanda eléctrica, revelando que se requieren para cubrir las necesidades eléctricas del laboratorio y lograr su dependencia de la red eléctrica nacional, asegurando así el cumplimiento de sus labores diarias de manera autónoma.

El estudio del análisis costo-beneficio al implementar el sistema fotovoltaico OFF-GRID en el Instituto Superior Tecnológico Mariano Samaniego, es factible ya que la tasa interna de retorno (TIR) nos indica que si invirtiéramos en este proyecto, ahorraríamos recursos que se pueden invertir en otras necesidades, ya que el costo de su inversión inicial y el mantenimiento del sistema fotovoltaico no superan los beneficios económicos y energéticos proyectados a largo plazo por lo cual no se puede asegurar el éxito del proyecto y convertir al instituto en un referente en la utilización de energías renovables en la región.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda reemplazar la iluminación existente por tecnología LED y colocar sensores de movimiento para el controlar la iluminación, con el objetivo de evitar el desperdicio de electricidad y mejorar las condiciones físicas de la infraestructura institucional.

Realizar un dimensionamiento preciso del sistema fotovoltaico, considerando la demanda máxima y mínima del laboratorio, así como las condiciones climáticas locales, para seleccionar componentes de alta calidad y eficiencia, como paneles solares monocristalinos, inversores y baterías de alta eficiencia. Además, implementar un sistema de monitoreo y supervisión para evaluar el desempeño del sistema, detectar posibles fallas y garantizar su óptimo funcionamiento.

Este estudio tiene una gran relevancia para futuros proyectos de implementación en sistemas fotovoltaicos OFF-GRID, por lo que se recomienda otórgale la debida importancia necesaria para impulsar avances tecnológicos y adaptarse a los cambios en el mercado energético. En este sentido, es especialmente crucial en nuestro país, donde la generación eléctrica actualmente enfrenta una crisis, lo que subraya la necesidad de abordar este tema.

REFERENCIAS

- Ahoma, J. D. (2023). *Manual de Estaciones Meteorológicas*. (3a ed.). Oxford University Press.
- Albasolar. (10 de 05 de 2022). *Regulador mppt o pwm*. Obtenido de <https://albasolar.es/regulador-mppt-o-pwm/>
- Aristizabal, A. J., Hernandez, J. C., Gordillo, G., Rodríguez, J. C., & Álvarez, C. A. (2018). Revisión de modelos matemáticos para caracterizar curvas características de paneles fotovoltaicos. *Ingeniería Solidaria*. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2018.01.06>, 14(24), 1-19.
- Azqueta, P. (Septiembre de 2010). *Algunos conceptos, definiciones y ecuaciones usadas en geometría solar*. Obtenido de https://m1db.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/05/conceptos-de-geometria-solar_azqueta.pdf
- Chao, L., Yu, H., Gao, W., Ma, Y., & Liu, Y. (2019). Temperature and Irradiance Characteristics of a PV Module at Extreme Conditions. *Sustainability* <https://doi.org/10.3390/su11236562>, 1(23), 6562.
- Chavesta, E. (20 de 04 de 2019). *Interruptor Termomagnético*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/406945588/Interruptor-termomagnetico>
- CONELEC. (2018). *Atlas solar del Ecuador*. Obtenido de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Cortés, C. L., Gloria S., G.-G., Betancur-Londoño, F., Carvajal-Quintero, S. X., & Guerrero-González, N. (04 de 2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales [Imagen]. *Tecnológicas*.
- Diego , A., Alexander , G., & Walter, M. (2012). Diseño e Implementacion de un Prototipo de Estacion Meteorologica . *Revista Universitaria en Telecomunicaciones Informatica y Control* , 24,25 .
- Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.

EFC SOLAR. (2024). *Estructuras para paneles solares [Imagen]*. Obtenido de

<https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/estructuras-para-paneles-solares-tipos/>

Febres Flores, M. E. (2021). *DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO DE LAS CURVAS*

CARACTERÍSTICAS 1 – V DE PANELES SOLARES PARA EL LABORATORIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

EN LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN [Imagen]. Obtenido de UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN.

TESIS DE PREGRADO:

<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8629/Febres%20Flores%20Marcos%20Erikson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FQS Battery. (23 de 11 de 2023). *Comparación de baterías de litio, AGM y gel [Imagen]*. Obtenido de

https://www.fqsbattery.com/tienda/La-fiebre-del-litio--Descubre-las-diferencias-entre-baterias-de-Litio--Agm-y-Gel_10_n

García Martín, P. F. (2021). *Energía solar fotovoltaica para todos*. MARCOMBO, S. L.

Ghazi, S., Malik, H., Ahmad, J., & Munir, A. B. (2022). A Comprehensive Review of Methods for Modeling and Characterization of Photovoltaic Modules. *Energies*, <https://doi.org/10.3390/en15041492>, 15(4), 1492.

Gómez, A. (22 de mayo de 2024). *Sol y Arquitectura*. Obtenido de RevistaSolArquitectura.:

[https://arquitectoalejandrogomezrios.com/fm/publicaciones/articulos/2017-](https://arquitectoalejandrogomezrios.com/fm/publicaciones/articulos/2017-12%20Revista%20Sol%20y%20Arquitectura/RevistaSolArquitectura.pdf)

[12%20Revista%20Sol%20y%20Arquitectura/RevistaSolArquitectura.pdf](https://arquitectoalejandrogomezrios.com/fm/publicaciones/articulos/2017-12%20Revista%20Sol%20y%20Arquitectura/RevistaSolArquitectura.pdf)

Guadarrama, C. G. (2022). *Ángulos solares desde el punto de vista del observador [Imagen]*.

Honsberg, C., & Bowden, S. (2023). *Photovoltaics Education*. Obtenido de <https://www.pveducation.org/>

Inmodo. (22 de 04 de 2022). *Los paneles solares sí funcionan cuando llueve [Imagen]*. Obtenido de

Inmodo: <https://inmodo.es/afecta-la-lluvia-a-los-paneles-solares/#:~:text=Los>

Izquierdo, F. (2010). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Obtenido de CONELEC:

<https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Creative Commons.

Limón, N. V. (febrero de 2018). *Energía Solar Térmica*. Obtenido de Energía Solar Térmica:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48387151/Naturaleza_Geometria_Solar__clima_y_Disponibilidad-libre.pdf?1472413395=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEnergia_Solar_Termica.pdf&Expires=1716178600&Signature=Eva-FwEGR--EuvmfuWSujcwUuhmMKd

Martínez Martínez, J. L. (16 de 11 de 2018). *El movimiento aparente del Sol*. Obtenido de Astronomía para todos: <https://astronomiaparatodos.com/2018/11/16/el-movimiento-aparente-del-sol/>

Martínez Martínez, J. L. (16 de 11 de 2018). *El movimiento aparente del Sol [Imagen]*. Obtenido de Astronomía para todos: <https://astronomiaparatodos.com/2018/11/16/el-movimiento-aparente-del-sol/>

Novoa Jerez, J. E., Alfaro, M., Alfaro, I., & Guerra, R. (2020). Determinación de la eficiencia de un mini panel solar fotovoltaico: una experiencia de laboratorio en energías renovables{Imagen}. *Revista UNAM*.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2021). *Sistemas de Observación Meteorológica*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10684.

Pachauri, R. K., Moors, E. H., van Vuuren, D., & Worrell, E. (2020). *Photovoltaic technology and potential*. *En Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (pp. 511-537)*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.015>.

Pareja, M. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica; 3a edición*. {Imagen}. España: Marcombo.

Peña, L. (20 de 04 de 2023). *Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red | Autónomo | Off Grid {Imagen}*. Obtenido de ilumin : <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-aislado-de-la-red-autonomo-off-grid/>

- Proviento Store. (16 de Septiembre de 2023). *Sistemas fotovoltaicos aislados*. Obtenido de PROVIENTO STORE: <https://proviento.com.ec/>
- Ramón, J. (25 de agosto de 2023). *Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula?* Obtenido de Sage: <https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>
- Romero, J. (enero de 2015). *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador*. Obtenido de Universitat Politècnica de Catalunya: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salvador Escoda S.A. (2017). *Energética y geometría solar [Imagen]*. Obtenido de <https://www.salvadorescoda.com/2017/11/27/energetica-y-geometria-solar/>
- Sanchez, A., Martínez, D., Santos, R., Ortega, J., & Sanchez, P. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial servicio e industrial {Imagen}*. Mexico: Juan Tonda Mazón.
- Sifuentes, D., Martínez, E., & Berumen, G. (2016). Diseño e implementación de metodología para la elaboración de diagnósticos. *Revista de Aplicaciones en la Ingeniería*.
- Torres-Pacheco, S., Jurado-Pérez, F., Granados-Liberman, D., & Lozano-Luna, A. (2018). Eficiencia en paneles solares. *Revista del Diseño Innovativo*, 2-2: 9-21.
- Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.
- Vasquez, E. (19 de Abril de 2022). *Qué es un sistema Off-Grid*. Obtenido de TRITEC CENTER: <https://energiasolar.tritec-center.cl/blog/que-es-un-sistema-off-grid>
- Vasquez, E. (18 de 07 de 2022). *Tipos de cable solar ¿Cuál necesita tu proyecto?* Obtenido de Tritec Center.: <https://energiasolar.tritec-center.cl/blog/tipos-de-cable-solar-cual-necesita-tu-proyecto>
- Verde, M. (2022). Photovoltaic principles. *Physica Status Solidi (a)*, 2201141. <https://doi.org/10.1002/pssa.202201141>, 219(5).

Wang, C., Li, Y., & Liu, J. (2021). "A review of grid-connected photovoltaic inverter technologies".

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110478.

ANEXOS

Gráficas de la radiación solar emitidas por la estación meteorológica.

Figura 34

Gráficas de la radiación solar



Figura 35

Datos numéricos en wh/m2 de la radiación solar

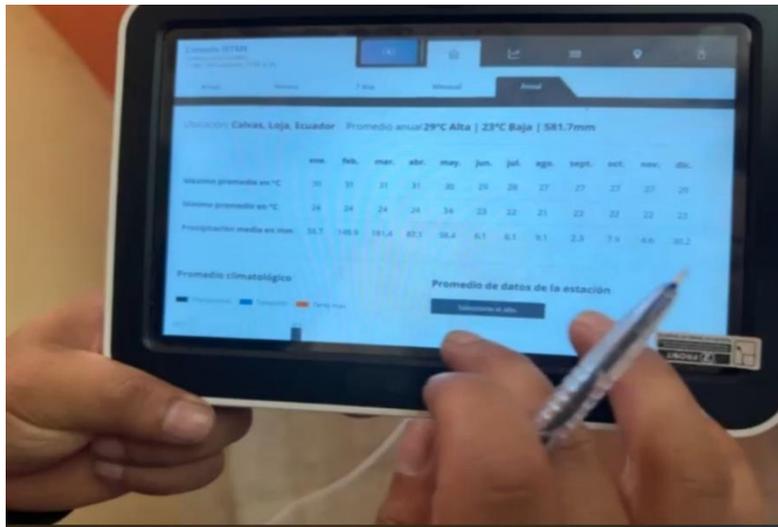


Figura 36

Gráfica de resultados de la radiación solar



Figura 37

Estación Meteorológica del ISTMS



Figura 38

Estación Meteorológica del ISTMS



Figura 39

Imagen de recolección de información del ingreso al laboratorio del ISTMS



Figura 40

Imagen de recolección de información del canchón de mecánica del ISTMS



Figura 41

Imagen de recolección de información del laboratorio de electricidad del ISTMS



Figura 42

Imagen de recolección de información del elevador de mecánica del ISTMS

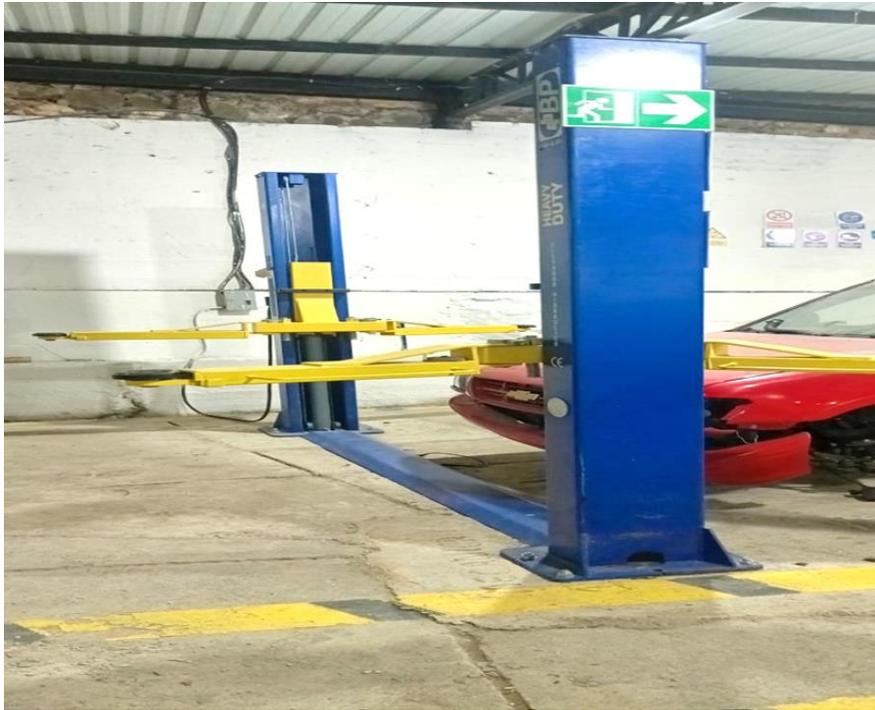


Figura 43

Imagen de recolección de información del compresor del ISTMS

