



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“Estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar
fotovoltaica a la institución educativa Rafael Loayza Guevara,
Cajamarca interconectado a la red”

AUTOR:

Mosqueira Llovera, Alex David (ORCID: 0000-0003-3098-973X)

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

CHICLAYO – PERÚ

2021

Dedicatoria

El presente trabajo, como toda la carrera para optar al título de Ingeniero mecánico eléctrico, lo dedico de todo corazón a dios, a mi familia amada, que me supo tener la paciencia suficiente y necesaria para poder lograr mi meta a cabalidad y alcanzar tan anhelado sueño.

Alex David

Agradecimiento

Agradezco a Dios porque es Él quien me concede todo cuanto necesito para desarrollarme profesionalmente.

Agradezco principalmente a mis padres por ser los cimientos de mi educación con su guía, apoyo y ejemplo.

Al igual que me alentó hasta el cansancio para que terminara esta Tesis y me brindó su amistad Y al universo por acomodar las piezas de esta forma tan maravillosa. ¡Gracias!

A la Universidad Cesar Vallejo, y a mis grandes compañeros que sin su apoyo desinteresado y constante no pudiera terminar.

Alex David

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3. Población y muestra.....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimientos	15
3.6. Método de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS	17
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS	72

Índice de tablas

Tabla 01: <i>Operacionalización de variables</i>	14
Tabla 02: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 05/10/2019</i>	17
Tabla 03: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 06/10/2019</i>	18
Tabla 04: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 07/10/2019</i>	20
Tabla 05: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 08/10/2019</i>	21
Tabla 06: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 09/10/2019</i>	23
Tabla 07: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 10/10/2019</i>	24
Tabla 08: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 11/10/2019</i>	26
Tabla 09: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 12/10/2019</i>	27
Tabla 10: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 13/10/2019</i>	29
Tabla 11: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 14/10/2019</i>	31
Tabla 12: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 15/10/2019</i>	32

Tabla 13: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 16/10/2019</i>	33
Tabla 14: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 17/10/2019</i>	35
Tabla 15: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 18/10/2019</i>	36
Tabla 16: <i>Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 18/10/2019</i>	38
Tabla 17: <i>Determinación de los niveles de radiación solar $w.h/m^2$</i>	40
Tabla 18: <i>Distribución de Weibull</i>	42
Tabla 19: <i>Máxima demanda</i>	44
Tabla 20: <i>Historial de consumo eléctrico de la Institución Educativa</i>	45
Tabla 21: <i>Recibos de consumo eléctrico de la Institución Educativa</i>	47
Tabla 22: <i>Determinación del presupuesto del proyecto</i>	61
Tabla 23: <i>Pagos facturados a la Institución Educativa que pasarían hacer ingresos</i>	61
Tabla 24: <i>Evaluación económica del proyecto</i>	63

Índice de figuras

<i>Figura 01:</i> Panel fotovoltaico	5
<i>Figura 02:</i> Concentrador cilíndrico-parabólico	5
<i>Figura 03:</i> Esquema de una red con generación distribuida	12
<i>Figura 04:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 05/10/2019	18
<i>Figura 05:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 06/10/2019	19
<i>Figura 06:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 07/10/2019	21
<i>Figura 07:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 08/10/2019	22
<i>Figura 08:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 09/10/2019	24
<i>Figura 09:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 10/10/2019	25
<i>Figura 10:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 11/10/2019	27
<i>Figura 11:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 12/10/2019	28
<i>Figura 12:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 13/10/2019	30
<i>Figura 13:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 14/10/2019	32
<i>Figura 14:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 15/10/2019	33
<i>Figura 15:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 16/10/2019	34
<i>Figura 16:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 17/10/2019	36
<i>Figura 17:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 18/10/2019	37
<i>Figura 18:</i> Evolución de los niveles de radiación solar en w/m^2 – 19/10/2019	39
<i>Figura 19:</i> Promedio de irradiación en w/m^2	41
<i>Figura 20:</i> Consumo de energía 2018	46
<i>Figura 21:</i> Software HOMER	47
<i>Figura 22:</i> Características eléctricas del módulo solar seleccionado	49
<i>Figura 23:</i> Características eléctricas del inversor seleccionado	50
<i>Figura 24:</i> Vista de Ingreso al software Homer	53
<i>Figura 25:</i> Ubicación de la zona de influencia: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca	54
<i>Figura 26:</i> Configuración de la carga total: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca	54
<i>Figura 27:</i> Configuración de la conexión a la red: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca	55

<i>Figura 28:</i> Configuración de la conexión al generador solar: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca	55
<i>Figura 29:</i> Configuración de la conexión de los paneles solares del generador solar: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca.....	56
<i>Figura 30:</i> Configuración de conexiones teniendo en cuenta la selección de los elementos calculados: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca	57
<i>Figura 31:</i> Calculando modelamiento del estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca interconectado a la red.....	57
<i>Figura 32:</i> Especificación técnica del generador solar según dimensionamiento en Software Homer Pro.....	58
<i>Figura 33:</i> Especificación técnica del convertor según dimensionamiento en software Homer Pro	58
<i>Figura 34:</i> Especificación técnica de la Interconexión a la red según dimensionamiento en software Homer Pro.....	59
<i>Figura 35:</i> Resultados del modelamiento del estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca interconectado a la red	59
<i>Figura 36:</i> Error relativo máximo en el costo actual neto	60
<i>Figura 37:</i> Comparación económica.....	60
<i>Figura 38:</i> Flujo de consumo de energía en soles en el periodo de un año en la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca.....	62

Resumen

En el Perú casi tres millones de personas no tienen acceso moderno a la energía, sobre todo las poblaciones aisladas rurales. Por ello se planteó el siguiente objetivo general: Realizar un estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara teniendo como objetivos específicos: Analizar los datos de la radiación solar en la Institución Educativa, Determinar la demanda de energía de la Institución Educativa y Dimensionar la instalación fotovoltaica y su interconexión. Las mediciones fueron tomadas en un periodo de 10 minutos, la hora inicial fue 06:00 am y como final las 06:00 pm, tomando para tal efecto 06 mediciones por cada hora teniendo como resultado un nivel de radiación solar mínima de 6.98 kw.h/m^2 , por lo que para efectos de cálculo en el diseño del sistema fotovoltaico se utilizó el nivel mínimo de 6.98 kw.h/m^2 . Se concluyó que para el sistema fotovoltaico conectado a la red se determinaron un total de 28 paneles de 370 W monocristalino, 2 regulador de marca: VICTRON ENERGY de 100 amperios modelo: MPPT 150/100 y 2 inversor de marca BESTSUN de 4 kw – 48 DC. Se determinó el proyecto de la Institución Educativa en S/. 79,320.72.

Palabras clave: Energía Solar, Institución Educativa, Radiación Solar, Consumo de Energía.

Abstract

In Peru, almost three million people do not have modern access to energy, especially isolated rural populations. For this reason, the following general objective was proposed: Carry out a study to supply electrical energy through photovoltaic solar energy to the Rafael Loayza Guevara Educational Institution, having as specific objectives: Analyze the data on solar radiation in the Educational Institution, Determine the energy demand of the Educational Institution and Sizing the photovoltaic installation and its interconnection. The measurements were taken in a period of 10 minutes, the initial hour was 06:00 am and the final hour was 06:00 pm, taking for this purpose 06 measurements per hour, resulting in a minimum solar radiation level of 6.98 kw. h / m², so for calculation purposes in the design of the photovoltaic system the minimum level of 6.98 kw.h / m² was used. It was concluded that for the photovoltaic system connected to the grid, a total of 28 monocrystalline 370 W panels were determined, 2 brand regulators: VICTRON ENERGY 100 amp model: MPPT 150/100 and 2 BESTSUN brand inverters of 4 kW - 48 DC. The project of the Educational Institution was determined in S / . 79,320.72.

Keywords: Solar Energy, Educational Institution, Solar Radiation, Energy Consumption

I. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo económico de todo país. Por tal motivo es importante siempre tener actualizados los índices sobre el acceso a dicho servicio para poder ejecutar proyectos orientados a cerrar esas brechas. En ese sentido, se sabe que casi 1,000 millones de personas viven sin electricidad alrededor del mundo. Teniendo registrado este dato, el Banco Mundial ha ejecutado proyectos valorizados en USD 5,000 millones entre los años 2014 y 2018, logrando dar acceso a más de 45 millones de personas (Banco Mundial, 2018).

Por otro lado, el Banco Mundial también ha destinado esfuerzos para aumentar la generación de energía eléctrica aprovechando energía renovable amigable con el ambiente, como la aplicación de medidas de eficiencia energética, desarrollándose proyectos por un monto total de USD 11,500 millones, de los cuales la cuarta parte han estado relacionados a minirredes solares (Banco Mundial, 2018).

Según REN21 (2019), en el año 2017 casi 122 millones de personas alrededor del mundo obtuvieron acceso a la energía. El 61% de las personas sin acceso a la energía viven en África.

Asimismo, REN21 (2019), precisa que la potencia instalada mundial con energías renovables aumentó a 2,378 GW en el año 2018, siendo 505 GW de fuente solar fotovoltaica. Esta potencia ha suministrado el 26% de la energía consumida en dicho año, con lo cual, el resto de energía es suministrada por combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón).

Por otra parte, se ha estimado que en 30 años la demanda de electricidad se duplicará, lo que obliga a los sistemas eléctricos estar preparados para los cambios, siendo confiables, seguros y no contaminantes (Hincapié et al, 2017).

Ahora bien, la incorporación de las energías renovables en matriz energética peruana requiere el fortalecimiento y automatización de las redes de distribución, con sistemas inteligentes, protecciones modernas, medidores de tecnología avanzada, entre otros aspectos. En este sentido, la adopción de la generación distribuida es un objetivo en el corto plazo (Osinergmin, 2017).

Actualmente, se están ejecutando proyectos de fortalecimiento de las redes eléctricas de Cajamarca, por un monto de S/. 57 millones. Dichos proyectos comprenden planes piloto de medición inteligente, ampliaciones de redes, remodelación de redes de media tensión, y señalizadores de falla. Asimismo, para el año 2021 se espera completar una inversión de S/. 600 millones en este rubro. Estas inversiones se justifican en el hecho de que desde el año 2012 se ha registrado un aumento de las redes eléctricas en espacios rurales, así como la presencia de fraudes (robos de energía), los cuales debilitan el sistema de distribución (Piscoya, 2018).

¿Cuál es el sistema fotovoltaico óptimo, conectado a red, para suministrar energía eléctrica a la institución educativa Rafael Loayza Guevara?

Justificación científica

La energía solar se encuentra en una gran abundancia y su relación costo-beneficio ha mejorado en los últimos años.

Justificación económica

Actualmente la utilización de energía solar, permite la creación de pequeñas empresas, el cual permite potenciar el desarrollo económico en la región.

Justificación social

La sociedad moderna requiere una fuente confiable de suministro conforme a sus cargas se incrementan ayuda de igual modo en una solución costo-efectiva para mejorar la infraestructura.

Justificación ambiental

Su aplicación ayuda a la disminución del GEI ocasionados por los gases de CO₂ al ambiente, la contaminación ambientales un tema del que no podemos ser ajenos que afecta a todos los seres vivos y este sería una justificación para trabajar con energía limpia. Ya que es respetuosa con el medio ambiente.

Hipótesis

Empleando el software HOMER se puede diseñar un sistema fotovoltaico óptimo para suministrar energía eléctrica a la Institución Rafael Loayza Guevara.

Objetivo General

- Realizar un estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara

Objetivos Específicos

- Analizar los datos de la radiación solar en la Institución Rafael Loayza Guevara.
- Determinar la demanda de energía de la Institución Rafael Loayza Guevara.
- Dimensionar la instalación fotovoltaica y su interconexión, empleando el software HOMER.
- Realizar la evaluación técnica y económica del proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

Seyf et al (2018), desarrolló un método para calcular la carga adicional que puede soportar una red de distribución, como generación distribuida, mediante un modelo estadístico de optimización distribucionalmente robusta que considera un aumento de tensión, capacidad térmica y niveles de cortocircuito. Como resultado, se obtuvo que el tamaño de la muestra de los datos históricos afecta la estimación de la capacidad adicional de la red.

Montedonico et al (2018), analizó la contribución de las comunidades en el desarrollo de proyectos de generación distribuida. La metodología de co-construcción implica la transferencia tecnológica a las comunidades mencionadas para que puedan involucrarse en la ejecución de estos proyectos. Como resultado, se recalca que para el éxito de los procesos participativos es relevante tener un diagnóstico acabado del territorio; crear una propuesta con pertinencia sociocultural; definir reglas claras para el funcionamiento de los equipos de trabajo; trabajar con líderes y organizaciones constituidas, entre otros aspectos.

Adedayo et al (2017), desarrolló un modelo de flujo de potencia para lograr la ubicación óptima de un sistema de generación distribuida dentro de una red de distribución eléctrica. Para este fin los investigadores ejecutaron diversas simulaciones computacionales en base a flujos de energía a través de las líneas de distribución y la estimación de las pérdidas de energía. Como resultado más importante, pudieron reducir en 67% las pérdidas de energía.

Okedu y Uhunmwangho (2014), analizó y optimizó la eficiencia de un sistema híbrido fotovoltaico-diésel mediante un modelo desarrollado en el software HOMER, utilizado para evaluar sistemas energéticos conectados a la red. Como conclusión, se destacó que el perfil de carga impacta directamente en los costos de paneles fotovoltaicos, generador diésel y baterías; sin embargo, el costo relacionado al inversor es independiente de este perfil de carga.

La energía solar es renovable y proviene de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol y puede presentarse o aprovecharse en forma de calor o electricidad a través de diferentes tecnologías: células fotovoltaicas (los cuales conforman los paneles fotovoltaicos) que convierten la luz solar en una corriente eléctrica mediante materiales semiconductores, concentradores cilíndrico-parabólicos que proyectan la radiación solar sobre una tubería ubicada en el punto focal a través de la cual fluye agua que se transforma en vapor que acciona una turbina y un generador, discos parabólicos, torres solares, entre otros.



Figura 01: Panel fotovoltaico

Fuente: A review paper on electricity generation from solar energy.

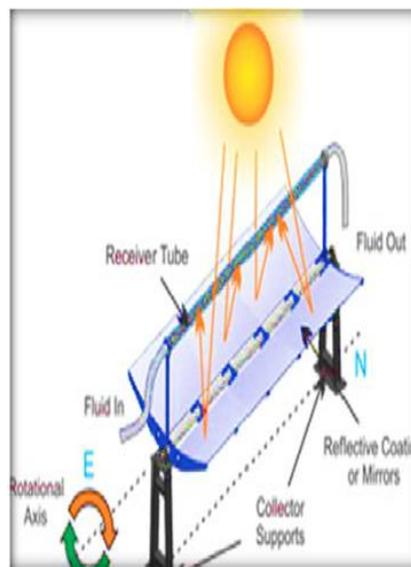


Figura 02: Concentrador cilíndrico-parabólico

Fuente: A review paper on electricity generation from solar energy.

El espectro de la energía solar es muy amplio y su intensidad varía de acuerdo a la hora del día y la localización geográfica. A partir de este dato se puede determinar la eficiencia de un panel fotovoltaico que puede estar entre 15% y 17%, así como otros parámetros característicos como potencia suma, voltaje en placa abierto, corriente de corto circuito, voltaje en potencia sumo, corriente en potencia sumo, entre otros. La temperatura es una condición a tener en cuenta también, pues influye directamente en la eficiencia del panel fotovoltaico. Algunos sistemas poseen un mecanismo de seguimiento al Sol, con el cual el plano del panel permanece perpendicular a la radiación solar en todo momento, aumentando su eficiencia (Solar Energy and Photovoltaic Systems, 2011).

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de dos maneras:

- Sistemas aislados: Son aquellos que no están respaldados por el sistema eléctrico interconectado o red pública. Utilizan una bancada de baterías para almacenar el excedente de energía producida y no consumida, para poder utilizarla en las horas de ausencia de luz solar y en la noche, aumentando su autonomía (Washington State University, 2009).
- Sistemas conectados a red: Son aquellos que se encuentran conectados al sistema eléctrico interconectado o red pública. No necesitan baterías pues el excedente de energía que puedan generar la inyectan a dicha red pública, pudiendo obtener algún beneficio económico. Esta configuración puede entenderse como un sistema híbrido pues la demanda energética la cubren tanto el generador solar como el sistema eléctrico interconectado, el cual funciona como respaldo (Washington State University, 2009).

Ambos tipos de sistema requieren de un inversor para poder convertir la corriente continua que genera los paneles fotovoltaicos en una corriente alterna, la cual es la más empleada por los puntos de carga. Asimismo, se requiere de un regulador de tensión que controle la corriente que se inyecta en la carga o en las baterías, dependiendo de la intensidad solar que capta los paneles (Washington State University, 2009).

Los sistemas conectados a red, son conocidos como “generación distribuida”. Este concepto puede definirse de varias formas. Puede ser entendida como cualquier tecnología de generación de potencia a baja escala que proporciona electricidad en los sitios muy cercanos a los usuarios o consumidores. La generación dispersada es una planta de fuente de energía eléctrica conecta naturalmente a un sistema de distribución de baja tensión. Entre sus principales características se tiene que se planifica y se despacha de manera descentralizada, admite diferentes fuentes energéticas: solar, eólica, diésel, gas natural, biomasa, entre otros, y su potencia es de unos pocos kilowatts (Definitions for Distributed Generation: a revision, 2005).

La generación distribuida comprende la instalación de diversos sistemas de producción de energía eléctrica (de diferentes fuentes) en los puntos mismos de consumo o carga, es decir, el usuario final es también productor de electricidad.

Esta nueva tendencia en el sector eléctrico, al no planificarse debidamente, ha conllevado una serie de problemas y retos técnicos para los sistemas de distribución eléctrica, tales como pérdidas de energía, regulación de tensión, aumentos de niveles de corrientes de falla, sobretensiones, subtensiones, armónicos y huecos de tensión.

Debido a los problemas anteriormente mencionados, es conveniente establecer y estandarizar índices que permitan analizar el impacto de la generación distribuida sobre los sistemas de distribución eléctrica. Estos índices se basan en perfil de tensión, pérdidas de energía, corrientes de falla y armónicos, y pueden llevar a una eficiente planificación de la ubicación y capacidad de los sistemas de generación distribuida a instalar.

Para la implementación de estos índices se requiere un marco regulatorio que fije las reglas y normas para la integración de la generación distribuida. (IEEE, 2015).

En atención a lo expuesto, uno de los grandes retos a superar por parte de la generación distribuida es la incorporación de nuevas protecciones eléctricas que admitan flujos bidireccionales de energía (dada la naturaleza de la generación distribuida), teniendo en cuenta que las protecciones convencionales están diseñadas para flujos en una sola dirección.

Así, esta nueva forma de concebir sistemas de distribución trae consigo un aumento en los niveles de corriente de cortocircuito, haciendo más sensibles las protecciones de sobre corriente. Es preciso también la intervención de relés digitales debido a este aumento de corrientes de cortocircuito.

Por último, se necesitan más posibilidades en los juegos de ajustes y de curvas para lograr la coordinación necesaria entre los diferentes dispositivos de protección

Otro tipo de protección eléctrica que puede ver afectada su operación es la de anti-aislamiento o separadora, especialmente, cuando se utiliza reenganche automático, lo cual es usual en las redes eléctricas de media tensión. La generación distribuida puede provocar que el interruptor de reenganche opere defectuosamente, manteniendo la falla durante el tiempo de apertura del reenganche, y peor aún, produciendo un reenganche fuera de fase. Ejecutando diversas simulaciones con la ayuda de algún software de modelamiento se puede comparar el comportamiento de las protecciones eléctricas frente a diferentes escenarios de generación distribuida.

Las condiciones de operación exitosa dependen fundamentalmente del tiempo que tarde en extinguirse el arco producido por la falla, es decir, de los parámetros y condiciones bajo las cuales ocurra la falla y con ésta el arco. El tiempo que demora la generación distribuida en su desconexión influye sobre el éxito de un reenganche automático por lo que para evitar los conflictos que puede conllevar la puesta en marcha de la generación distribuida es preferible utilizar protecciones rápidas contra aislamiento.

Junto con la integración de nuevas protecciones eléctricas, es fundamental saber localizar las fallas dentro de un sistema de distribución con generación distribuida. Un método para llevar a cabo esta actividad consiste en el cálculo de la impedancia, que toma en cuenta el efecto de la generación dispersada y la variación de la corriente de carga, a partir de las mediciones de tensiones y corrientes realizadas en los puntos de generación.

Esta metodología es válida en el sistema IEEE 34 nodos. En este sistema se desarrollan simulaciones examinando resistencias de falla en el rango de 0Ω y 40Ω y una aportación de generación distribuida entre 5% y 50%. Las estimaciones producto de este método poseen un error por debajo del 2%.

En esta misma línea de prevención de fallas en sistemas con generación distribuida, algunos autores han planteado una metodología que se basa en el concepto del equivalente de Thevenin. Se formula la ubicación al punto de falla, utilizando componentes de fase. Como proporción del método, éste considera el modelo estático de carga permitiendo mejorar su comportamiento. La propuesta fue validada en el circuito IEEE 34 nodos en donde se simularon fallas monoafásicas cuyos resultados arrojaron un error inferior a 1.597%.

Otro aspecto que requiere una adecuada planificación es la demanda. Un método, en este sentido, considera la incertidumbre de la demanda dentro del Algoritmo Genético de Chu-Beasley. Para implicar la incertidumbre en la metodología se utilizó el método de Simulación de Montecarlo.

El dimensionamiento de un generador distribuido posee varias restricciones por lo que debe ser optimizado de manera eficiente. El problema más común es la de definir qué potencia debe entregar cada elemento de un conjunto de generadores distribuidos para satisfacer una demanda fija, minimizando costos de generación y pérdidas de energía. Una solución a este problema es la implantación de un modelo constituido por algoritmos genéticos y PSO. Los primeros se desarrollan imitando los fenómenos biológicos de reproducción y selección natural, en los cuales el azar y la aleatoriedad son el factor predominante.

En tanto, el PSO, denominado optimización por enjambre de partículas, de igual manera se basa en heurísticas y requiere la inicialización del sistema en una población candidata de soluciones, las cuales se "desplazarán" a la solución óptima. A cada posible solución se le llama partícula, la cual tiene asociada a ella una posición y una velocidad iniciales. Cada una de estas partículas realiza un seguimiento de coordenadas determinadas por el espacio del problema asociada con el mejor valor de la función objetivo.

Existen otros modelos de optimización de ubicación y dimensionamiento de generadores distribuidos, algunos de los cuales no consideran costos y solo aspectos técnicos. Un modelo matemático está conformado por una función objetivo y un conjunto de restricciones. Una función objetivo es un criterio que se expresa mediante las variables propias del comportamiento del sistema. Esta función puede ser maximizada o minimizada según las necesidades y condiciones del problema.

En el caso de la generación distribuida, es posible que se trate de aspectos técnicos o económicos. Dentro de las restricciones técnicas se encuentran balances de potencia activa y reactiva, límites de tensiones, límites de potencia inyectada por el generador distribuido y capacidad de las líneas de transmisión. Existen modelos analíticos, modelos numéricos, modelos heurísticos y metaheurísticos, y modelos híbridos. Grisales et al, (2017).

Muchos modelos matemáticos se han desarrollado para optimizar la ubicación y la capacidad de la generación distribuida. Algunos de estos modelos se les denomina algoritmos multiobjetivo, pues dentro de la función objetivo se recoge varios parámetros, como, por ejemplo: pérdida total de potencia en la red, perfil de tensión, nivel de cortocircuito, y la capacidad de las unidades de generación distribuida. A cada uno de estos parámetros se les asocia con un coeficiente de ponderación, en base a las necesidades de la red. La ubicación y capacidad del generador distribuido dependen directamente de dichos coeficientes de ponderación (Hosseini, 2013)

Otro componente al cual hay que prestar atención al momento de inyectar energía en generación distribuida es el transformador. Específicamente puede verse reducida su vida útil debido al incremento en los niveles de distorsión armónica por emplear inversores de potencia. (Bazurto et al, 2016).

Un tema trascendental en el diseño y operación de un generador distribuido es el impacto ambiental que puede provocar. El ACV ayuda a obtener ventajas competitivas y comparativas a través del ahorro de costos y mejora de disposición en el mercado, incremento de ganancias y reforma de la figura de la empresa a cargo o de un producto definido.

Por ejemplo, al compararse los perfiles ambientales de la generación distribuida con fuel oíl y diésel, con los de la central termoeléctrica Carlos M. Céspedes, para 1 MW resulta un mayor impacto por parte de los generadores distribuidos. Por lo tanto, la generación distribuida es una opción que puede constituirse a la generación tradicional a partir del uso de energías renovables (Rodríguez et al, 2014).

Una de las fundamentales es la estimación de índices de confiabilidad técnica mediante métodos matemáticos probabilísticos. La confiabilidad es la característica que tiene cualquier producto o equipo técnico de efectuar con las funciones originalmente diseñados y construidos, durante un período de tiempo y bajo ciertas condiciones estables de operación. (Mojicar y Reyes, 2017).

HOMER Energy Pro es un software de diseño, análisis y optimización de microredes, es decir, de pequeños sistemas donde se interconectan generadores de energía eléctrica de diferentes fuentes (solar, eólica, diésel, etc.), la red pública, y los diferentes puntos de consumo. HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) analiza un amplio espectro de variables: demanda anual, costos, perfil de carga, condiciones climáticas (radiación solar, velocidad del viento), entre otros. HOMER brinda la facilidad de analizar una gran variedad de escenarios para la generación de energía eléctrica en poco tiempo. Restrepo et al, (2018).

Como se vio en el caso de México, HOMER no solo evalúa aspectos técnicos de microredes, sino también cuestiones económicas, como es el cálculo de tarifas de suministro a partir de diferentes fuentes.

Las simulaciones realizadas en el software HOMER pueden aplicarse a cualquier establecimiento de carga. El software puede manejar múltiples variantes de diseño y ofrece la oportunidad de gestionar comparaciones entre los escenarios. Así, se puede llegar a definir cantidad de módulos fotovoltaicos, potencia pico, inversores, entre otros Ortega y Errasti, (2013)

Haciendo una revisión a la amplia experiencia en sistemas fotovoltaicos, se puede llegar a las siguientes conclusiones en cuanto a condiciones económicas: el costo de capital es alto aún dada la baja eficiencia de los paneles fotovoltaicos, los bajos costos, además, los impuestos irán creciendo anualmente. Sin embargo, el beneficio que inclina la balanza en la evaluación económica es la de tener bajas emisiones de CO₂. Una evaluación económica más exhaustiva incluye el concepto de “energía incorporada”. De esta manera, se establece el concepto de “tiempo de retorno de la inversión de la energía” que es el tiempo total en el que se termina de pagar por la “energía incorporada” Saurabh, (2017).

Son muchos los factores que contribuyen en la expansión de la generación distribuida: cambio climático, escalamiento de precios, seguridad energética y desarrollo tecnológico. En este último aspecto, por ejemplo, es preciso contar con redes inteligentes, compuestas por avanzados sistemas de telecomunicaciones, control y automatización, medidores inteligentes, sistemas SCADA, entre otros elementos, lo que obliga a los gobiernos invertir en innovación e investigación científica. Una red inteligente debe ser flexible, con rápida respuesta a la demanda; accesible, garantizando el acceso a todos los usuarios de la red; confiable, con pocos eventos de falla y el suministro de una alta calidad de energía; y económica, es decir, con bajos costos para los consumidores. Hidayatullah et al, (2011).

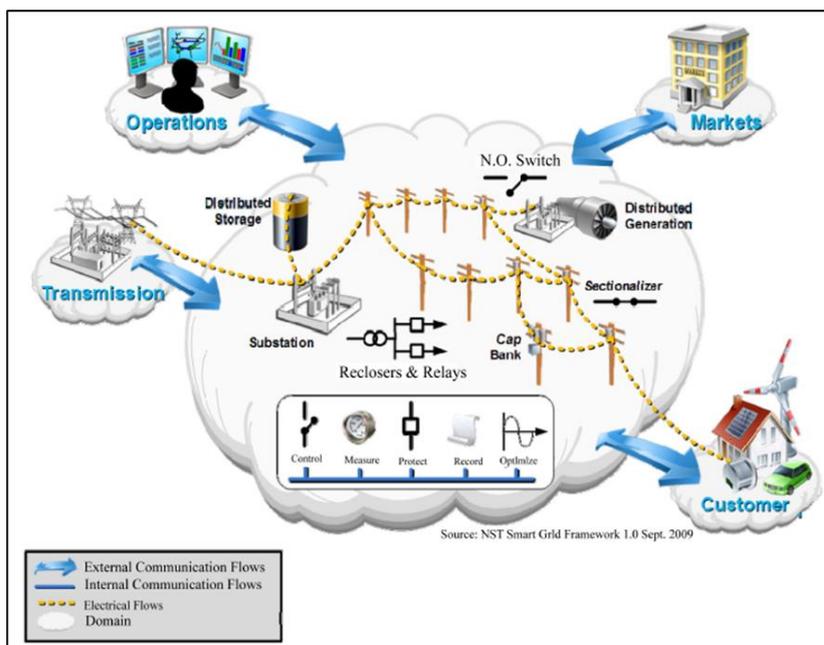


Figura 03: Esquema de una red con generación distribuida

Fuente: A review paper on electricity generation from solar energy.

La generación distribuida se presenta como una excelente oportunidad para liberalizar el mercado eléctrico, es decir, crear nuevos agentes económicos; fortalecer las redes eléctricas y aumentar el acceso a las personas, así como para cumplir con los compromisos medioambientales mediante el impulso a las energías renovables. Pepermans et al, (2003).

Si bien es cierto, las herramientas computacionales como el HOMER facilitan el proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos enlazados a la red, hay una serie de actividades complementarias que deben realizarse fuera de dicho entorno, como, por ejemplo: la estimación de la demanda energética y la estimación del potencial solar. Para evaluar ambos parámetros se debe tener una gran cantidad de datos históricos, los cuales serán analizados aplicando técnicas estadísticas, de tal manera que se pueda obtener valores representativos que garanticen un diseño con un alto nivel de precisión.

Es bueno hacer hincapié que los sistemas de generación distribuida no discriminan a las fuentes renovables de las no renovables. En ese sentido, hay estudios que garantizan una alta competitividad técnico-económica de generadores distribuidos constituidos por alguna energía renovable con un motor diésel, combinando el bajo costo operativo del primero con la alta disponibilidad del segundo. Asimismo, para reducir su costo de capital es recomendable conectarlo lo más cercano posible a la red externa. Hafez, (2012)

El Modelo de Optimización de Microgeneración HOMER es un modelo computacional para asistir en los diseños de sistemas de microgeneración y facilitar la comparación de diversas tecnologías de generación de potencia a través de un amplio rango de aplicaciones. HOMER modela el rendimiento físico de un sistema de potencia y el costo de su ciclo de vida, el cual es el costo total de la instalación y la operación durante el total de su vida útil. HOMER permite al modelador comparar diferentes opciones de diseño basado en sus criterios técnicos y económicos. También le asiste en el entendimiento y cuantificación de los efectos de diversas modificaciones o condiciones inciertas. Tom et al, (2006). Un sistema de micro generación no solo puede generar electricidad, sino también calor (cogeneración) que puede suministrar a una carga muy cercana. Asimismo, puede también incluir un sistema de almacenamiento de energía.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Aplicada: El análisis manifiesta un impacto directo sobre el suministro eléctrico en la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara.

Explicativa: Finalizando el estudio, se explica porque es o no factible la indagación de esta naturaleza.

Analítico: El estudio consistió en un análisis de las implicancias tanto técnicas como económicas de un generador fotovoltaico conectado a la red, para el suministro de una carga específica.

Pre-experimental: Las variables independientes es pequeño y las mediciones están sujetos a la aleatoriedad de los factores climáticos.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Generación distribuida

Variable dependiente: Demanda de energía

Tabla 01: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	NIVEL DE MEDICIÓN	VARIABLE INDEPENDIENTE
V.I: Generación distribuida	Sistema de generación eléctrica ubicado en el punto de consumo.	Sistema fotovoltaico conectado a red dispuesto a brindar energía eléctrica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara	Potencia instalada (W)	Cálculo y simulación	Cuantitativa
V.D: Demanda de energía	Requerimiento de potencia para cubrir la necesidad de consumo de electricidad	Potencia	Watt	Cálculos	Cuantitativo

Fuente: Elaboración propia

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Institución Educativa Rafael Loayza Guevara

3.3.2. Muestra

Institución Educativa Rafael Loayza Guevara

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para recabar efectivamente los datos importantes para el estudio se consideró lo siguiente:

3.4.1. Técnicas

Se realizó una revisión de los registros y recibos de consumo de energía eléctrica de la empresa.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Hoja de observación

3.5. Procedimientos

En primer lugar, se realizó un análisis documental a partir de recibos de suministro eléctrico, planos eléctricos, diagramas unifilares, e informes técnicos para obtener datos de consumo eléctrico, condiciones de infraestructura eléctrica de la demarcación de proyecto y potencial energético solar. Mediante simples herramientas estadísticas se obtuvieron valores representativos de los parámetros mencionados anteriormente.

Posteriormente, se utilizó el software HOMER para dimensionar el sistema fotovoltaico enlazado a la red.

Finalmente, se evaluó la factibilidad económica del proyecto mediante un flujo de caja.

3.6. Método de análisis de datos

El método a utilizar correspondió a exploratorio, ya que después de haber definido la variable independiente y sus parámetros se logró deducir la hipótesis para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica.

3.7. Aspectos éticos

- Los datos de mi trabajo de investigación no fueron manipulados ni alterados de tal manera que no se considera como plagio de otro trabajo, al igual que se citó correctamente a los autores de las investigaciones mencionadas en mi trabajo de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de datos de radiación en la región Cajamarca.

En tal sentido se determinó la irradiación solar en la Institución Educativa tales mediciones se muestran a continuación:

Tabla 02: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather - 05/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
05/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^a medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h - 07:00 h	44	47	82	120	147	182	103.67
07:00 h - 08:00 h	134	107	128	83	109	104	110.83
08:00 h - 09:00 h	71.9	65.9	143.4	293.6	278.5	534.7	231.33
09:00 h - 10:00 h	529	651	800	725	751	741	699.50
10:00 h - 11:00 h	844	926	903	940	883	982	913.00
11:00 h - 12:00 h	702	879	713	815	866	799	795.67
12:00 h - 13:00 h	937	745	857	817	886	839	846.83
13:00 h - 14:00 h	716	695	745	634	806	721	719.50
14:00 h - 15:00 h	790	777	830	850	867	899	835.50
15:00 h - 16:00 h	805	692	622	886	717	716	739.67
16:00 h - 17:00 h	443	352	507	418	484	361	427.50
17:00 h - 18:00 h	82	100	77	45	68	12	64.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 02 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 103.68 w/m², con fecha 05/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 06:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 912.98 w/m².

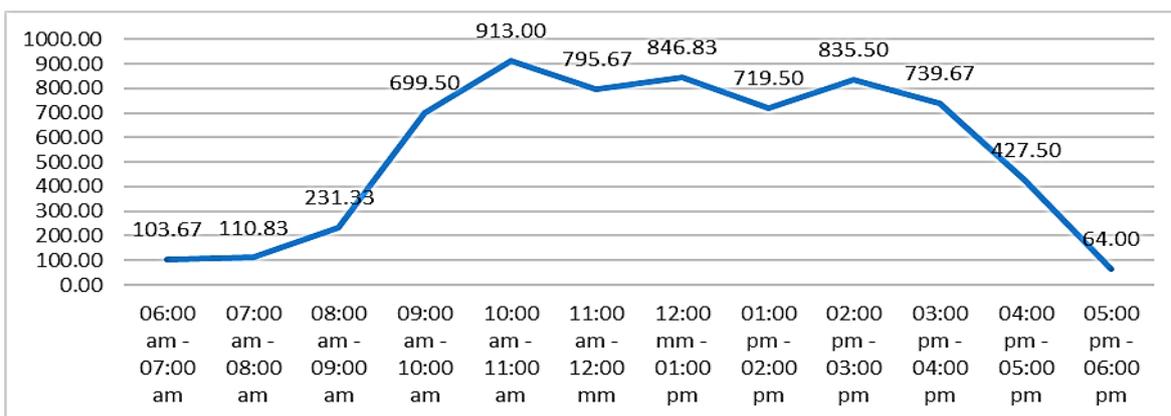


Figura 04: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 05/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 04 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 05/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 835.49 w/m², 846.81 w/m² y 912.02 w/m² y los índices de radiación más bajos son 63.98 w/m², 103.66 w/m² y 110.81 w/m².

Tabla 03: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather - 06/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
06/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h - 07:00 h	25	27	32	39	77	109	51.50
07:00 h - 08:00 h	76	130	346	414	496	515	329.50
08:00 h - 09:00 h	499	510	575	719	641	657	600.17
09:00 h - 10:00 h	641	815	839	841	820	811	794.50
10:00 h - 11:00 h	715	849	839	881	844	843	828.50
11:00 h - 12:00 h	886	863	878	802	884	773	847.67
12:00 h - 13:00 h	871	888	874	883	872	888	879.33
13:00 h - 14:00 h	821	886	898	900	895	896	882.67
14:00 h - 15:00 h	892	863	888	884	839	849	869.17
15:00 h - 16:00 h	833	833	794	728	607	733	754.67
16:00 h - 17:00 h	724	619	581	536	423	499	563.67
17:00 h - 18:00 h	372	308	290	149	87	18	204.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 03 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 51.48 w/m², con fecha 06/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 882.66 w/m².

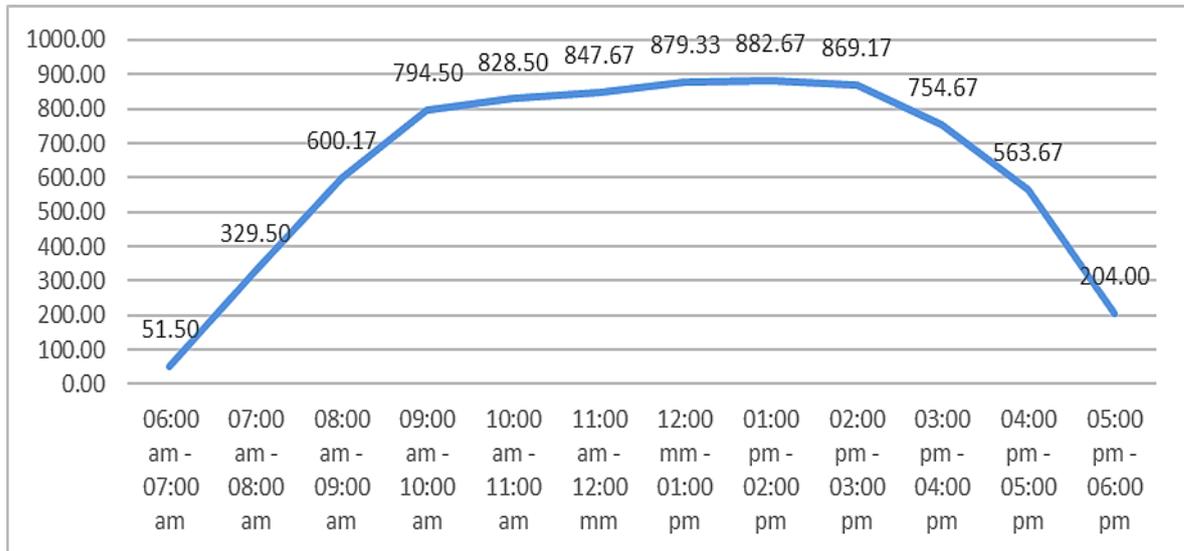


Figura 05: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 06/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 05 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 06/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 828.47 w/m², 847.65 w/m², 869.16 w/m², 879.32 w/m² y 882.66 w/m² y los índices de radiación más bajos son 51.46 w/m² y 203.99 w/m².

Tabla 04: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 07/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
07/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h - 07:00 h	2	4	8	10	14	12	8.33
07:00 h - 08:00 h	12	44	28	56	81.6	84.2	50.97
08:00 h - 09:00 h	71.2	65.4	141.3	283	259	509	221.48
09:00 h - 10:00 h	628	659	810	727	753	744	720.17
10:00 h - 11:00 h	744	826	803	840	783	882	813.00
11:00 h - 12:00 h	702	876	703	813	855	797	791.00
12:00 h - 13:00 h	837	645	757	717	786	739	746.83
13:00 h - 14:00 h	716	695	745	634	806	721	719.50
14:00 h - 15:00 h	690	677	730	750	767	799	735.50
15:00 h - 16:00 h	808	792	722	786	717	616	740.17
16:00 h - 17:00 h	553	452	607	518	584	461	529.17
17:00 h - 18:00 h	267	350	258	211	58	46	198.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 04 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 8.31 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 198.31 w/m², con fecha 07/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 812.97 w/m².

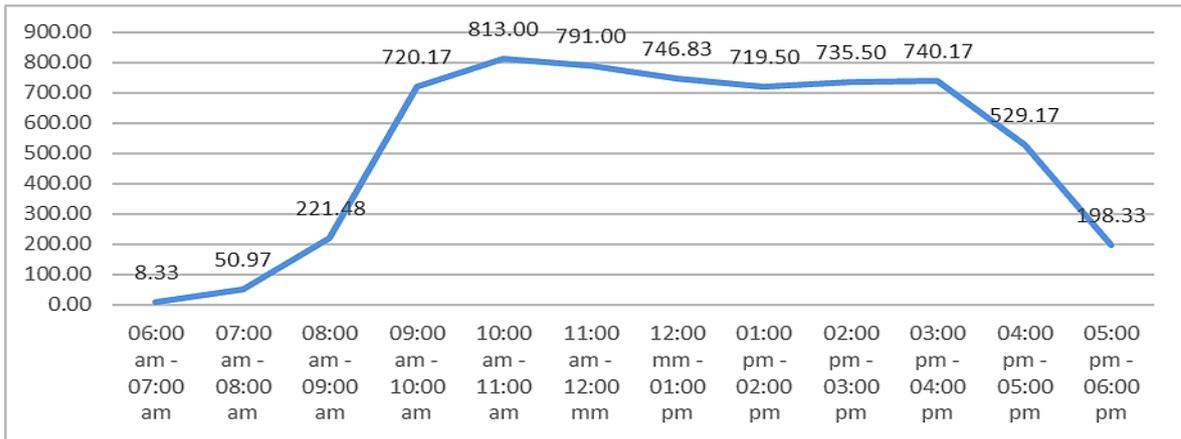


Figura 06: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 07/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 06 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 07/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 790.99 w/m² y 812.99 w/m² los índices de radiación más bajos son 8.31 w/m² y 50.96 w/m².

Tabla 05: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather – 08/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m²)							
08/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	20	22	27	34	72	104	46.50
07:00 h – 08:00 h	71	125	341	109	491	510	274.50
08:00 h – 09:00 h	495	505	570	714	666	653	600.50
09:00 h – 10:00 h	636	810	834	836	815	806	789.50
10:00 h – 11:00 h	710	845	835	876	800	835	816.83
11:00 h – 12:00 h	881	857	873	795	879	768	842.17
12:00 h – 13:00 h	865	877	870	879	869	884	874.00
13:00 h – 14:00 h	817	881	893	893	892	895	878.50
14:00 h – 15:00 h	892	864	883	880	835	845	866.50
15:00 h – 16:00 h	831	834	790	723	602	731	751.83
16:00 h – 17:00 h	721	615	576	531	420	495	559.67
17:00 h – 18:00 h	368	302	285	144	83	13	199.17

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 05 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 45.98 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 199.15 w/m², con fecha 08/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 878.46 w/m².

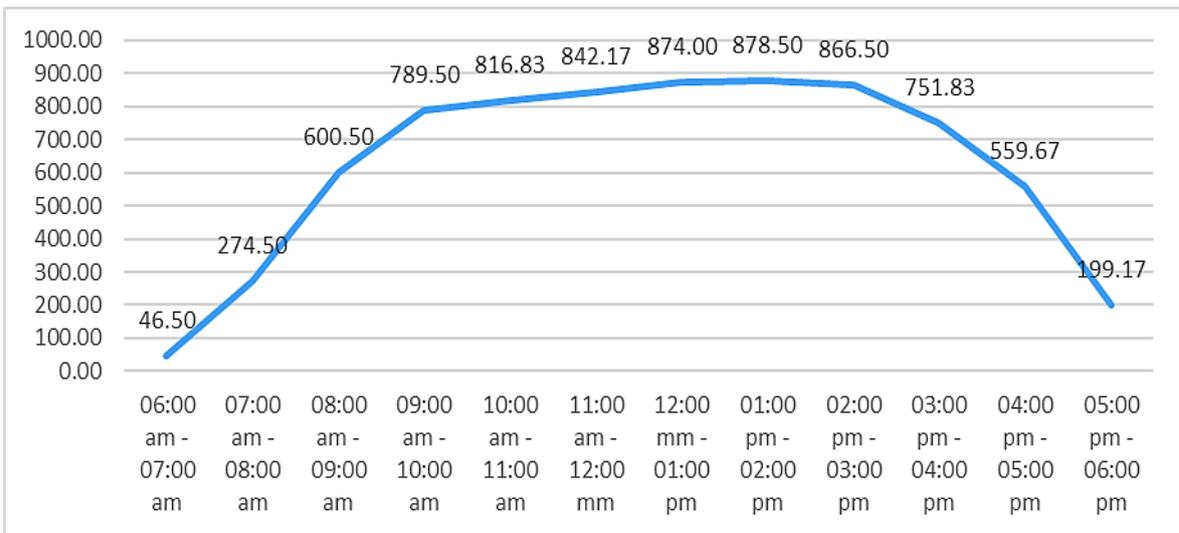


Figura 07: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 08/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 07 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 08/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 873.99 w/m², 878.48 w/m² y 866.46 w/m² los índices de radiación más bajos son 46.47 w/m² y 199.16 w/m².

Tabla 06: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 09/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m²)							
09/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	1	3	7	9	13	11	7.33
07:00 h – 08:00 h	13	43	27	55	80	85	50.50
08:00 h – 09:00 h	72	66	141	282	257	508	221.00
09:00 h – 10:00 h	627	658	809	726	752	743	719.17
10:00 h – 11:00 h	743	825	802	839	782	881	812.00
11:00 h – 12:00 h	701	875	702	812	854	796	790.00
12:00 h – 13:00 h	836	644	756	716	785	738	745.83
13:00 h – 14:00 h	715	694	744	633	805	720	718.50
14:00 h – 15:00 h	689	676	729	749	766	789	733.00
15:00 h – 16:00 h	807	791	721	785	716	615	739.17
16:00 h – 17:00 h	552	451	606	517	583	460	528.17
17:00 h – 18:00 h	266	349	257	210	57	45	197.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 06 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 7.30 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 197.30 w/m², con fecha 09/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 811.97 w/m².

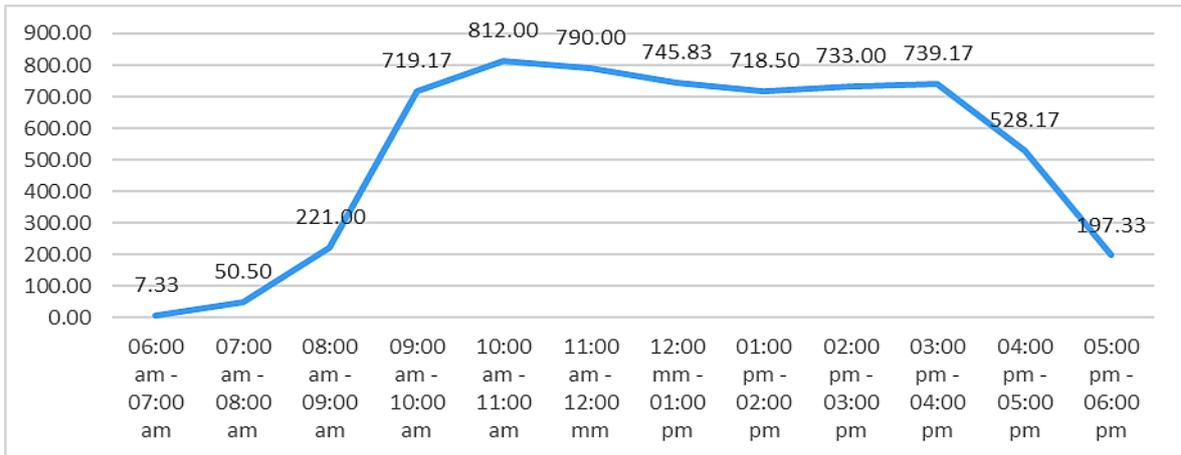


Figura 08: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 09/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 08 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 09/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 745.80 w/m², 789.95 w/m² y 811.98 w/m² los índices de radiación más bajos son 7.31 w/m² y 50.48 w/m².

Tabla 07: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather – 10/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
10/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	5	7	12	19	17	29	14.83
07:00 h – 08:00 h	66.9	56	34.6	25.5	36.7	47	44.45
08:00 h – 09:00 h	489	490	566	708	640	655	591.33
09:00 h – 10:00 h	639	812	830	835	820	809	790.83
10:00 h – 11:00 h	701	838	849	889	834	844	825.83
11:00 h – 12:00 h	885	862	888	800	883	772	848.33
12:00 h – 13:00 h	870	888	873	882	871	884	878.00
13:00 h – 14:00 h	820	885	895	899	893	894	881.00

14:00 h – 15:00 h	892	863	886	884	839	839	867.17
15:00 h – 16:00 h	833	833	794	728	607	733	754.67
16:00 h – 17:00 h	724	629	581	536	423	477	561.67
17:00 h – 18:00 h	376	308	287	128	68	9	196.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 07 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 14.80 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 195.98 w/m², con fecha 10/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 880.97 w/m².

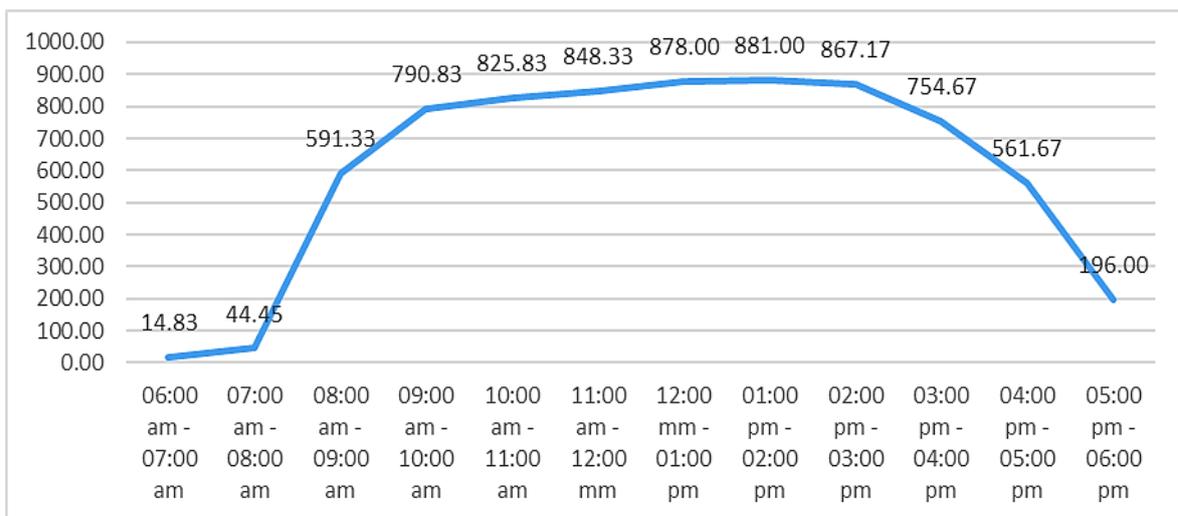


Figura 09: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 10/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 09 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 10/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 877.97 w/m², 880.97 w/m² y 867.15 w/m² los índices de radiación más bajos son 14.80 w/m² y 44.42 w/m².

Tabla 08: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 11/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
11/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	12	14	18	20	24	22	18.33
07:00 h – 08:00 h	22	54	38	66	91	84	59.17
08:00 h – 09:00 h	82	76	142	283	270	520	228.83
09:00 h – 10:00 h	630	670	827	739	763	754	730.50
10:00 h – 11:00 h	764	846	815	855	795	893	828.00
11:00 h – 12:00 h	715	896	717	820	867	818	805.50
12:00 h – 13:00 h	850	655	777	727	795	749	758.83
13:00 h – 14:00 h	736	708	765	743	960	987	816.50
14:00 h – 15:00 h	680	687	743	765	776	809	743.33
15:00 h – 16:00 h	828	798	736	796	727	626	751.83
16:00 h – 17:00 h	573	472	627	538	610	482	550.33
17:00 h – 18:00 h	287	573	278	211	48	26	237.17

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 08 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 18.30 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 237.15 w/m², con fecha 11/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 827.99 w/m².

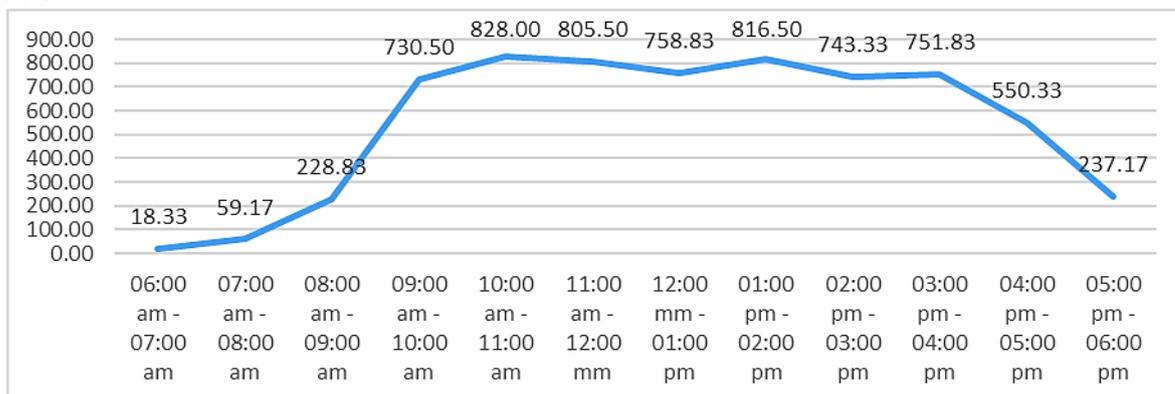


Figura 10: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 11/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 11/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 827.98 w/m² y 815.46 w/m² los índices de radiación más bajos son 18.31 w/m² y 59.15 w/m².

Tabla 09: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 12/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
12/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	25	27	32	39	77	109	51.50
07:00 h – 08:00 h	76	130	346	414	496	515	329.50
08:00 h – 09:00 h	499	510	575	719	641	657	600.17
09:00 h – 10:00 h	641	815	839	841	820	811	794.50
10:00 h – 11:00 h	715	849	839	881	844	843	828.50

11:00 h – 12:00 h	886	863	878	802	884	773	847.67
12:00 h – 13:00 h	871	888	874	883	872	888	879.33
13:00 h – 14:00 h	821	886	898	900	895	896	882.67
14:00 h – 15:00 h	892	863	888	884	839	849	869.17
15:00 h – 16:00 h	833	833	794	728	607	733	754.67
16:00 h – 17:00 h	724	619	581	536	423	499	563.67
17:00 h – 18:00 h	372	308	290	149	87	18	204.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 09 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 51.48 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 203.05 w/m², con fecha 12/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 882.55 w/m².

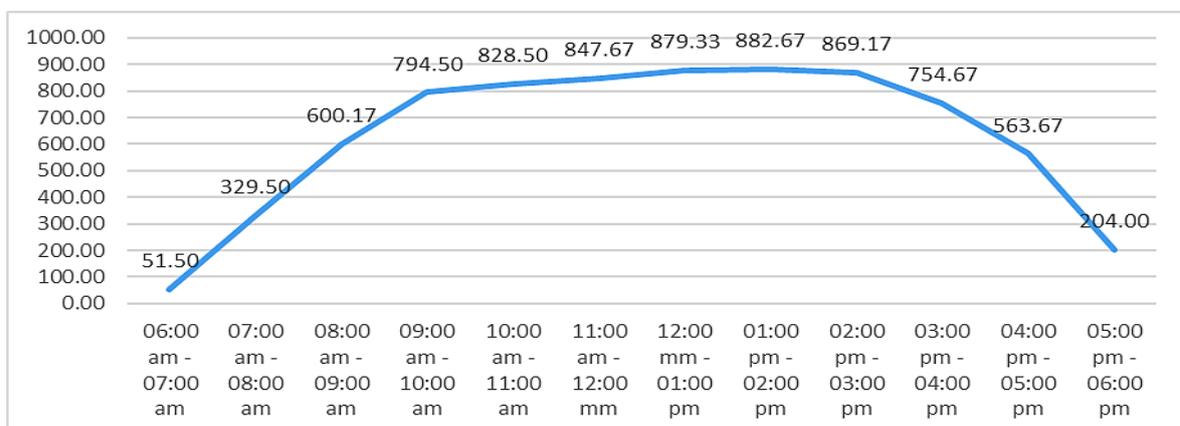


Figura 11: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 12/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 12/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo las mediciones: 879.30 w/m² y 882.65 w/m² los índices de radiación más bajos es 51.47 w/m².

Tabla 10: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 13/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m²)							
13/10/2019	1^{er} medición	2^{da} medición	3^{ra} medición	4^{ta} medición	5^{ta} medición	6^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	2	4	8	10	14	12	8.33
07:00 h – 08:00 h	12	44	28	56	81.6	84.2	50.97
08:00 h – 09:00 h	71.2	65.4	141.3	283	259	509	221.48
09:00 h – 10:00 h	628	659	810	727	753	744	720.17
10:00 h – 11:00 h	744	826	803	840	783	882	813.00
11:00 h – 12:00 h	702	876	703	813	855	797	791.00
12:00 h – 13:00 h	837	645	757	717	786	739	746.83
13:00 h – 14:00 h	716	695	745	634	806	721	719.50
14:00 h – 15:00 h	690	677	730	750	767	799	735.50
15:00 h – 16:00 h	808	792	722	786	717	616	740.17
16:00 h – 17:00 h	553	452	607	518	584	461	529.17
17:00 h – 18:00 h	267	350	258	211	58	46	198.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 8.31 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 198.30 w/m², con fecha 13/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 812.05 w/m².

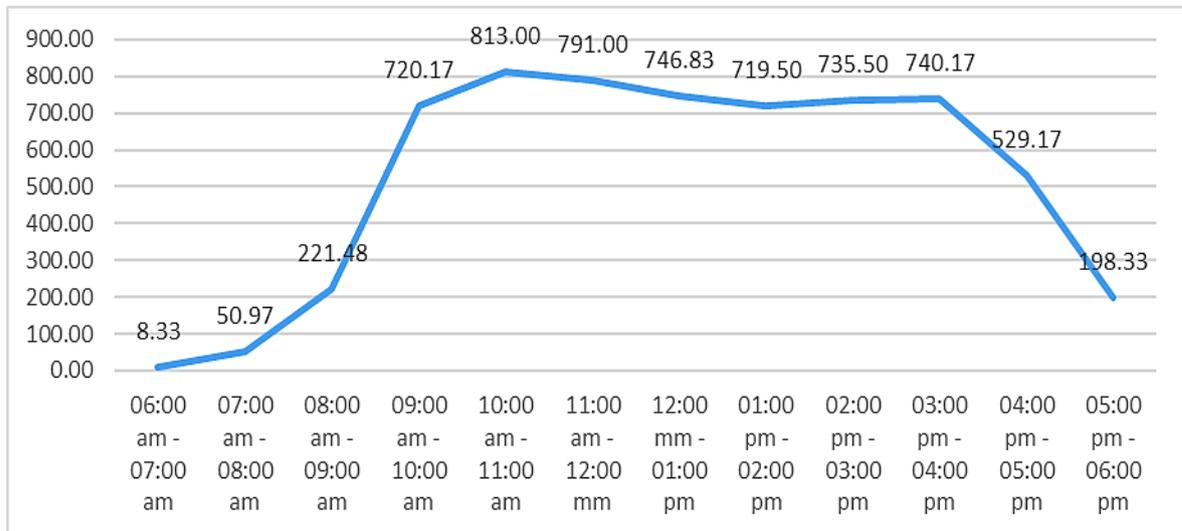


Figura 12: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 13/10/2019

Fuente: Elaboración propia

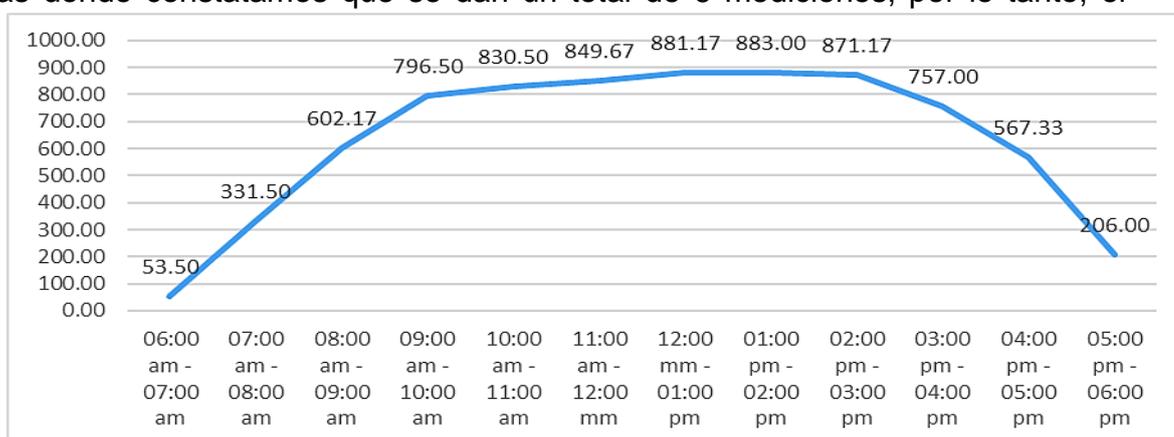
En la figura 12 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 13/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 812.97 w/m² los índices de radiación más bajos es 8.30 w/m².

Tabla 11: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 14/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
14/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	27	29	34	41	79	111	53.50
07:00 h – 08:00 h	78	132	348	416	498	517	331.50
08:00 h – 09:00 h	501	512	577	721	643	659	602.17
09:00 h – 10:00 h	643	817	841	843	822	813	796.50
10:00 h – 11:00 h	717	851	841	883	846	845	830.50
11:00 h – 12:00 h	888	865	880	804	886	775	849.67
12:00 h – 13:00 h	873	890	876	885	873	890	881.17
13:00 h – 14:00 h	823	888	890	902	897	898	883.00
14:00 h – 15:00 h	894	865	890	886	841	851	871.17
15:00 h – 16:00 h	835	837	796	730	609	735	757.00
16:00 h – 17:00 h	726	631	583	538	425	501	567.33
17:00 h – 18:00 h	374	310	292	151	89	20	206.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el



promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 53.48 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 205.99 w/m², con fecha 14/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 882.99 w/m².

Figura 13: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 14/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 14/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 882.97 w/m² los índices de radiación más bajos es 53.52 w/m².

Tabla 12: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather – 15/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
15/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	7	9	15	18	22	37	18.00
07:00 h – 08:00 h	39	40	25	50	81	82	52.83
08:00 h – 09:00 h	71.2	65.4	212	283	259	499	231.60
09:00 h – 10:00 h	618	659	805	727	753	733	715.83
10:00 h – 11:00 h	734	826	793	840	783	878	809.00
11:00 h – 12:00 h	700	876	798	813	855	787	804.83
12:00 h – 13:00 h	830	645	751	717	786	729	743.00
13:00 h – 14:00 h	715	695	735	634	806	720	717.50
14:00 h – 15:00 h	680	677	725	750	767	788	731.17
15:00 h – 16:00 h	798	792	719	786	717	612	737.33
16:00 h – 17:00 h	543	452	601	518	584	454	525.33
17:00 h – 18:00 h	247	350	248	211	58	42	192.67

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 17.99 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 192.65 w/m², con fecha 15/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 882.99 w/m².

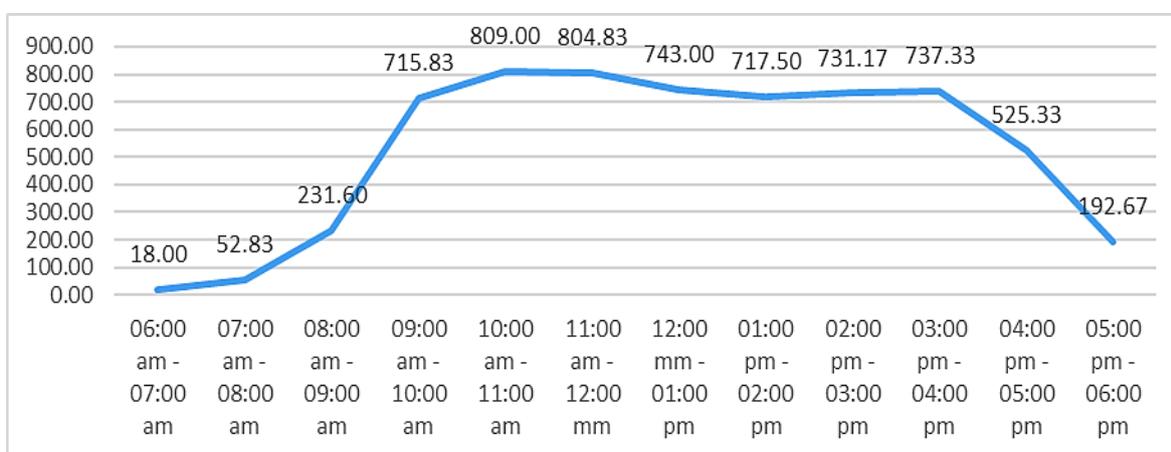


Figura 14: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 15/10/2019

En la figura 14 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 15/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 808.97 w/m² los índices de radiación más bajos es 17.97 w/m².

Tabla 13: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarimetro Ambient Weather – 16/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
16/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	15	22	25	42	57	98	43.17
07:00 h – 08:00 h	86	92	127	227	290	387	201.50
08:00 h – 09:00 h	399	410	575	719	674	657	572.33

09:00 h – 10:00 h	541	715	839	741	920	941	782.83
10:00 h – 11:00 h	615	749	839	892	844	943	813.67
11:00 h – 12:00 h	786	763	878	802	884	673	797.67
12:00 h – 13:00 h	771	788	874	883	872	777	827.50
13:00 h – 14:00 h	721	786	898	900	895	996	866.00
14:00 h – 15:00 h	792	763	888	777	749	638	767.83
15:00 h – 16:00 h	733	733	794	728	577	433	666.33
16:00 h – 17:00 h	624	678	581	536	423	399	540.17
17:00 h – 18:00 h	327	197	280	239	67	12	187.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 43.15 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 186.95 w/m², con fecha 16/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 865.96 w/m².

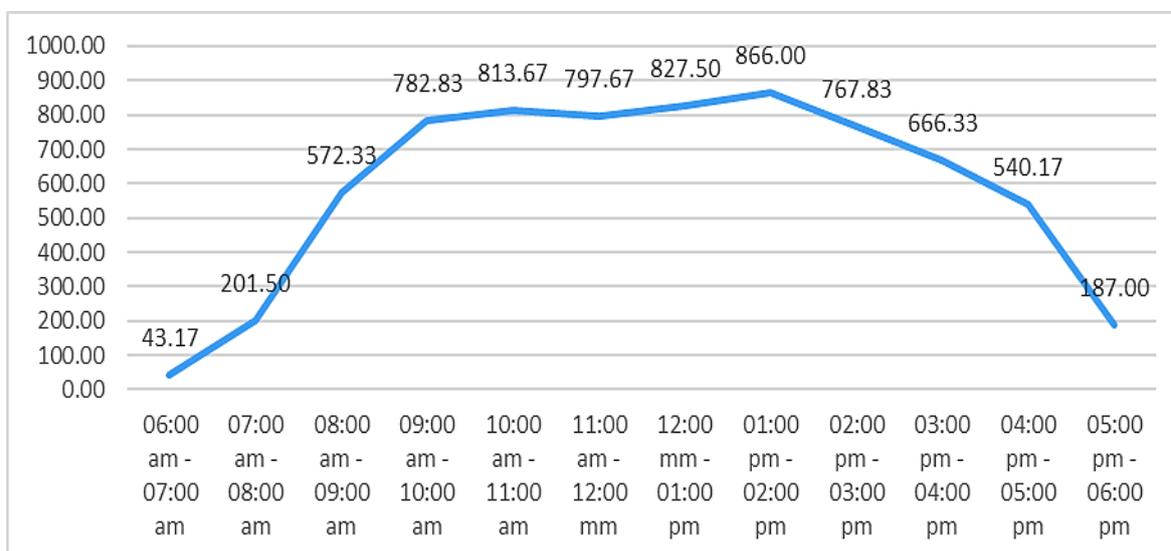


Figura 15: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 16/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 16/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 865.97 w/m² los índices de radiación más bajos es 43.15 w/m².

Tabla 14: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather – 17/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
17/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	4	6	10	12	16	12	10.00
07:00 h – 08:00 h	12.7	55	38	66	91	84.2	57.82
08:00 h – 09:00 h	81.4	75.6	151.7	383	359	609	276.62
09:00 h – 10:00 h	728	759	910	827	853	844	820.17
10:00 h – 11:00 h	844	926	903	940	883	982	913.00
11:00 h – 12:00 h	802	976	803	913	955	879	888.00
12:00 h – 13:00 h	937	745	857	817	886	839	846.83
13:00 h – 14:00 h	816	795	845	734	906	821	819.50
14:00 h – 15:00 h	690	677	730	750	767	799	735.50
15:00 h – 16:00 h	808	792	722	786	717	616	740.17
16:00 h – 17:00 h	433	352	507	418	585	351	441.00
17:00 h – 18:00 h	269	352	255	218	48	36	196.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 09.95 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 196.30 w/m², con fecha 17/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 10:00 horas a 11:00 horas con un promedio de 912.96 w/m².

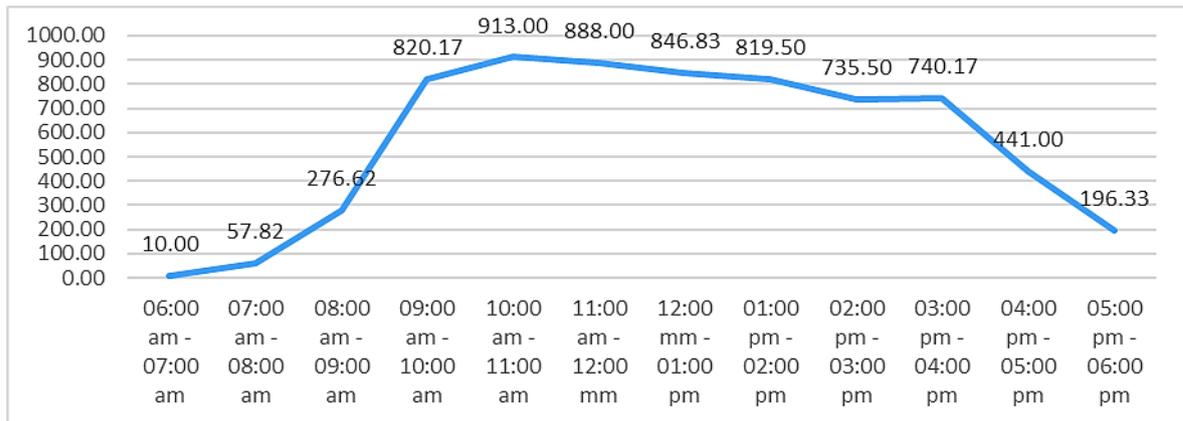


Figura 16: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 17/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 17/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 912.97 w/m² los índices de radiación más bajos es 57.80 w/m².

Tabla 15: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather – 18/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m ²)							
18/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h – 07:00 h	25	27	32	39	77	109	51.50
07:00 h – 08:00 h	76	130	346	414	496	515	329.50
08:00 h – 09:00 h	499	510	575	719	641	657	600.17
09:00 h – 10:00 h	641	815	839	841	820	811	794.50
10:00 h – 11:00 h	715	849	839	881	844	843	828.50
11:00 h – 12:00 h	886	863	878	802	884	773	847.67
12:00 h – 13:00 h	871	888	874	883	872	888	879.33
13:00 h – 14:00 h	821	886	898	900	895	896	882.67
14:00 h – 15:00 h	892	863	888	884	839	849	869.17
15:00 h – 16:00 h	833	833	794	728	607	733	754.67
16:00 h – 17:00 h	724	619	581	536	423	499	563.67
17:00 h – 18:00 h	372	308	290	149	87	18	204.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se presenta que la tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 51.45 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 203.98 w/m², con fecha 18/10/19, donde la mayor repercusión se desde las 13:00 horas a 14:00 horas con un promedio de 882.65 w/m².

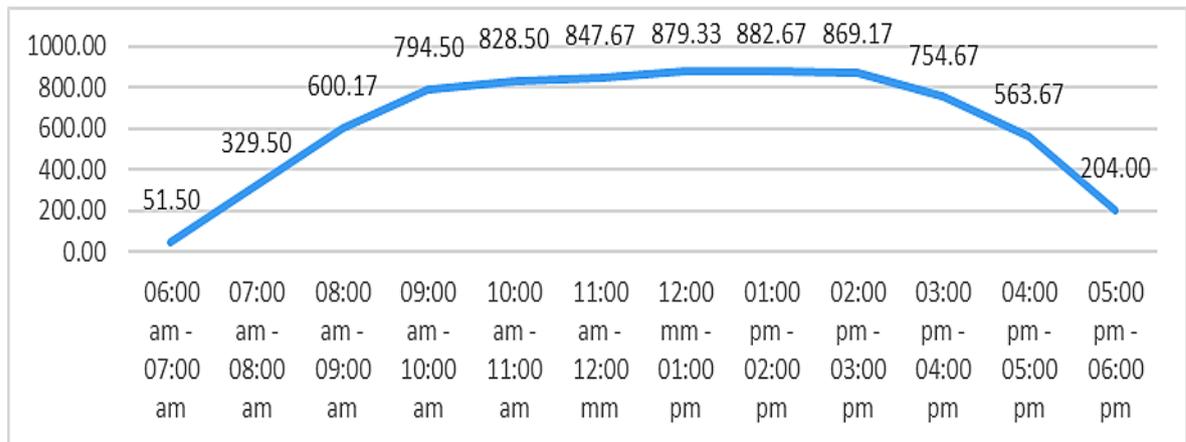


Figura 17: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 18/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se presenta la evolución de los índices de radiación solar con fecha 18/10/19, donde se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 882.65 w/m² los índices de radiación más bajos es 51.48 w/m².

Tabla 16: Mediciones de radiación solar en I.E. Rafael Loayza Guevara tomadas con solarímetro Ambient Weather - 18/10/2019

Niveles de Radiación Solar (w/m²)							
19/10/2019	1 ^{er} medición	2 ^{da} medición	3 ^{ra} medición	4 ^{ta} medición	5 ^{ta} medición	6 ^{ta} medición	Promedio
06:00 h - 07:00 h	2	4	8	10	14	12	8.33
07:00 h - 08:00 h	12	44	28	56	81.6	84.2	50.97
08:00 h - 09:00 h	71.2	65.4	141.3	283	259	509	221.48
09:00 h - 10:00 h	628	659	810	727	753	744	720.17
10:00 h - 11:00 h	744	826	803	840	783	882	813.00
11:00 h - 12:00 h	702	876	703	813	855	797	791.00
12:00 h - 13:00 h	837	645	757	717	786	739	746.83
13:00 h - 14:00 h	716	695	745	634	806	721	719.50
14:00 h - 15:00 h	690	677	730	750	767	799	735.50
15:00 h - 16:00 h	808	792	722	786	717	616	740.17
16:00 h - 17:00 h	553	452	607	518	584	461	529.17
17:00 h - 18:00 h	267	350	258	211	58	46	198.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se presenta que las tomas van desde las 06:00 horas hasta las 18:00 horas donde constatamos que se dan un total de 6 mediciones, por lo tanto, el promedio del rango de las horas antes mencionadas va desde 8.30 w/m² y de 17:00 horas a 18:00 horas de 198.30 w/m², con fecha 19/10/19, donde la mayor repercusión se da desde las 10:00 horas a 11:00 horas.

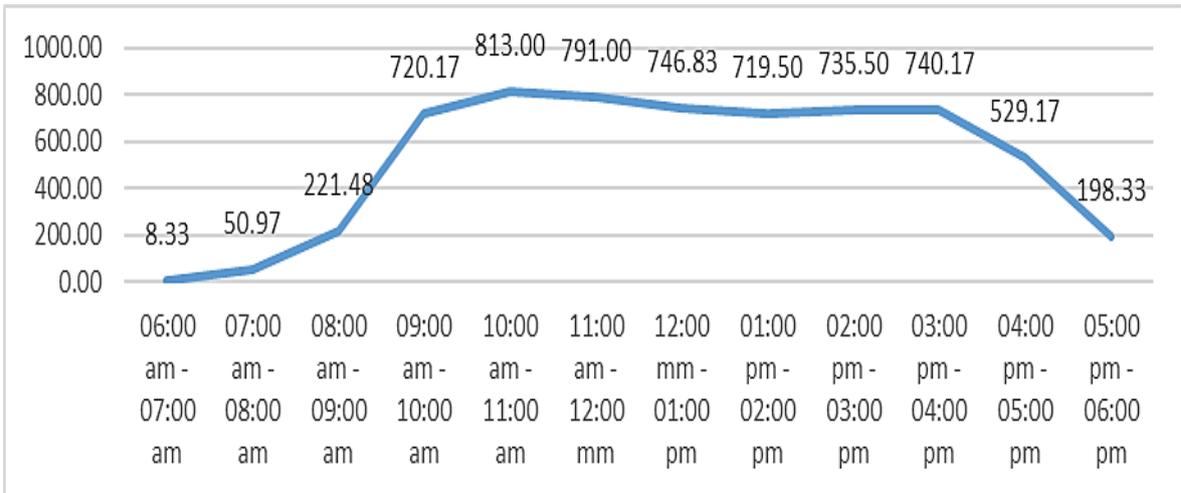


Figura 18: Evolución de los niveles de radiación solar en w/m² – 19/10/2019

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se observa el aumento de radiación promedio, siendo la medición 812.98 w/m² los índices de radiación más bajos son de 8.33 w/m² y 50.97 w/m².

Tabla 17: Determinación de los niveles de radiación solar w.h/m²

	06:00 h	07:00 h	08:00 h	09:00 h	10:00 h	11:00 h	12:00 h	13:00 h	14:00 h	15:00 h	16:00 h	17:00 h	Niveles Radiación Solar en w.h/m ²
05/10/2019	103.67	110.83	231.33	699.50	913.00	795.67	846.83	719.50	835.50	739.67	427.50	64.00	540.58
06/10/2019	51.50	329.50	600.17	794.50	828.50	847.67	879.33	882.67	869.17	754.67	563.67	204.00	633.78
07/10/2019	8.33	50.97	221.48	720.17	813.00	791.00	746.83	719.50	735.50	740.17	529.17	198.33	522.87
08/10/2019	46.50	274.50	600.50	789.50	816.83	842.17	874.00	878.50	866.50	751.83	559.67	199.17	624.97
09/10/2019	7.33	50.50	221.00	719.17	812.00	790.00	745.83	718.50	733.00	739.17	528.17	197.33	521.83
10/10/2019	14.83	44.45	591.33	790.83	825.83	848.33	878.00	881.00	867.17	754.67	561.67	196.00	604.51
11/10/2019	18.33	59.17	228.83	730.50	828.00	805.50	758.83	816.50	743.33	751.83	550.33	237.17	544.03
12/10/2019	51.50	329.50	600.17	794.50	828.50	847.67	879.33	882.67	869.17	754.67	563.67	204.00	633.78
13/10/2019	8.33	50.97	221.48	720.17	813.00	791.00	746.83	719.50	735.50	740.17	529.17	198.33	522.87
14/10/2019	53.50	331.50	602.17	796.50	830.50	849.67	881.17	883.00	871.17	757.00	567.33	206.00	635.79
15/10/2019	18.00	52.83	231.60	715.83	809.00	804.83	743.00	717.50	731.17	737.33	525.33	192.67	523.26
16/10/2019	43.17	201.50	572.33	782.83	813.67	797.67	827.50	866.00	767.83	666.33	540.17	187.00	588.83
17/10/2019	10.00	57.82	276.62	820.17	913.00	888.00	846.83	819.50	735.50	740.17	441.00	196.33	562.08
18/10/2019	51.50	329.50	600.17	794.50	828.50	847.67	879.33	882.67	869.17	754.67	563.67	204.00	633.78
19/10/2019	8.33	50.97	221.48	720.17	813.00	791.00	746.83	719.50	735.50	740.17	529.17	198.33	522.97
	32.99	154.97	401.38	759.26	832.42	822.52	818.70	807.10	797.68	741.50	531.98	192.18	

Fuente: Elaboración propia

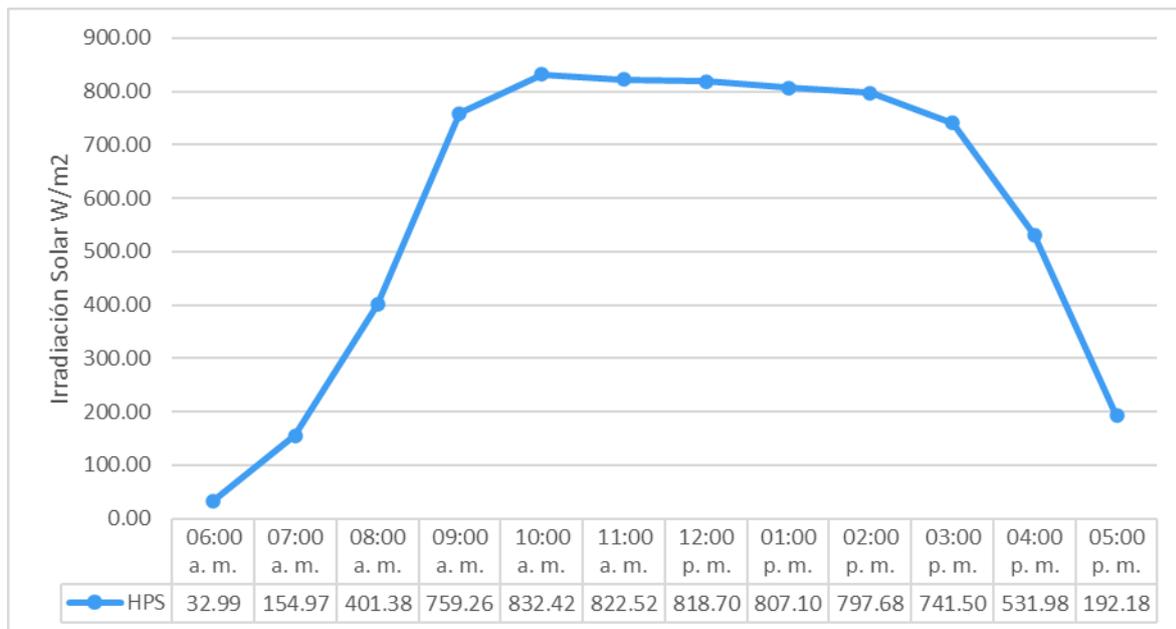


Figura 19: Promedio de irradiacion en w/m²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Distribución de Weibull

i	horas	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Acumulada	ti = irradiancia w/m2	Ln (ti)	$Ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F_d} \right) \right]$	(X - \bar{X})	(Y - \bar{Y})	(X - \bar{X})*(Y - \bar{Y})	(X - \bar{X})²
1	12	0.066667	0.066667	521.83	6.257342	-2.67375	-0.092588	-2.437962	0.225725	0.008572
2	12	0.066667	0.133333	522.87	6.259333	-1.94421	-0.090597	-1.708416	0.154777	0.008208
3	12	0.066667	0.200000	522.87	6.259333	-1.499940	-0.090597	-1.264150	0.114528	0.008208
4	12	0.066667	0.266667	522.87	6.259333	-1.170683	-0.090597	-0.934893	0.084698	0.008208
5	12	0.066667	0.333333	523.26	6.260078	-0.902720	-0.089851	-0.666931	0.059924	0.008073
6	12	0.066667	0.400000	540.58	6.292643	-0.671727	-0.057287	-0.435937	0.024973	0.003282
7	12	0.066667	0.466667	544.03	6.299004	-0.464246	-0.050925	-0.228456	0.011634	0.002593
8	12	0.066667	0.533333	562.08	6.331644	-0.271625	-0.018285	-0.035835	0.000655	0.000334
9	12	0.066667	0.600000	588.83	6.378138	-0.087422	0.028208	0.148368	0.004185	0.000796
10	12	0.066667	0.666667	604.51	6.404418	0.094048	0.054489	0.329838	0.017972	0.002969
11	12	0.066667	0.733333	624.97	6.437704	0.278961	0.087774	0.514751	0.045182	0.007704
12	12	0.066667	0.800000	633.78	6.451702	0.475885	0.101772	0.711675	0.072429	0.010358
13	12	0.066667	0.866667	633.78	6.451702	0.700571	0.101772	0.936361	0.095296	0.010358
14	12	0.066667	0.933333	633.78	6.451702	0.996229	0.101772	1.232019	0.125385	0.010358
15	12	0.066667	1.000000	635.79	6.454868	3.603779	0.104939	3.839569	0.402920	0.011012
Sumatoria	180				95.24894	-3.536849			1.440284	0.101032

Fuente: Elaboración propia

Teniendo lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum \text{Ln}(ti)}{n} = \frac{95.24894}{15}$$

$$\bar{X} = 6.35$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - Fa} \right) \right]}{n} = \frac{-3.536849}{15}$$

$$\bar{Y} = -0.2$$

Hallando el factor de forma:

$$K = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} = \frac{1.440284}{0.101032}$$

$$K = 14.26$$

Se tiene que:

$$y = b - Kx \quad \text{Entonces: } b = y - Kx$$

$$b = -0.2 - (14.26)(6.35) = -90.76$$

Hallando el factor de escala:

$$C = e^{\left(-\frac{b}{k}\right)}$$

$$C = e^{\left(-\frac{-90.76}{14.26}\right)}$$

$$C = 582.00$$

Ecuación final de regresión

$$y = kX + b$$

$$y = 14.26X + 90.76$$

Encontrando el promedio de la irradiación solar:

Empleando los valores del factor de forma K y el factor de escala C encontrados, se resuelve:

Lugar	Factor de forma K	Factor de escala w/m ²
Institución Educativa Rafael Loayza Guevara	14.26	582.00

4.1. Determinación de la demanda energética en la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara.

Para la determinación de la demanda máxima que tiene la institución educativa Rafael Loayza Guevara se ha tenido en cuenta el consumo eléctrico de toda la institución con respecto a los equipos instalados dentro de la misma, para lo cual tenemos:

Tabla 19: Máxima demanda

Ítem	Equipos	Unidad de medida	Cantidad	Potencia x unidad W	Horas promedio de uso diario	Máxima total kW/h
1	computadoras	Und	30	120	8	28.8
2	sistemas de iluminación	Und	120	64	8	61.4
3	reflectores	Und	6	125	4	3.0
4	impresoras	Und	6	80	8	3.84
5	servidores	Und	1	500	8	4.0
7	alarmas	Glb	1	140	1	0.14
8	cámaras	Glb	1	88	8	0.71
Total en KW/h						101.89

Fuente: Elaboracion propia

Para lo cual tenemos una máxima de demanda de 101.89 KW/h, con una intensidad de corriente:

$$I = \frac{DEMANDA MAXIMA}{\sqrt{3} \times 380 \times \cos\phi}$$

$$I = \frac{101890.00}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.9}$$

$$I = \frac{101890.00}{591.66}$$

$$I = 172.21 A$$

La intensidad de corriente de diseño será:

$$I_d = I_x 1.25$$

$$I_d = 172.21 \times 1.25$$

$$I_d = 215.26 \text{ A}$$

El principal consumo se da en la iluminación y laboratorio de computación.

Calculando el índice de consumo energético en la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara

Para lo cual tenemos el historial de consumo eléctrico en la institución:

Tabla 20: *Historial de consumo eléctrico en la Institución*

Meses	Año 2018	Promedio
Enero	758 kw/h	1477 kw/h
Febrero	695 kw/h	
Marzo	1645 kw/h	
Abril	1794 kw/h	
Mayo	2084 kw/h	
Junio	1764 kw/h	
Julio	1326 kw/h	
Agosto	1513 kw/h	
Septiembre	1527 kw/h	
Octubre	1579 kw/h	
Noviembre	1637 kw/h	
Diciembre	1396 kw/h	

Fuente: Recibos de consumo eléctrico de la institución educativa

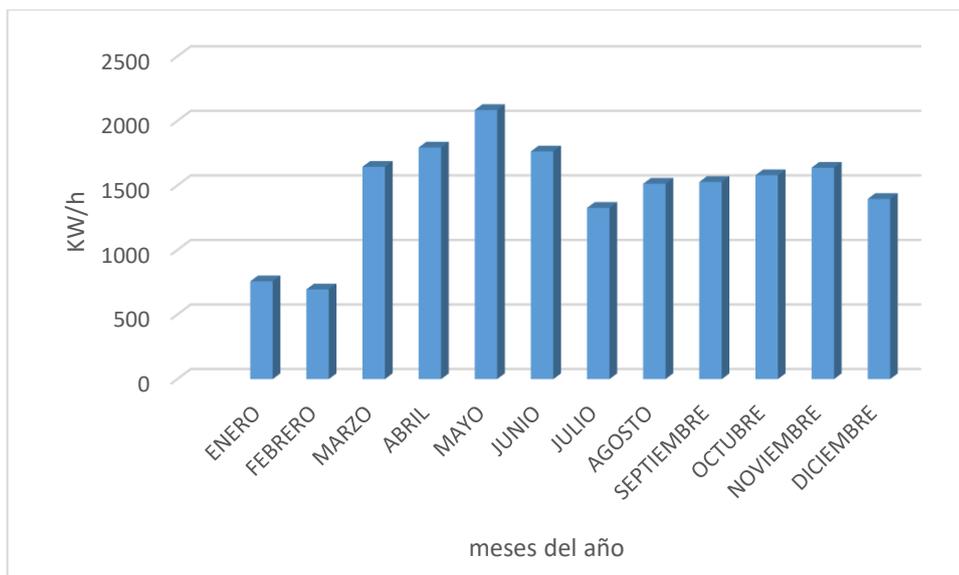


Figura 20: Consumo de energía 2018

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia el consumo de energía en kw/h realizado por la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara en el año 2018, teniendo para este un promedio de consumo de energía de 1477 kw/h

El terreno de la institución es 675 m², se calcula el Índice de Consumo Energético promedio de los últimos 12 meses:

Índice de consumo energético promedio	Kw-h/m ²	2.2
---------------------------------------	---------------------	-----

4.2. Dimensionar la instalación fotovoltaica y su interconexión, empleando el software HOMER.

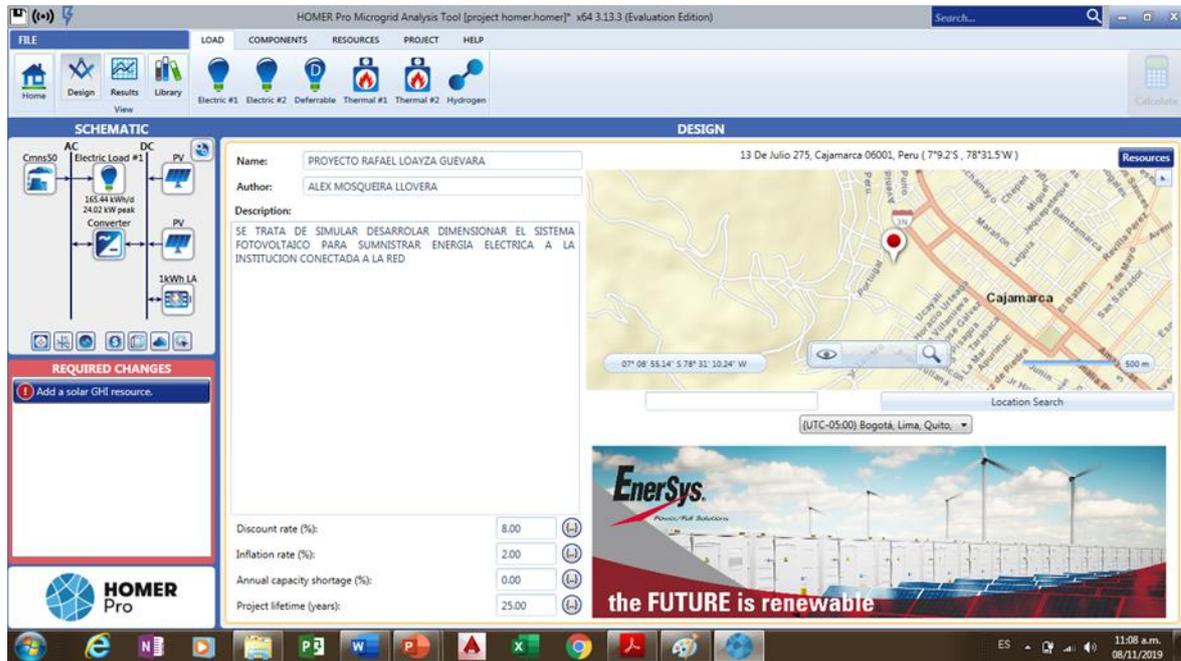


Figura 21: Software HOMER

Teniendo:

Tabla 21: Recibos de consumo eléctrico de la Institución Educativa

Meses	Año 2018	Promedio
Enero	758 kw/h	1477 kw/h
Febrero	695 kw/h	
Marzo	1645 kw/h	
Abril	1794 kw/h	
Mayo	2084 kw/h	
Junio	1764 kw/h	
Julio	1326 kw/h	
Agosto	1513 kw/h	
Septiembre	1527 kw/h	
Octubre	1579 kw/h	
Noviembre	1637 kw/h	
Diciembre	1396 kw/h	

Fuente: Elaboración propia

Para lo cual tenemos un consumo mensual promedio de 1477 kw/h en tal sentido se evidencia un consumo promedio diario de 49.23 kw/h

4.2.1. Cálculo del número de paneles

$$NT = \frac{LMD \text{ crit}}{PMPP \times HPS \text{ crit} \times PR}$$

NT = Número Total de paneles.

LMD crit = Consumo medio diario crítico.

PMPP = Potencia pico del módulo en condiciones estándar.

STC HPS crit = Horas Pico del mes crítico.

PR = Factor Global de funcionamiento 0,70

$$NT = \frac{49230 \text{ w.h}}{370 \text{ w} \times 6.98 \text{ h} \times 0.70}$$

$$NT = 27.23$$

$$NT = 28 \text{ paneles}$$

Para el siguiente cálculo se selecciona el siguiente panel:

Potencia de modulo = 370 w monocristalino.

Marca = BAUER ENERGY.

Modelo = BSP370M.

Para el montaje de paneles se utilizará una tensión de trabajo de 48 V- DC, para disminuir la corriente en los terminales de los paneles.

Tamaño del módulo	1956 x 992 x 45 mm
Células	72 piezas monocristalinas (156 x 156 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	370W
Cable	90cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	48.3V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.95A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	40.1V
Intensidad a máxima potencia (Im)	9.23A
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.02973%
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.38038%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.57402%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	19%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	21.5 kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años

Figura 22: Características eléctricas del módulo solar seleccionado

Fuente: Revista “BAUER ENERGY”

- A) Determinación de números de paneles que se agruparan en serie

$$N_s = \frac{V \text{ sistema}}{V \text{ panel}}$$

$$N_s = \frac{48}{40.1} = 1.2$$

$$N_s = 2 \text{ paneles}$$

- B) Determinación de números de paneles que se agruparan en paralelo

$$N_T = \frac{\text{Numero total de paneles}}{\text{Numero de paneles en serie}}$$

$$N_T = \frac{28}{2} = 14$$

$$N_T = 14 \text{ grupos de paneles}$$

Se evidencia que se instalaran 14 grupos de paneles en paralelo y cada grupo tendrá 2 paneles con conexión en serie, con un total de 28.

Selección del Regulador de Carga

$$I_{max} = I_{cc} \times N_p$$

Donde:

I_{max} = Intensidad máxima (A).

I_{cc} = Intensidad del Corto circuito del modulo (A).

N_p = Numero de paneles en paralelo

$$I_{max} = 9.95 \times 14$$

$$I_{max} = 139.3 \text{ A}$$

Se optaron por 2 regulador de marca: VICTRON ENERGY de 100 amperios modelo: MPPT 150/100 (ver anexo 20).

Estos reguladores de System carga se instalarán en paralelo.

Selección del Inversor

El sistema es de 48 voltios, para lo cual se selecciona la marca BESTSUN de 4 kw – 48 DC de las siguientes particularidades:

Product Specification		Bestsun				
Solar Power System		Technical Parameters				
MODEL		BPS-1000M	BPS-2000M	BPS-3000M	BPS-4000M	BPS-5000M
Default Battery System Voltage		24VDC			48VDC	
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1000VA/800W	2000VA/1600W	3000VA/2400W	4000VA/3200W	5000VA/4000W
	Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA	8000VA	10000VA
	Waveform	Pure sine wave				
	AC Voltage Regulation (Ball Mode)	230VAC±5%				
	Inverter Efficiency (Peak)	90%		93%		
	Transfer Time	10ms(For Personal Computers) 20ms(For Home Appliances)				
AC INPUT	Voltage	230VAC				
	Selectable Voltage Range	170-280VAC(For Personal Computers) 80-280VAC(For Home Appliances)				
	Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)				
BATTERY	Nominal voltage	24VDC			48VDC	
	Floating Charge Voltage	27VDC			54VDC	
	Overcharge Protection	31VDC			60VDC	

Figura 23: Características eléctricas del inversor

Fuente: Revista "BESTSUN"

Se obtuvo una corriente máxima de diseño de 215.26 A y una Máxima corriente de Carga de 120 A.

$$\text{Número de Inversores} = \frac{215.26 \text{ A}}{120 \text{ A}}$$

$$\text{Número de Inversores} = 1.79$$

$$\text{Número de Inversores} \approx 2$$

Se escogieron 2 inversor de marca BESTSUN de 4 kw y otro de 48 DC

Elección de los Conductores

Ver en el anexo 22, donde se menciona las especificaciones del cableado según su capacidad.

1. Conductor del Panel al Regulador de Carga

El conductor deberá resistir la corriente de cortocircuito del controlador poseyendo una potencia de 139.3 A.

2. Conductor Inversor a las Cargas

En esta ocasión el conductor debe resistir la intensidad de corriente de los motores que es 215.26 A, por lo que se elige un conductor de 70 mm² en THW (ver anexo 22).

Cálculo de Caída de Tensión

$$\Delta V = \frac{0.0309 \times I \times L \times \text{Cos}\phi}{S \times V} \times 100$$

Donde:

I = Intensidad de Corriente (A).

L = Longitud de la Instalación (m)

S = Sección del conductor (mm²)

V = Tensión de Linea (V)

$\text{Cos}\phi$ = Factor de Potencia

Conductor del Panel al Regulador de Carga

$$\Delta V (\%) = \frac{0.0309 \times I \times L \times \cos\phi}{S \times V} \times 100$$

$$\Delta V (\%) = \frac{0.0309 \times 139.3 \times 12 \times 0.90}{70 \times 48} \times 100$$

$$\Delta V (\%) = 1.38$$

$$\Delta V (\%) = 1.38 < 3\% \text{ ok}$$

Conductor Inversor a las Cargas

$$\Delta V (\%) = \frac{0.0309 \times I \times L \times \cos\phi}{S \times V} \times 100$$

$$\Delta V (\%) = \frac{0.0309 \times 215.26 \times 12 \times 0.90}{70 \times 380} \times 100$$

$$\Delta V (\%) = 0.27$$

$$\Delta V (\%) = 0.27 < 3\% \text{ ok}$$

Dimensionamiento con software Homer

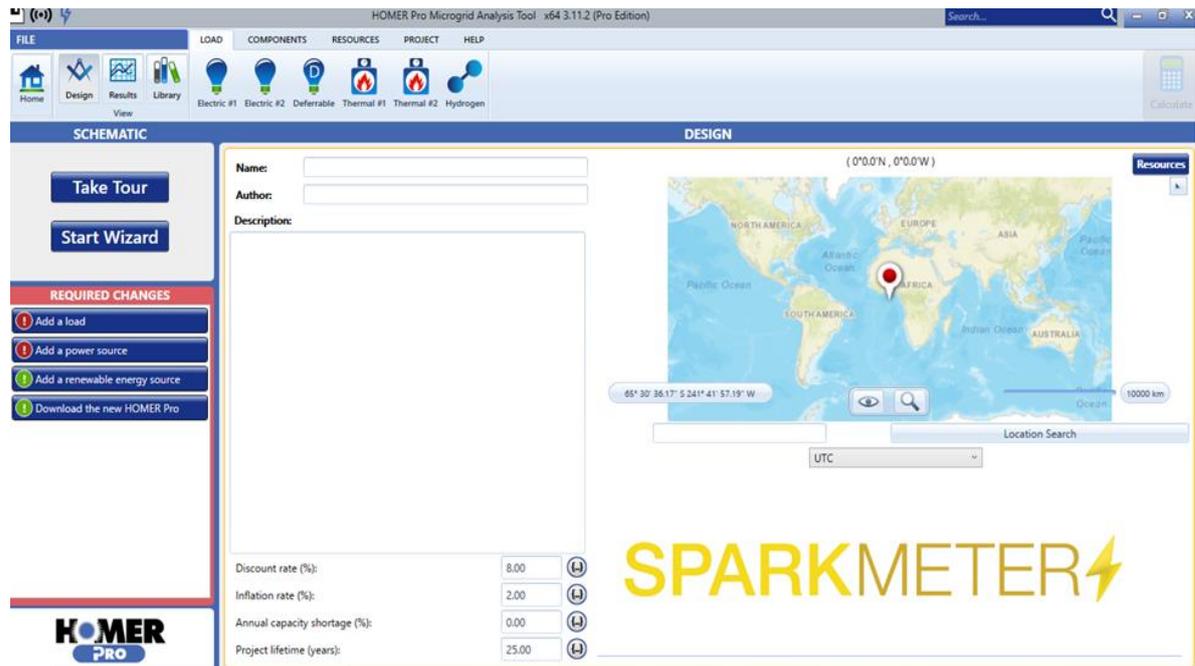
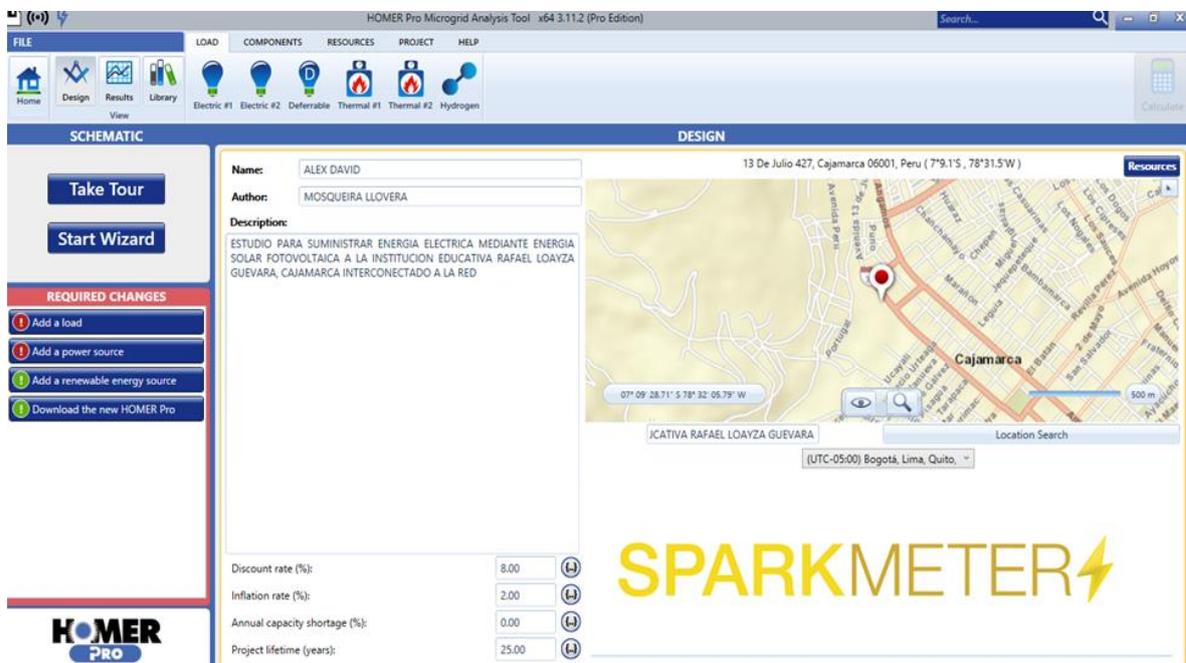


Figura 24: Vista de Ingreso al software Homer

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2



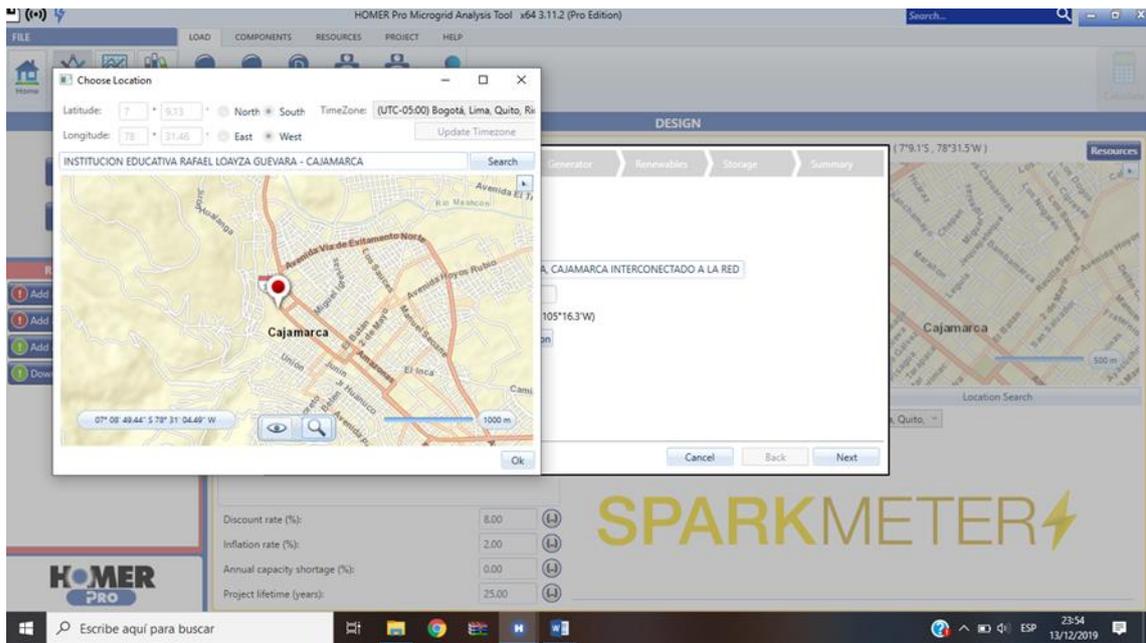


Figura 25: Ubicación de la zona de influencia: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

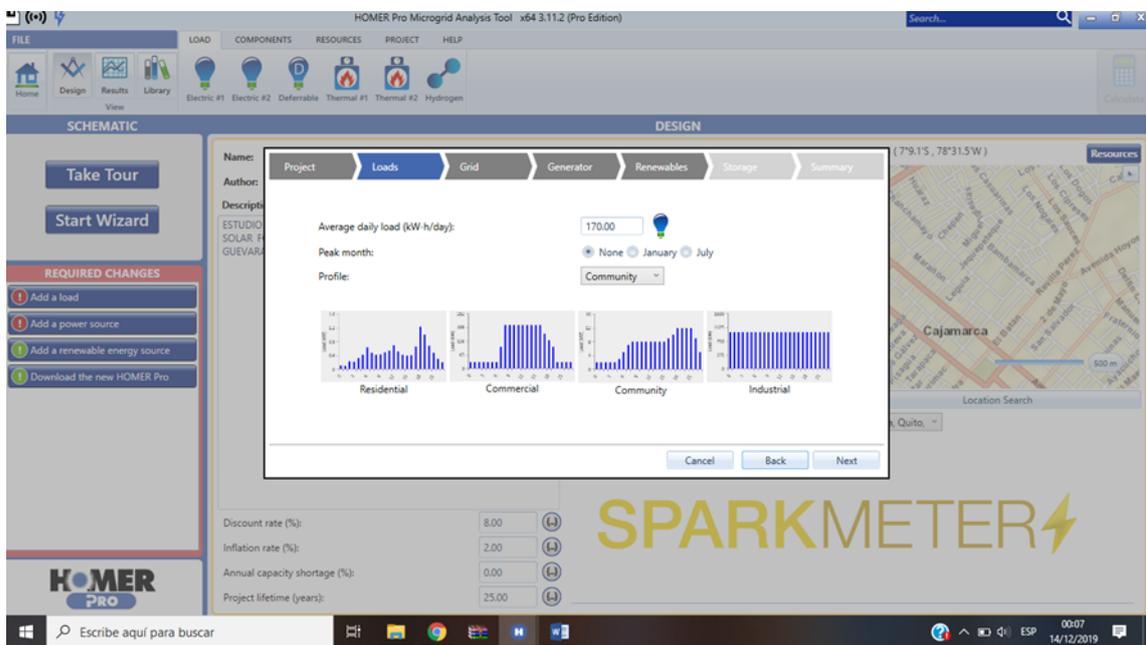


Figura 26: Configuración de la carga total: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

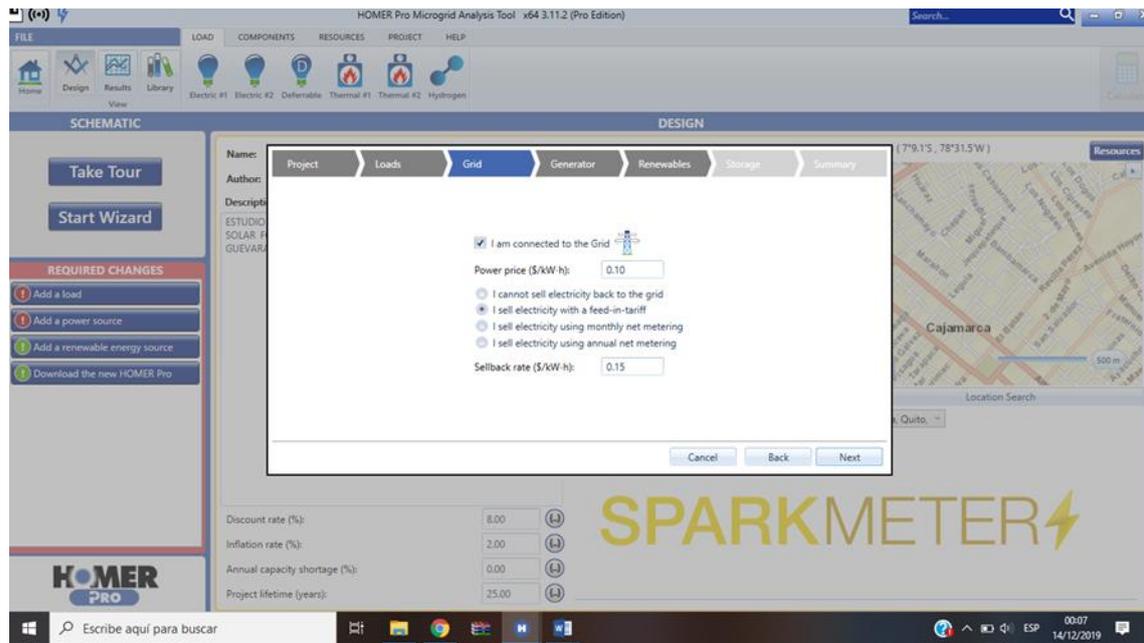


Figura 27: Configuración de la conexión a la red: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

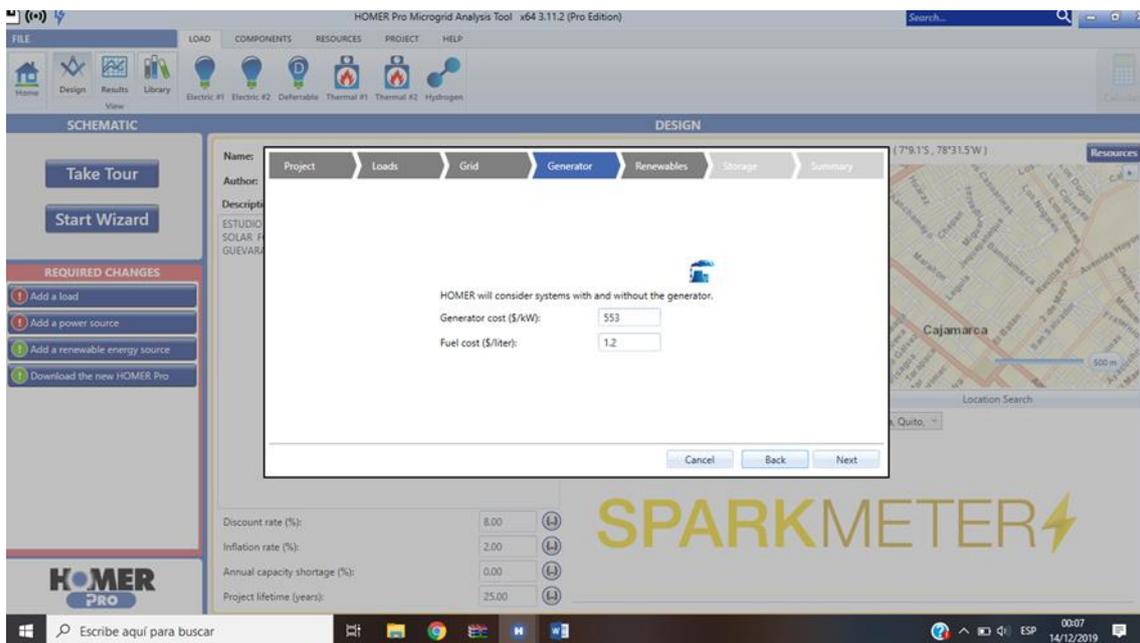


Figura 28: Configuración de la conexión al generador solar: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

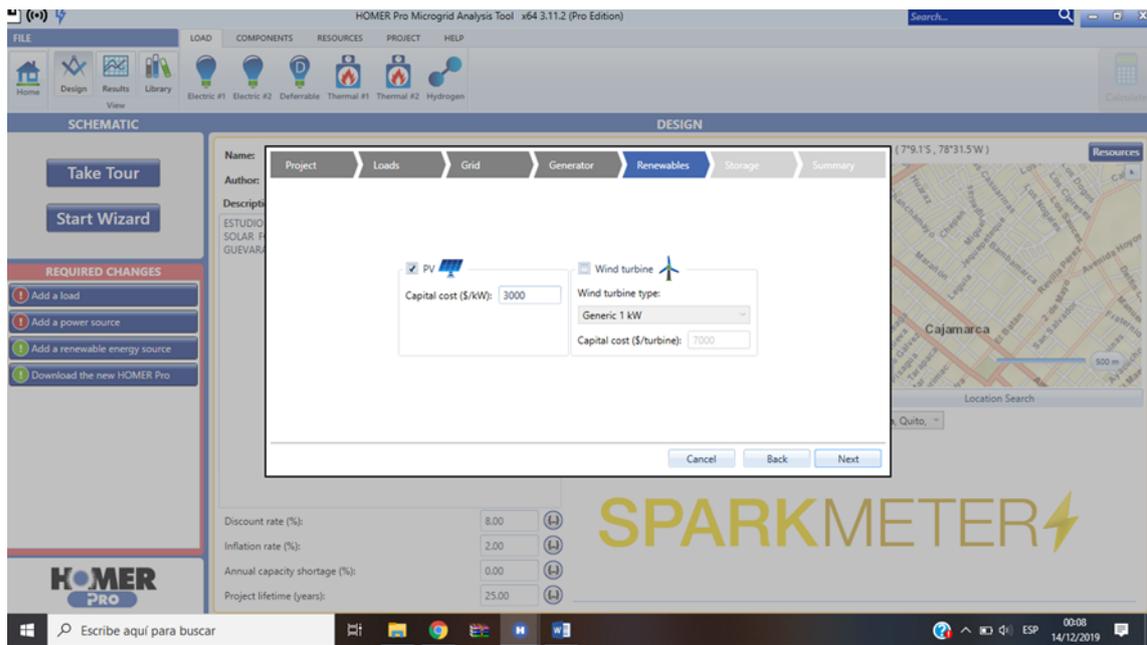
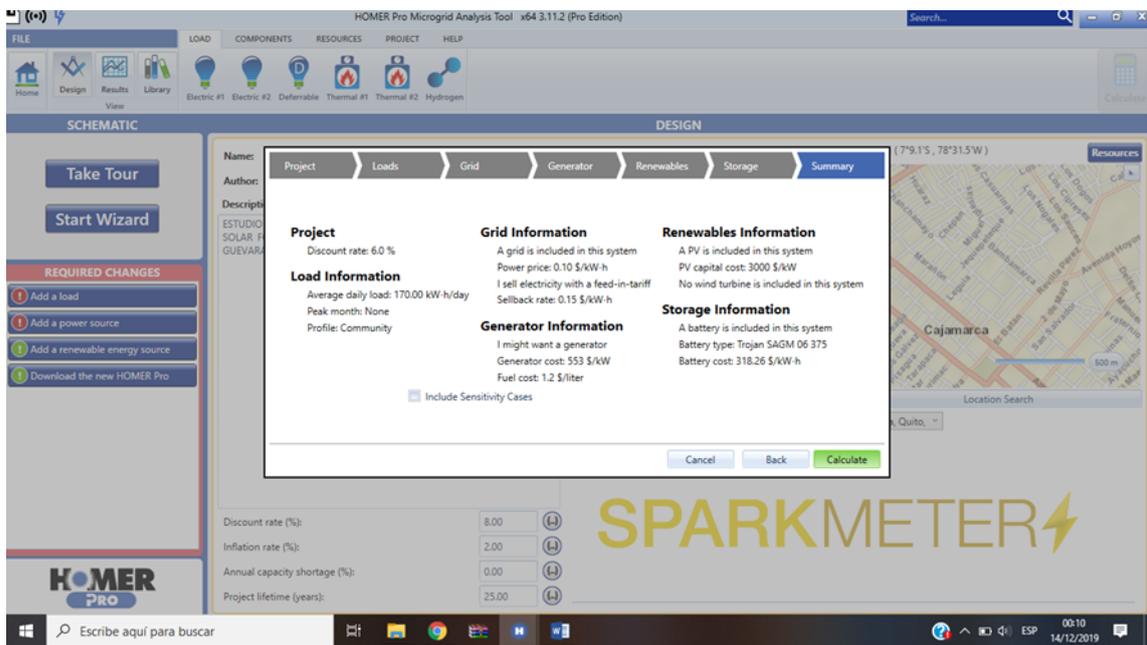


Figura 29: Configuración de la conexión de los paneles solares del generador solar: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca



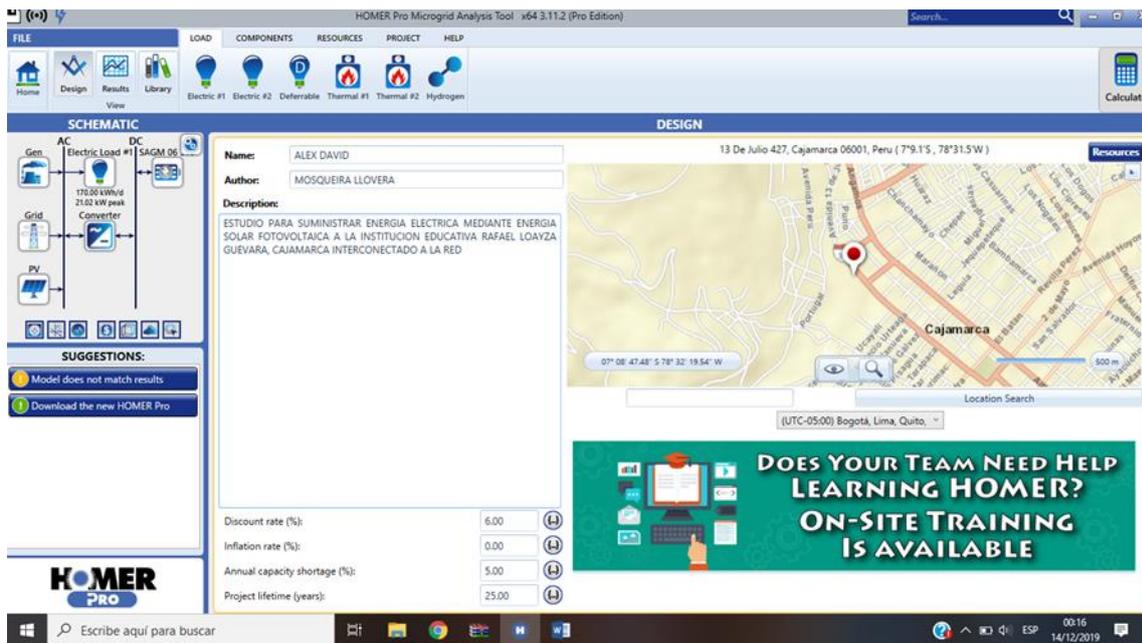


Figura 30: Configuración de conexiones teniendo en cuenta la selección de los elementos calculados: Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

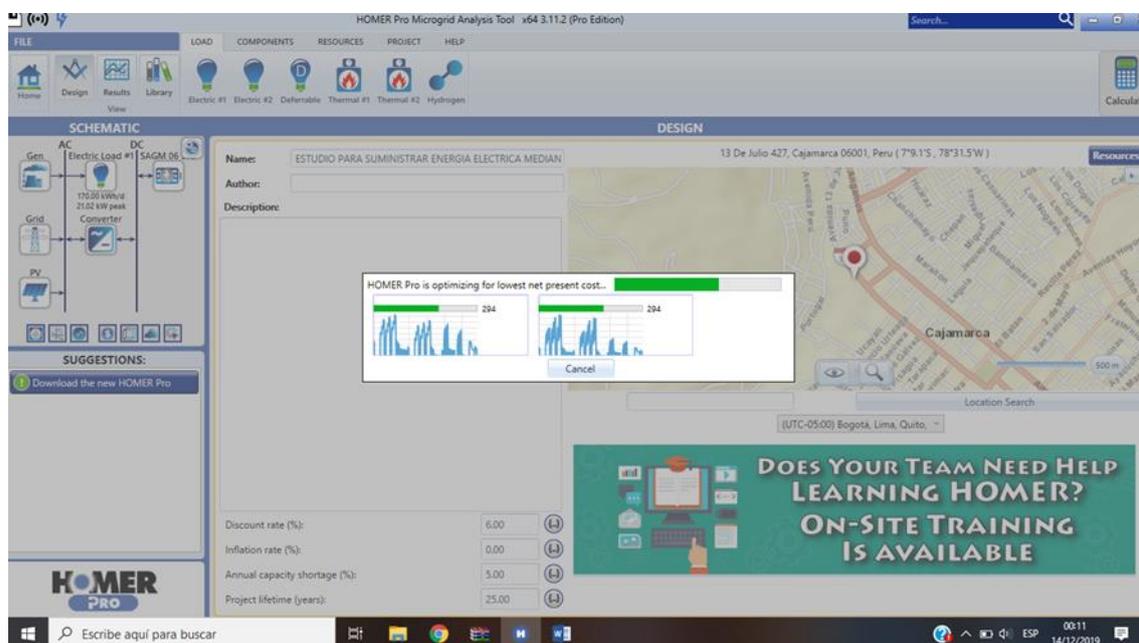


Figura 31: Calculando modelamiento del estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca interconectado a la red

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

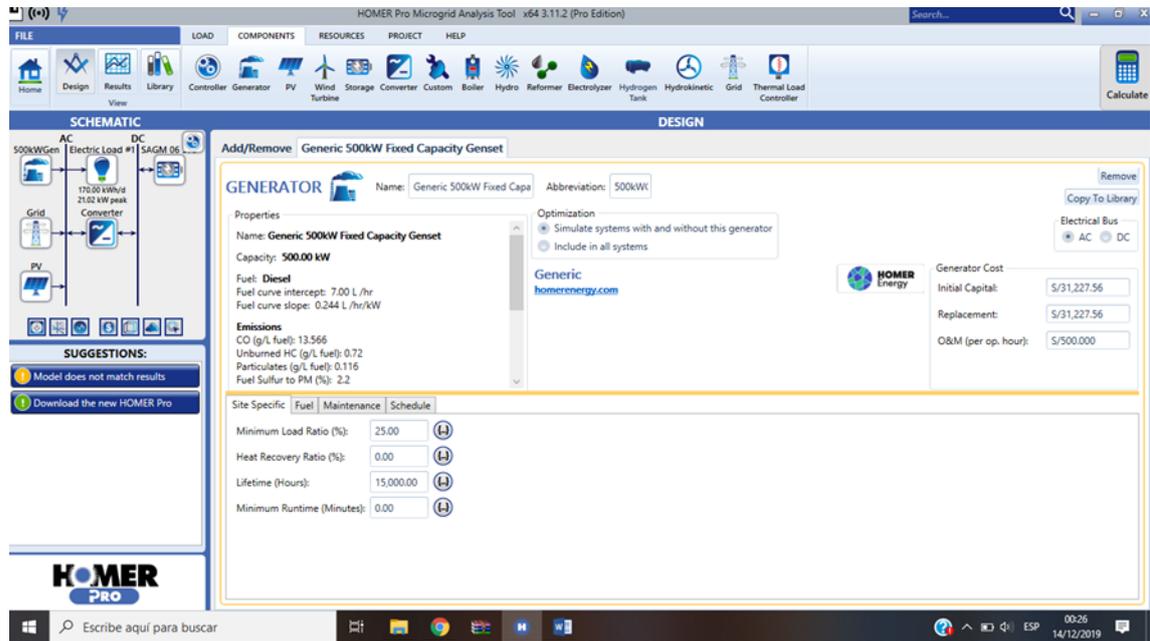


Figura 32: Especificación técnica del generador solar según dimensionamiento en Software Homer Pro

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

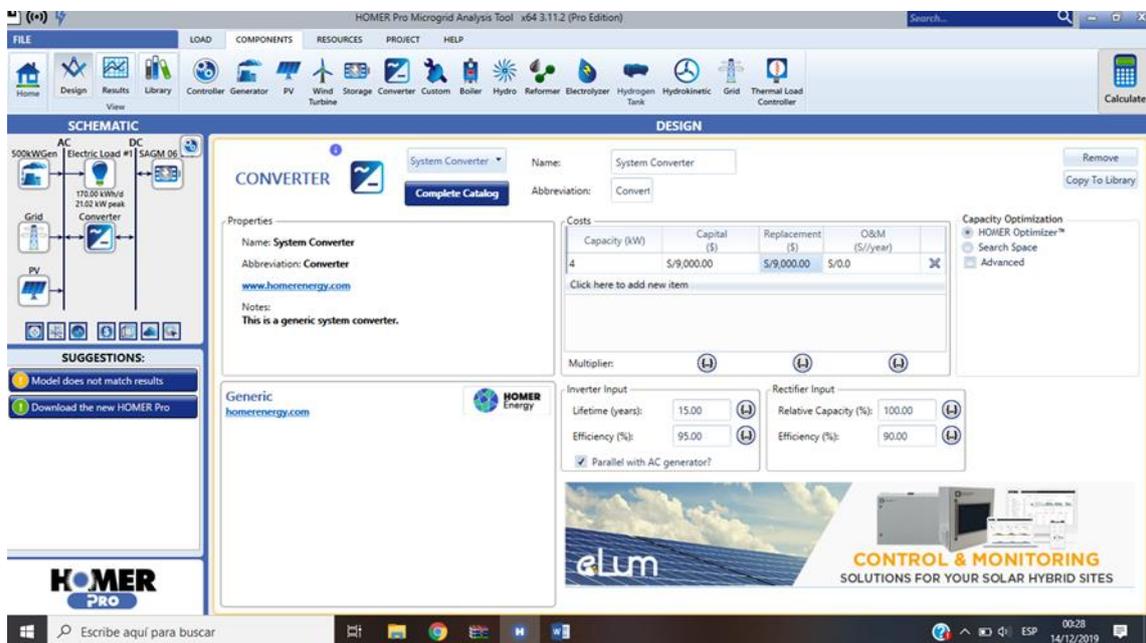


Figura 33: Especificación técnica del convertor según dimensionamiento en software Homer Pro

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

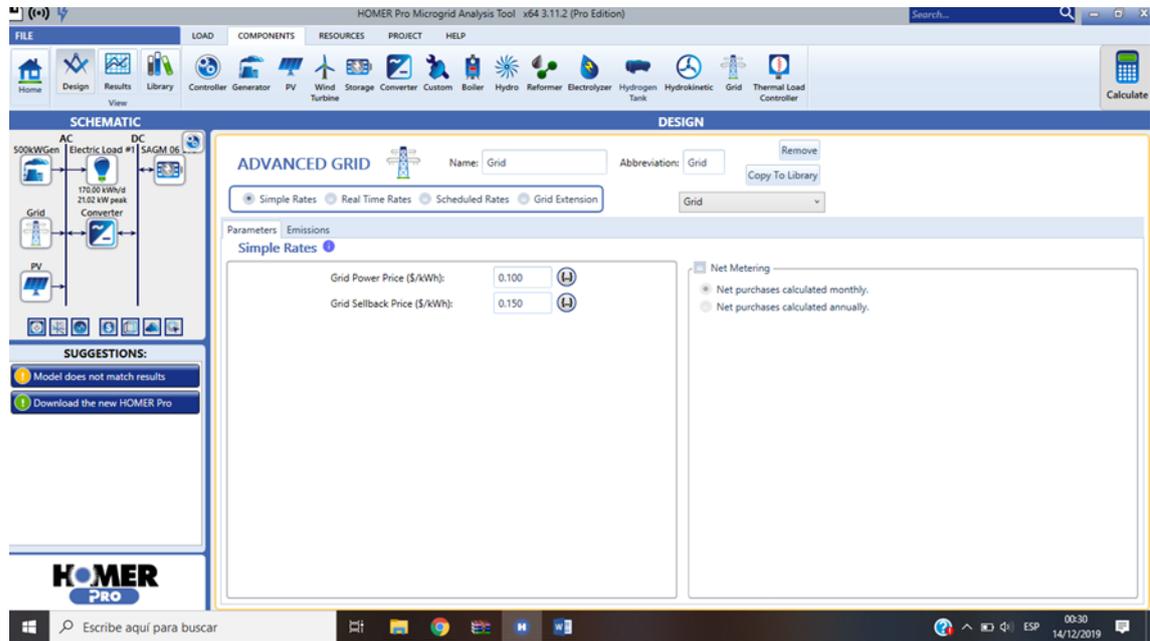


Figura 34: Especificación técnica de la Interconexión a la red según dimensionamiento en software Homer Pro

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

Sensitivity Cases															
Architecture	Cost	System	Compare Economics	500k											
PV (kW)	500kWGen (kW)	SAGM 06 375	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$/)	NPC (\$/)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$/)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours	Product (kW)
						999,999	S/0,100	S/79,321	S/6,205	S/0,00	0	0			
Optimization Results															
Architecture	Cost	System	Compare Economics	500k											
PV (kW)	500kWGen (kW)	SAGM 06 375	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$/)	NPC (\$/)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$/)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours	Product (kW)
						999,999	S/0,100	S/79,321	S/6,205	S/0,00	0	0			
0.0278						999,999	S/0,100	S/79,349	S/6,201	S/83,50	0,0746	0	2.1	19	
1.18	1					999,999	S/0,101	S/80,113	S/6,218	S/620,04	0	0			
1.18	1					999,999	S/0,102	S/81,059	S/6,030	S/3,976	3,15	0	0,94	24	
500						999,999	S/0,130	S/103,454	S/5,650	S/31,228	0	0		0	0
0.0278	500					999,999	S/0,130	S/103,482	S/5,646	S/31,311	0,0746	0		0	0
500	1					999,999	S/0,131	S/104,247	S/5,664	S/31,848	0	0		0	0
1.18	500	1				999,999	S/0,133	S/105,192	S/5,475	S/35,203	3,15	0		0	0

Figura 35: Resultados del modelamiento del estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca interconectado a la red

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

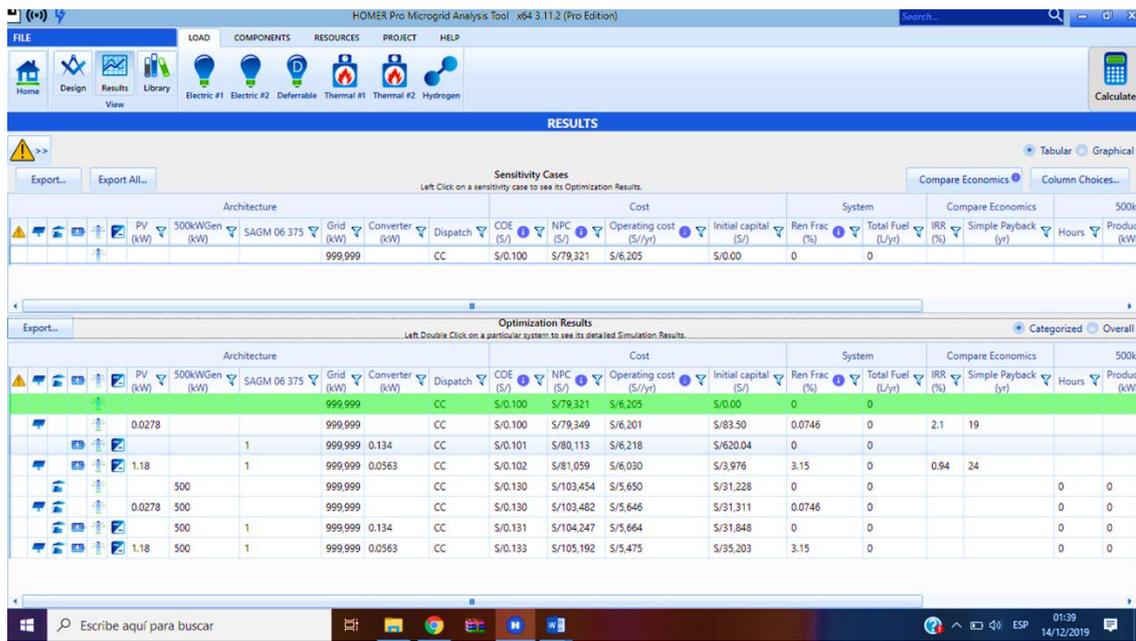


Figura 36: Error relativo máximo en el costo actual neto

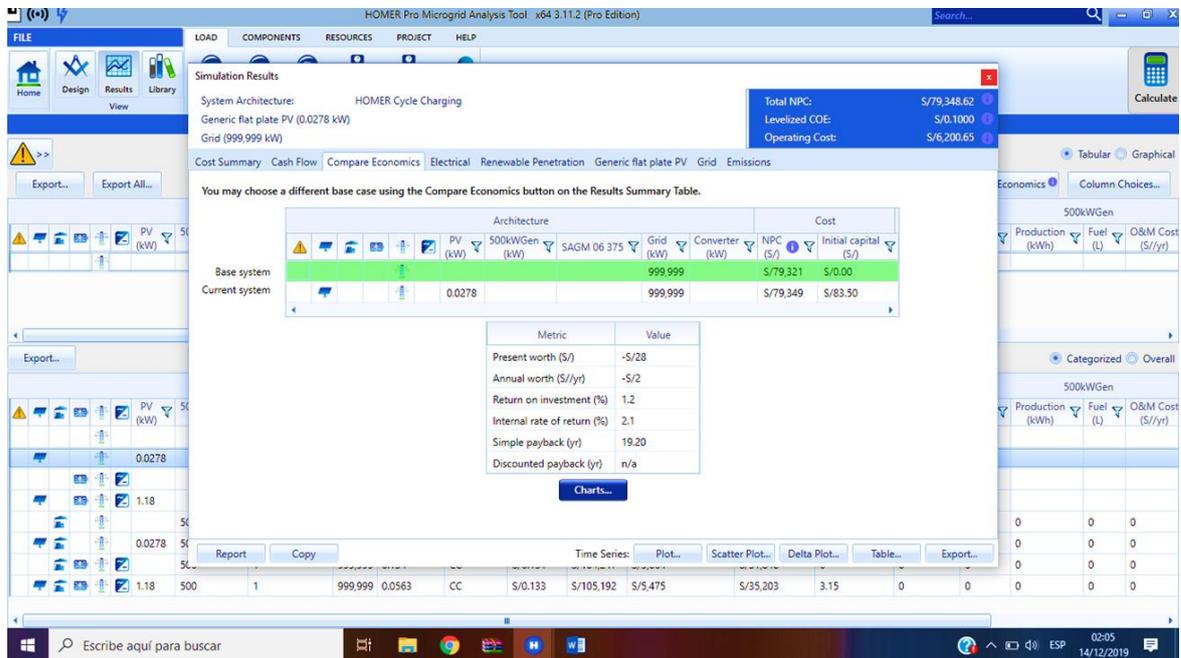


Figura 37: Comparación económica

Fuente: Software Homer pro versión 3.11.2

4.3. Evaluación técnico-económica.

Tabla 22: Determinación del presupuesto del proyecto

Descripción	Unidad de Medida	Cantidad	Precio unitario S/.	Precio Total S/.
Paneles Solares 370 watt – 24V	Und	28	949.13	26,575.64
Estructuras de Panel solar	Und	28	466.14	13,051.92
Inversor Bestsun de 4000 watts, 48 DC	Und	2	4,500.00	9,000.00
Regulador de Carga solar Victron Energy de 100 A modelo MPPT 150/100	Und	2	2,100.00	4,200.00
Conductor THW de 70 mm2	Rollo	0.5	650.00	325.00
Tubo PVC de 2 pulgada	Und	50	7.5	375.00
Montaje Electromecánico	Global	1	15,793.16	15,793.16
Transporte y ferretería	Global	1	10,000.00	10,000.00
Presupuesto del módulo fotovoltaico				79,320.72

Fuente: Elaboración propia

El presupuesto total para la implementación del sistema fotovoltaico se eleva a la suma de S/. 79,320.72 (Setenta y Nueve Mil Trescientos Veinte con 72/100 Soles).

Evaluación Económica

Ingresos:

Tabla 23: Pagos facturados a la Institución Educativa que pasarían hacer ingresos

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
S/. 600	S/. 550	S/. 1302	S/. 1420	S/. 1650	S/. 1396	S/. 1050
Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
1198	1209	1250	1296	1105		

Fuente: Recibos de luz

Haciendo un total de S/. 14,026.00 Soles al año



Figura 38: Flujo de consumo de energía en soles en el periodo de un año en la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca.

Fuente: Recibos de luz

Tabla 24: Evaluación económica del proyecto

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	Inversión (costo de proyecto)	Ingresos trabajos realizados									
Ingresos	79320.72	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00
Otros		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total ingresos	79320.72	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00	14026.00
Egresos											
Gastos administrativos		-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00	-300.00
Operación y mantenimiento		-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00	-500.00
Otros gastos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total egresos	0.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00	-800.00
Ingreso neto	-79320.72	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00	13226.00
VAN S/				1,947.32							
TIR				10.57%							
TASA DE DESCUENTO				10%							

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

El intervalo entre valores mínimo y máximo de irradiación solar de la región Cajamarca es amplio, abarca desde valores representativos de la Selva hasta valores representativos del Sur del país, según informes del SENAMHI, lo que obliga a los proyectistas de este tipo de instalaciones realizar profundos estudios del recurso solar en la dimensión temporal como en la dimensión espacial. Es preferible evaluar la irradiación solar que la irradiancia, pues el primero cuantifica la energía aprovechable acumulada en el día, mientras que el segundo cuantifica potencias fijas en determinados momentos del día. La irradiación también expresa la cantidad de horas en el día con presencia de luz solar.

Asimismo, el gasto de energía eléctrica del establecimiento varía considerablemente durante el año, por lo que se debe optimizar debidamente el sistema fotovoltaico a partir de valores representativos de demanda eléctrica. Es importante también conocer el perfil de carga de la institución, es decir, cómo varía el consumo en el día, esto es, conocer en qué horario se consume más electricidad. Existe diversos criterios para utilizar la información de la demanda: se podría escoger el mes de menor consumo, buscando una menor inversión del sistema fotovoltaico; se podría escoger el mes de mayor consumo, buscando ser más conservadores y garantizar la satisfacción de la demanda; o se podría escoger un valor promedio, buscando un equilibrio técnico-económico.

El monto de facturación también comprende un amplio intervalo, con lo que, para evaluar el flujo de caja, también pueden admitirse los tres criterios de diseño. Si bien, cualquier instalación fotovoltaica puede ser aplicable para toda carga, el aspecto económico es el elemento diferenciador entre un proyecto y otro, pues no todos garantizan el retorno de la inversión más adecuado según las circunstancias y objetivos de la entidad interesada.

VI. CONCLUSIONES

- 1.** Se determinó la radiación solar promedio de la demarcación del dominio de la Institución Educativa, empleando un equipo solarímetro de marca AMBIENT WEATHER, los datos obtenidos se dieron en un rango de 10 minutos por cada intervalo de hora comenzando a las 06:00 horas y finalizando las 18:00 horas, escogiendo 06 mediciones por cada 60 minutos, resultando un nivel de radiación solar mínima de 6.98 kw.h/m², por lo que en el diseño del sistema fotovoltaico se empleó el nivel mínimo de 6.98 kw.h/m².
- 2.** Se determinó consumo de energía en kw/h realizado por la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara en el año 2018, teniendo para este un promedio de consumo de energía de 1477 kw/h, teniendo un área total de 675 m², se determinó el Índice de Consumo Energético de los últimos 12 meses siendo este 2.2 Kwh/m².
- 3.** Se determinó que para el sistema fotovoltaico conectado a la red se determinaron 28 paneles de 370 W monocristalino, 2 reguladores de marca: VICTRON ENERGY de 100 amperios modelo: MPPT 150/100 y 2 inversores de marca BESTSUN de 4 kw – 48 DC.
- 4.** De acuerdo al estudio realizado el proyecto tendrá un costo total de S/. 79,320.72, en tal sentido el proyecto es aceptable.

VII. RECOMENDACIONES

- 1.** Se debe tener en cuenta las mediciones realizadas para el cálculo de la radiación solar promedio en el terreno de la Institución Educativa Rafael Loayza Guevara, obteniendo un valor mínimo de 6.98 kw.h/m^2 ya que se garantiza el buen funcionamiento del sistema.
- 2.** Se sugiere no exceder en los consumos eléctricos mensuales ya que los presentes cálculos arrojan un índice de consumo energético promedio de los últimos 12 meses ascendente a 2.2 Kwh/m^2 , para ello teniendo una máxima demanda de 101.89 KW/h , en donde la mayor parte de consumo eléctrico se realiza en el sistema de iluminación y salas de computadoras
- 3.** Se sugiere al sistema fotovoltaico un mantenimiento total de los equipos, siendo estos 28 paneles de 370 W monocristalino, 2 reguladores de marca VICTRON ENERGY de 100 amperios modelo MPPT 150/100 y 2 inversores de marca BESTSUN de 4 kw y 48 DC , porque estos equipos garantizan el correcto funcionamiento del sistema diseñado.
- 4.** Se sugiere implementar el estudio para suministrar energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica a la institución educativa Rafael Loayza Guevara, Cajamarca interconectado a la red con el monto de $\text{S/} 79,320.72$, ya que evidencia un VAN positivo de $\text{S/} 1947.32$ y un TIR al 10.57% mayor a la tasa de descuento por lo cual se evidencia que el proyecto es factible.

REFERENCIAS

ADEDAYO, Ganiyu y BOLAJI, Sanusi (2017). Development of a power flow model for optimal location of distributed generators in electrical distribution systems. Ogbomoso: Journal of Energy Technologies and Policy, 2017, 9. Vol. 7, págs. 11-19.

Banco Mundial. 2018. Energía. [En línea] 03 de octubre de 2018. [Citado el: 05 de octubre de 2019].
<https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#2>.

BAYOD, A [et al.] (2005). Definición para Generación Distribuida: una revisión. A, 3, Zaragoza: RE&PQJ, 2005, Vol. 1, págs. 340-343.

BAZURTO, A [et al.]. (2016). Perspectiva del transformador de distribución en redes eléctricas con alta penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos. Bogotá: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2016, Vol. 26, págs. 35-48.

BRAVO, M. ORTUÑO, Y. y HERNANDEZ, A. (2014). Reenganche automático en circuitos de distribución con generación distribuida. La Habana: Ingeniería Energética, 2014, Vol. 25, págs. 213-224.

BRAVO, Marta y YAÑEZ, Yumil. (2009). Retos a las protecciones eléctricas en las redes de distribución con generación distribuida. Arica: Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 2009, Vol. 17, págs. 101-107.

Contreras, K. (2015) Evaluación de la eficiencia de un sistema fotovoltaico en el campus universitario UAP - filial Huancayo. Huancayo: Universidad Alas Peruanas, 2015.

GAMIO, Pedro. (2017) Energía: un cambio necesario en el Perú. Lima: Revista Kawsaypacha, 2017, págs. 93-135.

GONZALES, D. LUNA, G y RIVAS, E. (2015). Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados con base en la normatividad colombiana y estándares IEEE. Bogotá: Ingeniería, 2015, Vol. 20, págs. 28-35.

GRISALES, L, RESTREPO, B y JARAMILLO, F. (2017). Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: Una revisión. Nueva Granada: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2017, Vol. 27.

GUEVARA, B. (2018). Aprovechamiento de la energía solar para la generación de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO2 en el caserío Nuevo Edén - Yambrasbamba - Amazonas. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018.

HAFEZ, Omar y BHATTACHARYA, Kankar. (2012). Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids..Waterloo : Renewable Energy, 2012, págs. 7-15.

Hidayatullah, Nur Asyik ; Blagojce Stojcevski, Akhtar Kalam. (2011). Analysis of Distributed Generation Systems, Smart Grid Technologies and Future Motivators Influencing Change in the Electricity Sector. Melbourne: Smart Grid and Renewable Energy, 2011, págs. 216-229.

HINCAPIE, Ricardo; HOME, Juan y GALLEGO, Ramon. (2017). Nuevo modelo para la expansión de sistemas eléctricos de distribución con generación distribuida considerando un planeamiento multi-etapa coordinado. 1, México: Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2017, Vol. 18, págs. 43-53.

HOSSEINI, Seyed [et al.]. (2013). Optimal sizing and siting distributed generation resources using a multiobjective algorithm. 2013. 21, Tafresh: Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2013, págs. 825-850.

ÍSMODES, F. 2018. Perú: 15% de la matriz energética provendrá de energías renovables al 2030. América Economía. [En línea] 30 de octubre de 2018. [Citado el: 05 de octubre de 2019.] <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/peru-15-de-matriz-energetica-provendra-de-energia-renovable-al-2030>.

KENNETH, E. OKEDU, Roland UHUNMWANGHO. 2014. Optimization of Renewable Energy Efficiency using HOMER. Port Harcourt: International Journal of Renewable Energy Research, 2014, Vol. 4, págs. 421-427.

LAMBERT, Tom, Paul, Gilman y LILIENTHAL, Peter. 2006. Micropower System Modeling with HOMER. [aut. libro] Farret Felix y Godoy M. Integration of Alternative Sources of Energy. s.l.: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

LUNA, Gustavo, Gonzáles, Diego y RIVAS, Edwin. 2013. Estado del arte y propuesta metodológica de evaluación del impacto de la generación distribuida. Cali: El Hombre y la Máquina, 2013, págs. 28-35.

MARCIA. Montedónico [et al.]. 2018. Co-construcción en proyectos de generación distribuida con energía solar: participación de la comunidad en el proyecto Ayllu Solar. 29, Santiago de Chile: Revista Estudios Avanzados, 2018, págs. 4-22.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 2019. Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional - enero 2019. Lima: MINEM, 2019.

MOHAMMAD, Seyf. 2018. Distributionally robust distributed generation hosting capacity assessment in distribution systems. Sydney: Energies, 2018, págs. 1-19.

MOJICAR, S. y REYES, B. 2009. Estimación de confiabilidad en sistemas de generación distribuida de electricidad. Santiago de Cuba: Ciencia en su PC, 2009, págs. 77-86.

Morales, Carlos. 2013. Cálculo de una tarifa de alimentación para instalaciones fotovoltaicas residenciales en Colombia. 34, Medellín: Semestre Económico - Universidad de Medellín, 2013, Vol. 16, págs. 13-40.

Obando Edgar. 2017. Algoritmos genéticos y PSO aplicados a un problema de generación distribuida. Pereira: Scientia Et Technica, 2017, Vol. 22, págs. 15-23

Orozco, César., Mora, Juan y Pérez, Sandra. 2015. Método de localización de fallas basado en impedancia aparente para sistemas de distribución con generación distribuida. Arica : Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 2015, Vol. 23, págs. 348-360.

PANHWAR, I [et al.]. 2017. Designing Off-Grid and On-Grid Renewable Energy Systems Using HOMER Pro Software., Konya: J. Int. Environmental Application & Science, 2017,4. Vol. 12, págs. 270-276.

PEPERMANS, G [et al.]. 2003.. Distributed generation: definition, benefits and issues. 2003. 8, Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 2003, págs. 1-20.

Quispe, M. 2015. Diseño de un sistema fotovoltaico para determinar la eficiencia energética suministrada a un paradero ubicado en el campus universitario UAP - filial Huancayo. Huancayo: Universidad Alas Peruanas, 2015.

Sirajuddin, Mohd, y otros. 2017. A review paper on electricity generation from solar energy. Pune: International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, 2017, Vol. 5, págs. 1884-1889.

REN21.2019. Renewables 2019 Global Status Report. Paris: REN21, 2019.

RESTREPO, David y Bonie, TREJOL, Adriana.2018. Microgrid analysis using HOMER: a case study. s. Medellín: Dyna, 2018, Vol. 85, págs. 129-134.

RIOS, José. 2018. "Diseño de un Sistema Fotovoltaico, para la Generación de energía eléctrica en el centro poblado la Algodonera, Olmos - Lambayeque", universidad cesar Vallejo Chiclayo 2018 pp.102

RIVERA, Mario y otros. 2017. Análisis de sensibilidad de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Caso de estudio en Guerrero, México: Ingeniería. Investigación y Tecnología, 2017, Vol. 18, págs. 293-305.

Rodríguez, B, Fernández, M y Fernández, N. 2014. Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida en Cienfuegos. La Habana: Ingeniería Energética, 2014, Vol. 35, págs. 274-285.

ROMAN, Laura, MORA, Juan y PEREZ, Sandra. 2015. Método de localización de fallas considerando el efecto de la carga, para sistemas de distribución de energía con Generación Distribuida., Medellín: Energética, 2015, págs. 117-122.

SALAZAR, Horus, HINCAPIE, Ricardo y GALLEGO, Ramón. 2014. Metodología para el planeamiento de sistemas de distribución considerando incertidumbre en la demanda. n. Pereira: Scientia Et Technica, 2014, Vol. 19, págs. 19-28.

SALAZAR, Jaime. 2017. Diseño de un Sistema Fotovoltaico autónomo para abastecimiento eficiente de energía en el ámbito rural. Huancayo- Perú 2017 pp. 144

SAURABH, Kumar. 2017. Solar energy. Fundamentals, economic and energy analysis. Ghaziabad: NITRA, 2017.

SENAMHI (2019). Niveles de Radiación Ultravioleta se incrementan en el país. ministerio de energía y minas. 2019. https://idesep.senamhi.gob.pe/geoserver/g_08_04/wms?

SERVAN, J. 2014. Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red. Piura: Universidad de Piura, 2014.

WASFI, Mahmud. 2011. Solar Energy and Photovoltaic Systems. Journal of Selected Areas in Renewable and Sustainable Energy, 2011, págs. 1-8.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY. 2009. Solar electric system design, operation and installation. An overview for builders in the U.S. Pacific Northwest. Washington: Washington State University, 2009.

WERNER, Antonio y ERRASTI, Michel. (2013). Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba. La Habana: Ingeniería Mecánica, 2013, Vol. 16, págs. 123-131.

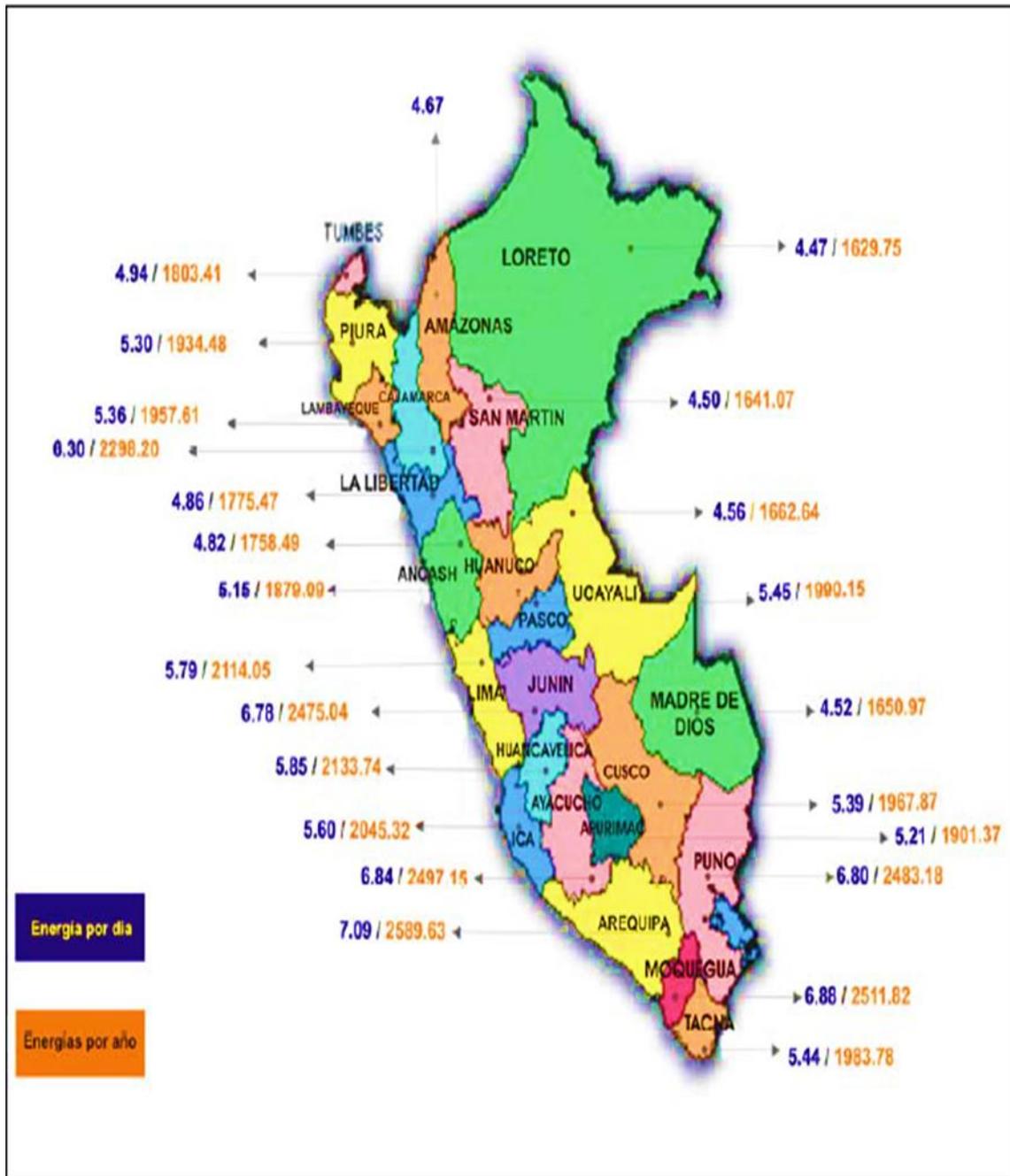
ANEXOS

Anexo 01. Cuadro de irradiación en el Perú.

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LAT. Gra.	ALT. m	IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL EN KW/hm ²												MEDIA ANUAL KW/hm ²
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Tumbes	Tumbes	Corales	3.6	85	4.8	4.9	5.1	4.9	4.5	4.1	3.9	3.9	4.2	4.2	4.6	4.9	4.5
Piura	Talara	El Alto	4.3	270	4.5	4.6	4.5	4.1	3.9	3.4	3.5	3.6	3.9	3.9	4.0	4.4	4.0
Piura	Huancabamba	Huancabamba	5.2	57	4.6	4.8	4.5	4.7	4.4	4.2	4.4	5.0	5.1	4.9	4.4	4.9	4.7
Lambayeque	Lambayeque	Lambayeque	6.7	10	5.4	5.4	5.2	5.0	4.6	3.9	3.8	4.3	4.9	5.1	5.3	5.3	4.9
Lambayeque	Chilayo	Cayalti	7.1	150	5.9	5.9	5.5	5.5	5.0	4.4	4.5	4.9	5.6	5.6	6.1	6.2	5.5
La Libertad	Ascope	Casagrande	7.7	150	4.8	5.1	4.7	4.5	4.5	3.4	3.3	4.1	4.1	4.7	4.9	5.1	4.4
La Libertad	Ascope	Certavio	7.9	51	5.0	6.1	5.0	4.7	4.8	3.8	3.6	4.4	4.3	4.9	5.3	5.5	4.8
Ancash	Santa	Nepena	9.2	203	5.5	6.4	5.9	5.3	5.5	3.5	3.7	4.6	4.5	5.6	5.7	5.7	5.2
Ancash	Huarez	Huarez	9.5	30	5.2	5.0	5.0	5.1	4.9	4.7	4.9	5.3	5.4	5.4	5.5	5.2	5.1
Lima	Barranca	Paramonga	10.7	15	5.3	4.4	5.1	4.7	2.7	1.9	2.3	2.1	2.7	4.3	4.9	5.5	3.0
Lima	Lima	Jesus Maria	12.1	10	5.5	5.3	5.2	5.0	5.6	2.3	2.0	2.2	2.4	3.3	4.0	4.8	3.8
Lima	Lima	La Molina	12.1	150	4.3	4.9	4.2	4.3	3.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.8	3.3	4.2	3.4
Ica	Chincha	Chincha Alta	13.4	94	5.3	4.7	4.9	5.0	3.5	2.7	2.6	3.2	3.9	4.6	5.6	4.9	4.2
Ica	Inca	Cauabato	13.7	35	5.8	5.7	5.8	5.0	4.3	3.2	3.2	3.6	4.8	5.1	5.1	5.5	4.8
Ica	Nazca	Marcona	15.1	620	5.4	5.1	5.2	4.9	4.3	3.8	3.8	4.4	5.1	5.8	5.8	5.7	4.9
Arequipa	Arequipa	Arequipa	16.3	2150	5.4	5.1	5.0	5.2	4.5	4.4	4.5	5.1	5.7	6.1	6.5	6.2	5.3
Arequipa	Arequipa	Characato	16.4	2451	5.2	5.0	5.2	5.1	4.6	4.4	4.6	5.2	5.7	6.6	6.5	5.9	5.3
Arequipa	Arequipa	Pampa de Mejia	16.5	140	5.6	5.5	5.7	5.4	4.7	4.5	4.8	5.3	5.0	6.7	6.6	6.4	5.6
Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	17.2	1412	5.5	5.2	5.8	5.2	4.6	4.3	4.4	4.8	5.7	6.4	6.6	6.3	5.4
Tarma	Tarma	Paucaraní	17.5	4541	5.1	5.3	5.0	5.8	4.8	4.7	4.8	5.5	5.8	6.2	6.1	5.6	5.4
Tarma	Tarma	Cajana	17.9	875	5.6	5.5	5.2	4.8	4.2	3.8	4.0	4.4	4.9	5.7	6.0	5.9	5.0
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	7.1	2640	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.8	4.5	4.4	4.6	4.9	4.7	4.5
Huanuco	Leoncio Prado	Tingo Maria	9.1	640	3.8	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.9	4.6	4.5	4.5	4.2	3.9	4.0
Huanuco	Huanuco	Huanuco	9.9	1895	4.5	4.3	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	4.7	4.7	4.9	4.9	4.7	4.5
Junin	Chanchamayo	Humaya	1.1		5.1	5.3	5.3	4.7	4.6	3.5	3.6	4.3	4.2	5.0	4.9	5.3	4.7
Junin	Huanuco	Huachac	12.0	1150	5.0	4.9	4.7	4.7	4.6	4.4	4.5	4.8	4.9	5.3	5.4	5.2	4.9
Huancavelica	Castrovirreyna	Aconococha	13.1	4520	4.9	3.7	4.1	4.3	4.2	4.6	4.3	4.6	4.9	4.9	5.2	4.9	4.8
Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	13.2	2760	5.1	5.1	4.7	4.7	4.5	4.2	4.2	4.7	5.0	5.4	5.7	5.3	4.9
Apuríac	Abancay	Abancay	13.6	2378	4.6	4.7	4.7	4.6	4.4	4.2	4.2	4.7	5.0	5.5	5.4	5.0	4.7
Cuzco	La Convencion	Santa Ana	12.9	920	4.0	4.0	4.0	3.8	3.9	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.3	4.9	4.0
Cuzco	Cuzco	San Jeronimo	13.6	320	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.3	4.4	4.6	4.9	5.2	5.2	4.8	4.7
Puno	Puno	Duno	15.8	3875	5.1	5.2	5.1	5.1	4.6	4.4	4.6	5.0	5.5	6.0	6.0	5.6	5.2
Amazonas	Bagua	Had Valor	5.7	421	4.1	4.2	4.4	4.4	4.1	4.2	4.1	4.6	4.8	4.9	5.3	4.8	4.5
San Martín	San Martín	Juan Guerra	6.6	30	3.9	4.0	3.8	3.4	3.7	3.6	3.9	4.2	4.2	4.3	4.2	4.1	4.0
Loreto	Maynas	Iquitos	3.8	125	3.4	3.7	3.5	3.7	3.0	3.1	3.7	4.2	4.7	3.8	4.2	3.8	3.7
Loreto	Requena	Requena	5.0	180	3.9	4.0	3.7	3.5	3.4	3.4	3.7	4.2	4.3	4.4	4.2	3.8	3.9
Ucayali	Padre Abad	Padre Abad	8.5	270	4.0	3.9	3.8	3.5	3.7	3.5	4.0	4.6	4.6	4.5	4.2	4.1	4.0
Ucayali	Atalaya	Yurao-Yurua	9.0	-1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	3.0	3.3	3.8	4.0	3.5	3.4	3.2	3.1
Madre de Dios	Tahuamanu	Iberia	1.4	150	3.7	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5	3.8	4.3	4.3	4.1	4.2	3.9	3.9

Fuente: Ministerio del ambiente (2016)

Anexo 2. Mapa de radiación solar del Perú.



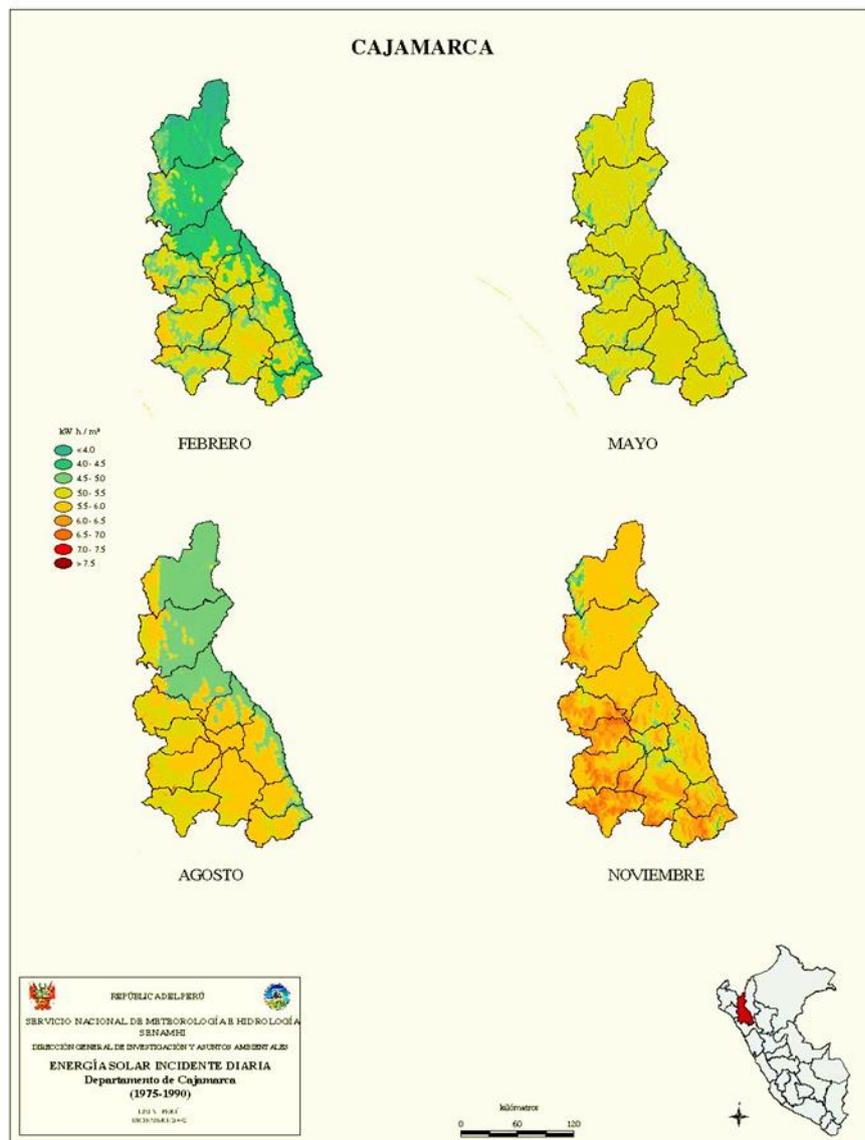
Fuente: Senamhi

Anexo 03. Mapa de radiación solar del Perú



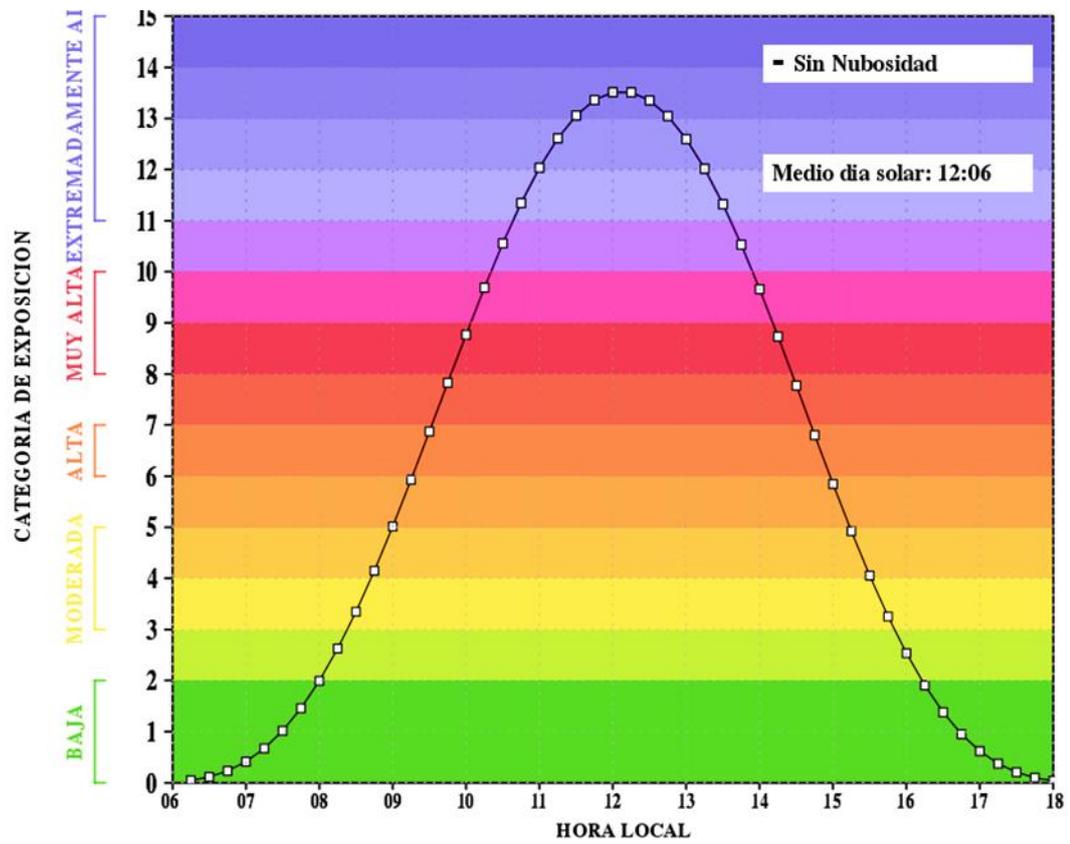
Fuente: Senamhi

Anexo 04. Mapa de radiación solar en el departamento de Cajamarca.



Fuente: Senamhi

Anexo 05. Radiación solar por día y hora.



Fuente: Senamhi

Anexo 06. Mapa de radiación solar del Perú mes de enero.



Fuente: Senamhi

Anexo 07. Mapa de radiación solar del Perú mes de febrero.



Fuente: Senamhi

Anexo 08. Mapa de radiación solar del Perú mes de marzo.



Fuente: Senamhi

Anexo 09. Mapa de radiación solar del Perú mes de abril.



Fuente: Senamhi

Anexo 10. Mapa de radiación solar del Perú mes de mayo.



Fuente: Senamhi

Anexo 11. Mapa de radiación solar del Perú mes de junio.



Fuente: Senamhi

Anexo 12. Mapa de radiación solar del Perú mes de julio.



Fuente: Senamhi

Anexo 13. Mapa de radiación solar del Perú mes de agosto.



Fuente: Senamhi

Anexo 14. Mapa de radiación solar del Perú mes de septiembre.



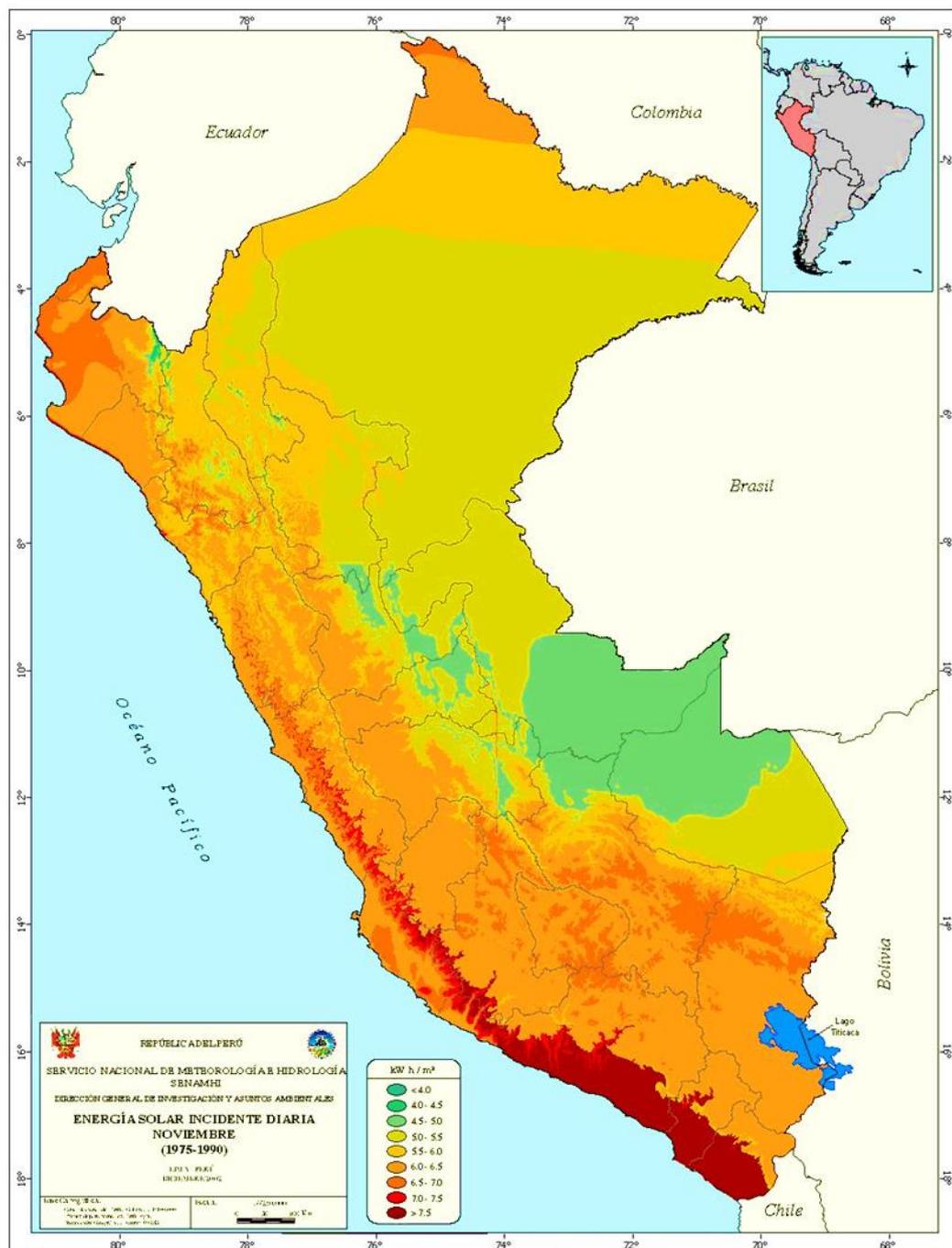
Fuente: Senamhi

Anexo 15. Mapa de radiación solar del Perú mes de octubre.



Fuente: Senamhi

Anexo 16. Mapa de radiación solar del Perú mes de noviembre.



Fuente: Senamhi

Anexo 17. Certificados de calibración.



METROLOGÍA E INGENIERÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CLE-0229-2019

O.T. : 0560-2019
N° EXPEDIENTE : 0756-2019

Página : 1 de 2
Fecha : 2019-04-29

1 CLIENTE : UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Dirección : CAL. JUAN XXIII NRO. 391 CERCADO LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE

2 INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MEDIDOR DE POTENCIA SOLAR
Marca : AMBIENT WEATHER
Modelo : TM-206
Serie : 120901868
Alcance : 2000 W/m2
Procedencia : Taiwan

3 FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN
Fecha : 2019-04-29
Lugar de Calibración : Laboratorio de Calibraciones ENERLAB SAC

4 METODO DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó por comparación directa con patrones calibrados trazables a INACAL-DM.

5 PATRON DE CALIBRACIÓN

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	N° DE CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
GENERADOR DE FORMAS DE ONDA	RIGOL	DG 4062	LTF-C-103-2018	INACAL-DM
TERMOHIGROMETRO	LUFFT	OPUS 20	LH-062-2019	INACAL-DM
MULTIMETRO	FLUKE	8846A	LE-084-2019	INACAL-DM

6 CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	23,3 °C	23,1 °C
HUMEDAD RELATIVA	65,8 %	64,6 %

7 OBSERVACIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
El valor indicado del equipo que se muestra en la tabla, es el promedio de 5 valores medidos.
La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza aproximado de 95%.
Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Ing. Máximo Oriundo Cordero
CIP:94415
Gerencia Técnica



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE ENERLAB S.A.C.

Jr. Los Palmitos N° 127-131 Urb Los Jardines de San Juan - San Juan de Lurigancho - Lima - Lima
Metrología (511) 376-9578 RPC: 981452217 Cell: 952033733 / 956031703 / 933220038
ventas@enerlab.com.pe / ventas01@enerlab.com.pe / calibraciones@enerlab.com.pe
Ingeniería (511) 393-6673 Celular: 998880984 / 948975146 ingenieria@enerlab.com.pe www.enerlab.com.pe

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADO
Test de Prueba		Conforme
Verificacion de Panel de Control		Conforme
Verificacion de sensor		Conforme
Prueba de OFF-SET (Cero)		Conforme

Medicion de Potencia Solar (W/m2)

VALOR PATRON (W/m2)	VALOR EQUIPO (W/m2)	FACTOR DE CORRECCION (W/m2)	INCERTIDUNBRE (W/m2)
50,0	50,7	-0,7	0,1
100,0	100,9	-0,9	0,1
190,0	191,3	-1,3	0,1

VALOR PATRON (W/m2)	VALOR EQUIPO (W/m2)	FACTOR DE CORRECCION (W/m2)	INCERTIDUNBRE (W/m2)
500	502	-2	1
1000	1005	-5	1
1500	1506	-6	1

FIN DE DOCUMENTO



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE ENERLAB S.A.C.

Jr. Los Palmitos N° 127-131 Urb Los Jardines de San Juan - San Juan de Lurigancho - Lima - Lima
 Metrologia (511) 376-9578 RPC: 981452217 Cell: 952033733 / 956031703 / 933220038
 ventas@enerlab.com.pe / ventas01@enerlab.com.pe / calibraciones@enerlab.com.pe
 Ingenieria (511) 393-6673 Celular: 998880984 / 948975146 Ingenieria@enerlab.com.pe www.enerlab.com.pe

Anexo 18. Características eléctricas de módulos



PANEL SOLAR 370W 72 CÉLULAS MONOCRISTALINO

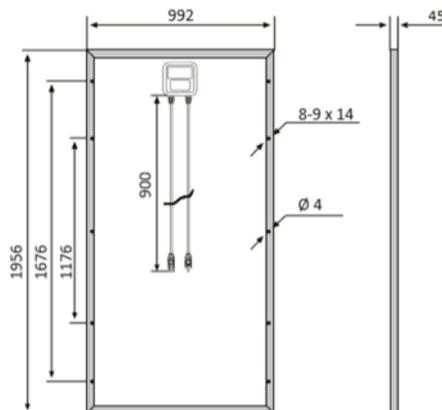
BSP370M

Características

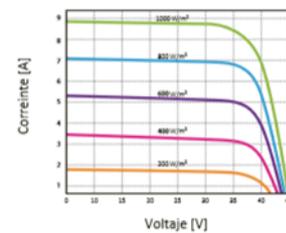
Tamaño del módulo	1956 x 992 x 45 mm
Células	72 piezas monocristalinas (156 x 156 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	370W
Cable	90cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	48.3V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.95A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	40.1V
Intensidad a máxima potencia (Im)	9.23A
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.02973%
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.38038%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.57402%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	19%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	21.5 kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años



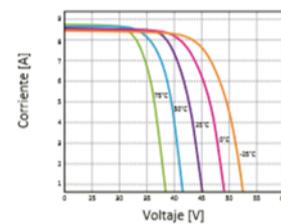
Esquemas



Curvas



Características de los módulos a temperaturas constantes de 25°C y niveles variables de irradiación



Características de los módulos a temperaturas variables e irradiación constante de 1.000W/m²

Anexo 19. Sistema de montaje del módulo solar



Montaje para suelo rústico

Componentes

Guía K2-Solid LS

Garantía

12 años

Material

Aluminio 6063 T66

Medidas disponibles: Según necesidad

Peso: 2,95 Kg/m

Pórtico

Garantía

12 años

Material

Aluminio 6063 T66

Medidas disponibles: Según necesidad

Peso: Según modelo

Tornillo de cimentación (opcional)

Garantía

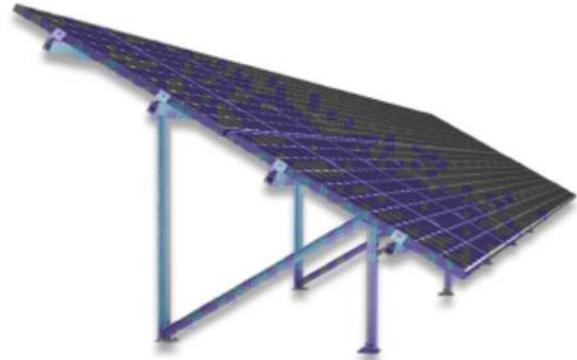
12 años

Material

Acero galvanizado

Medidas disponibles: Aprox. 1500mm

Peso: Según modelo



K2 Systems

Creada en 2004, K2 Systems, con sede en la ciudad alemana de Leonberg, es una de las compañías líderes en la producción de sistemas de montaje en aluminio para instalaciones fotovoltaicas. Desde su constitución, el fabricante cuenta con un crecimiento continuo por lo que ha abierto tres oficinas, una en Italia y dos en Francia.

Las estructuras K2 Systems están fabricadas en aleación de aluminio 6063 T66 AlMgSi 05 F22. Esta combinación ha demostrado ser especialmente resistente al agua del mar y también en ambientes salubres, por lo que, además, está recomendada para instalaciones en lugares costeros.

Este sistema incorpora un estudio personalizado y a medida del cliente, que incluye análisis de la zona de carga de viento y nieve, con ángulos de inclinación a petición del cliente dependiendo de sus necesidades. Tiene una garantía de 12 años y está disponible de inmediato. A pesar de que más del 90% del sistema está fabricado en aluminio 6063 (excepto tornillería y piezas de agarre que están fabricadas en acero inoxidable), el precio del sistema encaja perfectamente en el mercado español.

Fuente: k2 systems 2019

Anexo 20. Especificaciones técnicas del controlador de carga.

Vervolg specificaties

BlueSolar-laadcontroller	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Accuspanning	12/24/48V Auto Select (36 V: handmatig)	
Maximale accustroom	85 A	100A
Maximale PV-stroom, 12V 1a,b)	1200 W	1450W
Maximale PV-stroom, 24V 1a,b)	2400 W	2900W
Maximale PV-stroom, 36V 1a,b)	3600W	4350W
Maximale PV-stroom, 48V 1a,b)	4900W	5800W
Maximale PV-nullastspanning	150V	
Piefficiëntie	98%	
Eigen verbruik	Minder dan 35mA @ 12V / 20mA @ 48V	
Laadspanning 'absorptielading'	Standaardinstelling: 14,4V / 28,8V / 43,2V / 57,6V (regelbaar)	
Laadspanning 'egalisatie'	Fabrieksinstelling: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regelbaar)	
Laadspanning 'druppellading'	Standaardinstelling: 13,8V / 27,6V / 41,4V / 55,2V (regelbaar)	
Laadalgoritme	meertraps adaptief (acht voorgeprogrammeerde algoritmes)	
Temperatuurcompensatie	-16mV/°C / -32mV/°C / -48mV/°C / -64mV/°C	
Beveiliging	Omgekeerde polariteit accu (zekering, niet toegankelijk voor gebruiker) Kortsluiting uitgang / Overtemperatuur	
Bedrijfstemperatuur	-30 tot +60°C (volledig nominaal vermogen tot 40°C)	
Vocht	95%, niet condenserend	
Maximale hoogte	2000m	
Omgevingsomstandigheden	Binnen, natuurlijk	
Verontreinigingsgraad	PD3	
Datacommunicatiepoort en aan/uit op afstand	VE.Direct Zie het witboek over datacommunicatie op onze website	
Parallele werking	Ja, maar niet gesynchroniseerd	
BEHUIZING		
Kleur	Blauw (RAL 5012)	
PV-aansluitingen 2)	35mm ² / AWG2 (Tr-modellen), of dubbele MC4-stekkers (MC4-modellen)	
Accu-aansluitingen	35mm ² / AWG2	
Beschermingsklasse	IP43 (elektronische componenten) IP 22 (aansluitingsgebied)	
Gewicht	4,5 kg	
Afmetingen (h x b x d)	Tr-modellen: 216 x 295 x 103 mm MC4-modellen: 246 x 295 x 103 mm	
NORMEN		
Veiligheid	NEN-EN-IEC 62109	
1a) Als meer PV-stroom wordt aangesloten, beperkt de controller het ingangsvermogen tot het maximale vermogen. 1b) De controller start pas als de PV-spanning Vaccu + 5V overschrijdt. Daarna bedraagt de minimale PV-spanning Vaccu + 1V. 2) MC4-modellen: er zijn meerdere splitterparen nodig om de aders van de zonnepanelen parallel te laten lopen		



victron energy

1

Fuente: Victron energy 2019

Anexo 21. Especificaciones técnicas del inversor.

Product Specification

Bestsun

Solar Power System

Technical Parameters

MODEL	BPS-1000M	BPS-2000M	BPS-3000M	BPS-4000M	BPS-5000M	
Default Battery System Voltage	24VDC			48VDC		
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1000VA/ 800W	2000VA/ 1600W	3000VA/ 2400W	4000VA/ 3200W	5000VA/ 4000W
	Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA	8000VA	10000VA
	Waveform	Pure sine wave				
	AC Voltage Regulation (Batt Mode)	230VAC±5%				
	Inverter Efficiency (Peak)	90%	93%			
	Transfer Time	10ms(For Personal Computers) 20ms(For Home Appliances)				
AC INPUT	Voltage	230VAC				
	Selectable Voltage Range	170~280VAC(For Personal Computers) 90~280VAC(For Home Appliances)				
	Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)				
BATTERY	Nominal voltage	24VDC			48VDC	
	Floating Charge Voltage	27VDC			54VDC	
	Overcharge Protection	31VDC			60VDC	
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	75VDC			145VDC	
	PV Array MPPT Voltage Range	30~60VDC			60~115VDC	
	Standby Power Consumption	2W				
	Rated Power	600W			3000W	
	Maximum Solar Charge Current	30A			60A	
	Maximum Efficiency	98%				
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Maximum AC Charge Current	10A or 20A	20A or 30A		60A	
	Maximum Charge Current	26A	36A			120A
	Dimension,W*H*D(mm)	272*372*131			295*526*141	
OTHER	Net Weight(kg)	7.4	7.6	8	12.5	13.5
	Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)				
	Operating Temperature Storage Temperature	0°C -55 °C -15 °C -60 °C				

Fuente:Solar power system, 2019

Anexo 22. Especificaciones del cableado según la capacidad de corriente permisible en amperios

CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMISIBLE EN AMPERES

Temperatura ambiente: 30 °C

Temperatura admisible en el conductor: 70 °C (TW-70; TWF-70; TWT-70)

Temperatura admisible en el conductor: 90 °C (THW-90; THWF-90; XHHW-90; CAI; CAI-S)

CONDUCTOR		CAPACIDAD DE CORRIENTE Ampere			
Calibre AWG-MCM	Sección mm ²	Instalaciones en Tubo Máximo Tres Conductores		Instalaciones al Aire Libre	
		TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR			
		70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
18	0,821	9	14	13	18
	1,0	11	16	16	24
16	1,31	13	18	19	24
	1,5	15	22	23	27
14	2,08	20	25	28	35
	2,5	20	27	28	35
12	3,31	25	30	33	40
	4	26	34	35	46
10	5,26	34	40	48	55
	6	36	42	50	60
8	8,37	47	55	66	80
	10	47	60	74	83
6	13,3	62	75	90	105
	16	71	78	100	115
4	21,15	81	95	120	140
	25	90	100	133	150
2	33,63	110	130	160	190
	35	114	130	165	190
1	42,41	124	150	185	220
	50	138	150	210	230
1/0	53,51	143	170	220	260
	2/0	67,44	166	195	250
3/0		70	171	195	255
	85,02	190	225	295	350
95		204	225	315	355
4/0	107,2	219	260	340	405
	120	233	260	360	405
250	126,7	242	290	385	455
	150	271	300	420	480
300	152,0	271	320	420	505
	350	177,4	295	350	480
185		304	350	490	570
400	202,7	318	380	520	615
	240	357	400	565	635
500	253,4	361	430	590	700
	300	400	455	655	740
600	304,0	400	475	655	780
	750	380,0	450	535	745
400		465	535	775	880
1000	500	518	595	890	1 000
	506,7	518	615	890	1 055

Fuente: Datos de conductores, 2019