



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

**VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA
EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para Optar el Título Profesional de**

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“VIABILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ESTACIÓN
BASE CELULAR DE LA EMPRESA CLARO UBICADO EN
EL CASERÍO SANTA ROSA-SALLIQUE- JAÉN-
CAJAMARCA”**

Autor:

Bach. GUEVARA SEMPETEGUI CESAR IVÁN

Asesor:

Ing. HÉCTOR OLIDEN NÚÑEZ

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“VIABILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ESTACIÓN
BASE CELULAR DE LA EMPRESA CLARO UBICADO
EN EL CASERÍO SANTA ROSA-SALLIQUE- JAÉN-
CAJAMARCA”**

Autor:

Bach. GUEVARA SEMPETEGUI CESAR IVÁN

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

SECRETARIO: Dr. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE

VOCAL: Ing. PERCY EDUAR NIÑO VASQUEZ

ASESOR: Ing. HERCTOR OLIDEN NUÑEZ

Lambayeque – Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



VI PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

“VIABILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ESTACIÓN BASE CELULAR DE LA EMPRESA CLARO UBICADO EN EL CASERÍO SANTA ROSA-SALLIQUE- JAÉN-CAJAMARCA”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bach. GUEVARA SEMPETEGUI CESAR IVÁN

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

Lambayeque – Perú

2018

DEDICATORIA

Este examen de suficiencia está dedicado a mi madre Marcela por haber dado la vida que es el tesoro máspreciado del mundo y por demostrarme siempre su cariño y su apoyo incondicional. Y a mi padre Julio a pesar nuestra distancia física siento que siempre estás conmigo gracias por tu gran apoyo, ternura y cariño que siempre me has ofrecido, y siempre me motivabas para poder llegar a este logro de mi formación profesional.

Y a toda mi familia y amigos que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Con toda mi dedicación y esfuerzo.

Guevara Sempertegui Cesar Iván

AGRADECIMIENTO

Primero que todo agradeceré a Dios por haberme guiado e iluminado en mi vida y hacer realidad mi sueño anhelado.

A todos los buenos Docentes de Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Pedro Ruiz Gallo que me orientaron y enseñaron durante mi formación profesional.

a mi asesor al Ingeniero Héctor Oliden Núñez por su paciencia y guía para hacer posible la culminación este examen de suficiencia.

También a los compañeros y personas sinceras que alguna vez me apoyaron y dieron fuerza para seguir adelante.

RESUMEN

El objetivo de este examen de suficiencia fue determinar la viabilidad de un sistema fotovoltaico para la Estación Base Celular (EBC) ubicado en el Caserío Santa Rosa, distrito de Sallique provincia de Jaén perteneciente a la región Cajamarca. Se ha observado que se viene utilizando un grupo electrógeno de 15 kW, el cual demanda excesivos costos en combustible, transporte del mismo y mantenimiento llegando a un total de S/. 55 488 anualmente. La energía promedio diaria que demanda la estación es de 32,501 kWh/día. Después de obtener la radiación solar para la zona de investigación el cual tiene un valor de 4,89 kWh/m². Los componentes del sistema fotovoltaico de 32 paneles solares de 300 Wp de potencia pico, 16 baterías de 503 Ah, 02 controladores BlueSolar MPPT 150/100 y 01 inversor Sunny Island de 8 kW 48/230 V con una inversión de S/. 162 196,25. Del estudio de viabilidad para un horizonte de 20 años se obtuvo que el tiempo de retorno de la inversión es de 3 años y 6 meses.

Palabras clave: Panel solar, irradiación, inversor, Energía eléctrica.

ABSTRACT

The objective of this sufficiency test was to determine the viability of a photovoltaic system for the Cellular Base Station (EBC) located in Caserío Santa Rosa, Sallique district of Jen province belonging to the Cajamarca region. It has been observed that a generator of 15 kW has been used, which demands excessive fuel costs, transportation and maintenance, reaching a total of S /. 55 488. The average daily energy required by the station is 32,501 kWh / day. After obtaining the solar radiation for the research area which has a value of 4.89 kWh / m². The components of the photovoltaic system of 32 solar panels of 300 Wp peak power, 16 batteries of 503 Ah, 02 BlueSolar MPPT controllers 150/100 and 01 inverter of Sunny Island of 8 kW 48/230 V with an investment of S /. 162 196,25. The feasibility study for a 20-year horizon showed that the return on investment time is 3 years and 6 months.

Keywords: Solar panel, irradiance, inverter, Electric power.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | V |
| RESUMEN | VI |
| ÍNDICE..... | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XII |
| CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Realidad Problemática | 1 |
| 1.2. Formulación del Problema | 1 |
| 1.3. Delimitación de la Investigación | 2 |
| 1.3.1. Delimitación espacial | 2 |
| 1.3.2. Delimitación temporal..... | 3 |
| 1.4. Justificación e Importancia de la Investigación..... | 3 |
| 1.5. Limitaciones de la Investigación..... | 3 |
| 1.6. Objetivos | 4 |
| 1.6.1. Objetivo General | 4 |
| 1.6.2. Objetivo Específicos | 4 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes de Estudios..... | 5 |
| 2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado | 8 |
| 2.2.1. Energías no convencionales | 8 |
| 2.2.2. Energía solar..... | 11 |
| 2.2.3. Efecto fotoeléctrico..... | 15 |
| 2.2.4. Sistemas fotovoltaicos..... | 17 |
| 2.2.5. Controlador | 28 |
| 2.2.6. Inversor | 33 |
| 2.2.7. Batería de acumuladores | 37 |
| 2.2.8. Cables | 44 |
| 2.2.9. Elementos de protección | 44 |
| 2.2.10. Estructuras de soporte fijo..... | 45 |
| 2.2.11. Estación base y una red inalámbrica..... | 47 |
| 2.2.12. Evaluación económica de proyectos de inversión | 51 |
| 2.2.13. Marco legal..... | 54 |

| | |
|--|----|
| 2.3. Definición conceptual de la terminología empleada | 55 |
| CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO | 58 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 58 |
| 3.2. Población y muestra | 59 |
| 3.3. Hipótesis | 59 |
| 3.4. Operacionalización de las variables | 59 |
| 3.5. Métodos y Técnicas de investigación | 61 |
| 3.6. Descripción de los instrumentos utilizados | 62 |
| 3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos | 62 |
| CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN | 63 |
| 4.1. Propuesta de la investigación | 63 |
| 4.1.1. Equipamiento del sistema fotovoltaico | 63 |
| CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 65 |
| 5.1. Sistema convencional de energía eléctrica | 65 |
| 5.1.1. Costo del sistema de generación del sistema convencional | 66 |
| 5.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado | 68 |
| 5.2.1. Evaluación de la Radiación Solar disponible | 68 |
| 5.2.2. Radiación solar en la región Cajamarca según el atlas solar | 68 |
| 5.2.3. Radiación solar de Jaén consultando página de la NASA | 68 |
| 5.2.4. Radiación solar según el Software Solarius Plus | 70 |
| 5.2.5. Calculo del consumo energético | 71 |
| 5.2.6. Calculo del generador fotovoltaico | 71 |
| 5.2.7. Calculo de la capacidad de las baterías | 74 |
| 5.2.8. Calculo de la capacidad del controlador de carga | 75 |
| 5.2.9. Calculo del inversor de corriente | 76 |
| 5.2.10. Protección contra sobre intensidades | 80 |
| 5.2.11. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares: | 82 |
| 5.2.12. Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos | 83 |
| 5.3. Evaluación económica | 85 |
| 5.3.1. Costo total del proyecto | 85 |
| 5.3.2. Flujo de caja proyectado | 86 |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES | 89 |
| 6.1. Conclusiones | 89 |
| BIBLIOGRAFÍA | 90 |

| | |
|---|----|
| ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA SEGÚN EL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DEL PERÚ | 92 |
| ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES SOLARES..... | 92 |
| ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA ROLLS DE 503 AH..... | 92 |
| ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR SELECCIONADO BLUE SOLAR DE 150/100 | 92 |
| ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR SUNNY ISLAND DE 8 KW 48/230 V | 92 |
| ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS THW 90 | 92 |
| ANEXO N°07. CATÁLOGO DE FUSIBLES | 92 |
| ANEXO N° 08. PLANO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO | 92 |
| ANEXO N° 09. PLANO DE MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS SOBRE ESTRUCTURAS FIJAS DE APOYO..... | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación | 25 |
| Tabla N° 2: Características de los principales tipos de baterías | 40 |
| Tabla N° 3: Técnicas e instrumentos utilizados..... | 62 |
| Tabla N° 4: Costo total anual..... | 67 |
| Tabla N° 5: Radiación solar en el caserío de Santa Rosa-Jaén según la NASA..... | 69 |
| Tabla N° 6: Radiación solar según el software Solarius Plus | 70 |
| Tabla N° 7: Consumo total diario para la Estación Base Celular -Santa Rosa-Jaén ... | 71 |
| Tabla N° 8: catalogo SIMAX..... | 73 |
| Tabla N° 9: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica | 79 |
| Tabla N° 10: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo..... | 79 |
| Tabla N° 11: Características eléctricas de los conductores THW-90 | 80 |
| Tabla N° 12: Selección de fusibles..... | 81 |
| Tabla N° 13: Características mecánicas de los paneles solares..... | 84 |
| Tabla N° 14: Tabla de suministro de materiales | 85 |
| Tabla N° 15: Costo total del sistema fotovoltaico para la antena de la empresa CLARO en el caserío Santa Rosa -Jaén..... | 86 |
| Tabla N° 16: Depreciación de equipos | 87 |
| Tabla N° 17: Flujo de caja proyectados en un horizonte de 20 años (elaboración propia) | 88 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 1. Ubicación del distrito de Sallique donde se encuentra el caserío Santa Rosa | 2 |
| Figura N° 2: Aprovechamiento de la energía solar | 12 |
| Figura N° 3: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el Caribe | 13 |
| Figura N° 4: Horas Pico Solar | 15 |
| Figura N° 5: Gama de energía radiante..... | 17 |
| Figura N° 6: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica..... | 19 |
| Figura N° 7: sistema fotovoltaico aislado | 20 |
| Figura N° 8: Célula Fotovoltaica | 21 |
| Figura N° 9: Partes de un panel fotovoltaico | 22 |
| Figura N° 10:Panel fotovoltaico policristalino..... | 23 |
| Figura N° 11: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos en serie y en paralelo . | 27 |
| Figura N° 12: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos | 28 |
| Figura N° 13:Regulador de carga..... | 29 |
| Figura N° 14: Regulador de carga..... | 31 |
| Figura N° 15: Inversor para sistemas fotovoltaicos | 34 |
| Figura N° 16: Interpretación de la curva de profundidad de descarga de una batería | 39 |
| Figura N° 17: Baterías utilizadas en instalaciones solares..... | 41 |
| Figura N° 18: Soportes para módulos fotovoltaicos | 46 |
| Figura N° 19: Módulos fotovoltaicos sobre el tejado | 47 |
| Figura N° 20: estación Base Celular ubicado en el caserío Santa Rosa- Sallique..... | 48 |
| Figura N° 21: Grupo electrógeno instalado en la estación Base Celular- Caserío Santa Rosa- Sallique..... | 66 |
| Figura N° 22: batería ROLLS 12 CS 11 PS (ANEXO 02) | 75 |
| Figura N° 23: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano | 84 |

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En la estación Base Celular¹ (EBC) de propiedad de la empresa CLARO, ubicada en el caserío Santa Rosa distrito de Sallique perteneciente a la provincia de Jaén, región Cajamarca se ha observado que para el funcionamiento de los equipos utilizan un grupo electrógeno diésel en la generación de energía eléctrica. Este sistema le permitía cubrir la demanda eléctrica de sus equipos, el cual produce gastos excesivos de dinero debido a la cantidad de combustible que consume, al mantenimiento, al transporte del combustible.

Con la finalidad de utilizar las energías renovables se propone utilizar la energía solar para generar energía eléctrica.

1.2. Formulación del Problema

¿Sera viable técnica y económicamente el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaica para la estación Base Celular (ECB) de la empresa Claro ubicado en el caserío Santa Rosa perteneciente al distrito de Sallique en Jaén?

¹ Las estaciones base envían y reciben señales de radio de baja potencia a y de teléfonos móviles, y proporcionan la conexión con la red principal de telefonía

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El siguiente trabajo de investigación se desarrollará en el caserío Santa Rosa perteneciente al distrito de Sallique.

El Distrito de Sallique es uno de los doce distritos de la Provincia de Jaén en el Departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca, en el Perú².

Las coordenadas en términos de latitud y longitud del caserío Santa Rosa³ son las siguientes:

Latitud: -5.7280166667

Longitud: -79,3224766667



Figura N° 1. Ubicación del distrito de Sallique donde se encuentra el caserío Santa Rosa

fuelle: Google maps

² https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Sallique

³ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

1.3.2. Delimitación temporal

Este examen de suficiencia tuvo una duración de 3 meses, en la cual tuvieron participación algunas personas de la empresa Claro y el autor de la presente del examen de suficiencia.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

Justificación ambiental

El sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la estación Base Celular se justifica debido a que el beneficio medio ambiental principal es pues que la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar no contribuye a aumentar el efecto invernadero y está libre de emisiones de gases.

Justificación económica

El sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la estación Base Celular se justifica económicamente porque al ser viable el suministro de energía eléctrica por medio de un sistema fotovoltaico frente al grupo electrógeno que se viene utilizando entonces se reducirán los costos de operación de la antena.

Justificación Científica

Fomentar el uso de estas energías no convencionales como nuevas fuentes de estudio científico.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Ausencia de transporte para llegar al lugar del proyecto, camino de herradura hasta llegar a la ubicación de la antena.

Con respecto a los datos de radiación solar el estudio se ha limitado a los datos obtenidos de la NASA, el atlas solar del SENAMHI del 2003 y el Software SOLARIUS PLUS.

Escasa bibliografía para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Realizar el estudio de viabilidad del sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la Estación Base Celular (EBC) de propiedad de la empresa CLARO ubicada en el caserío Santa Rosa, distrito de Sallique en Jaén.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar el consumo de energía promedio diario de los equipos en la estación Base Celular (EBC)
- b) Obtener los datos de radiación existentes en la zona del proyecto.
- c) Dimensionar el sistema fotovoltaico para la Estación Base Celular.
- d) Determinar el monto total de la inversión para el suministro de la energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico para la estación Base Celular (EBC)
- e) . Realizar la evaluación económica que indique la viabilidad del sistema solar fotovoltaico.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Según **Fabio de Jesús Acevedo Garcés** en su tesis titulado: “Diseño de una instalación solar fotovoltaica de 3kW”. Se describe brevemente el desarrollo teórico de la tecnología fotovoltaica, desde el descubrimiento del fenómeno fotoeléctrico en el año de 1839, hasta la actualidad. Se explica la composición y el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, y de cada una de sus partes o elementos. Se detalla la construcción, operación y comportamiento de los módulos solares fotovoltaicos de silicio, se incluyen curvas de las variables que los caracterizan. De igual forma, se definen las baterías de plomo ácido, los reguladores – controladores de carga y los inversores CC/CA para aplicaciones solares de tipo aislado. Se definen las características técnicas de la instalación solar fotovoltaica objeto de este trabajo, su lugar de instalación y su aplicación específica. Se determinan las variables a tener en cuenta en el diseño: cargas a alimentar, demanda máxima, consumo de energía eléctrica diario y mensual y radiación solar. Posteriormente, se presentan los cálculos necesarios para dimensionar el sistema solar fotovoltaico; se calcula la radiación solar sobre los paneles a instalar, se calculan y dimensionan todos los equipos de la instalación: paneles, regulador, banco de baterías, inversor y calibres de cables y de

tuberías. Finalmente, se elaboran los esquemas que completan el diseño de la instalación solar fotovoltaica⁴.

Macías Alvarado Rodrigo Andrés en su tesis “Estudio Teórico y Experimental sobre el Dimensionamiento de Paneles Fotovoltaicos para la Creación de Micro – Centrales de Energía Solar en Viviendas de Sectores Rurales de Valdivia”, nos dice que: En concreto, la energía solar fotovoltaica, como fuente renovable, presenta una fórmula energética mucho más respetuosa con el medio ambiente que cualquier energía convencional, debido a que se dispone de recursos inagotables a escala humana para cubrir las necesidades energéticas.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que se ha creado un campo eléctrico constante. Estas células conectadas en serie o paralelo forman un panel solar encargado de suministrar la tensión y la corriente eléctrica.

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental para el desarrollo humano, sin embargo, en las zonas rurales muy pocos habitantes tienen este servicio. El acceso a través del tendido de la red nacional se hace cada vez más costoso y difícil por ser poblaciones ubicadas en zonas aisladas y el costo adicional que significa extender el tendido para atender a comunidades con pocos habitantes. Por otro lado, los grupos

⁴ Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.

generadores diésel son un constante gasto para estas poblaciones, que son muchas veces pobres⁵.

Contexto Nacional

Según **Valdiviezo Salas** en su trabajo de tesis de "Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles de la PCPU". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución.

El principal objetivo de la tesis es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP.

Se definen los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica aislada, utilizando bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. Los datos de radiación solar fueron obtenidos de la Estación climatológica Hipólito Unanue en la PUCP y se estima la demanda del consumo energético, el cual tiene un valor de 158.4 Ah/día. Luego, se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear. Se obtiene el siguiente arreglo, al iterar varias veces:

- a) 12 baterías 250 Ah / 12V (3 ramales de 2 paralelo y 2 en serie).
- b) 24 paneles de 150 Wp. (3 ramales de 4 paralelo y 2 en serie)
- c) 3 controladores de 50A y 24V.

⁵ Macías Alvarado, Rodrigo Andrés. *Estudio teórico y experimental sobre el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos para la creación de una micro-centrales de energía solar en viviendas de sectores rurales de Valdivia*. Valdivia, Chile, 2011.

d) 1 inversor 24V/230V – 1 200w

Asimismo, se estima la distancia y características de los cables de acuerdo a la ubicación y cargas, y se dimensionan elementos de protección (Valdiviezo Salas, 2014).

Según **Muñoz Delfor** en su trabajo de tesis de "Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización, análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural (Muñoz Anticon, 2005).

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energías no convencionales

Son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero – causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014, toda vez que se han constituido en la segunda fuente global de electricidad, sólo superada por el carbón.

De acuerdo a la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70% hasta 2040,-elevando su participación en el uso de energía final del 18% al 24% en el mismo periodo- espoleada principalmente por regiones emergentes (India, China, África, Oriente Medio y el sureste asiático).

El desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores. El 2014 fue el año más cálido desde que existen registros. La Tierra ha sufrido un calentamiento de 0,85°C de media desde finales del siglo XIX, apunta National Geographic en su número especial del Cambio Climático de noviembre de 2015.

En paralelo, unos 1.100 millones de habitantes, el 17% de la población mundial, no disponen de acceso a la electricidad. Igualmente, 2.700 millones de personas el 38% de la población global- utilizan biomasa tradicional para cocinar, calentarse o iluminar sus viviendas con grave riesgo para su salud. (<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>)

Por eso, uno de los objetivos establecidos por Naciones Unidas es lograr el acceso universal a la electricidad en 2030, una ambiciosa meta si se considera que, según las estimaciones de la AIE, todavía habrá en esa fecha 800 millones de personas sin acceso al suministro eléctrico, de seguir la tendencia actual.

Las energías renovables han recibido un importante respaldo de la comunidad internacional con el 'Acuerdo de París' suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa.

El acuerdo, que entrará en vigor en 2020, establece por primera vez en la historia un objetivo global vinculante, por el que los casi 200 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de forma que la temperatura media del planeta a final del presente siglo quede "muy por debajo" de los dos grados, el límite por encima del cual el cambio climático tiene efectos más catastróficos e incluso a intentar dejarlo en 1,5 grados.

La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá asimismo efectos económicos muy positivos. Según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), duplicar la cuota de energías renovables en el mix energético mundial hasta alcanzar el 36% en 2030 supondría un crecimiento adicional a nivel global del 1,1% ese año (equivalente a 1,3 billones de dólares), un incremento del bienestar del 3,7% y el aumento del empleo en el sector hasta más de 24 millones de personas, frente a los 9,2 millones actuales. (<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>)

2.2.2. Energía solar⁶

La energía solar es una de las fuentes de la vida y el origen de la mayoría de las demás formas de energía conocidas. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad que consume toda la humanidad. De ahí que la radiación solar, recogida de forma adecuada con paneles solares, puede transformarse en otras formas de energía.

Mediante el empleo de colectores solares la energía solar puede transformarse en energía térmica. A su vez, con el empleo de paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos demandan tecnologías diferentes que no tienen nada que ver una con la otra. De mismo modo, en las centrales térmicas solares, la energía térmica captada por los colectores solares puede utilizarse para generar electricidad.

Se distinguen dos formas de radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar ocasionados por las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que concentración de la luz difusa no es posible por provenir de múltiples direcciones. Sin embargo, ambas radiaciones son aprovechables.

⁶ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>



Figura N° 2: Aprovechamiento de la energía solar

Fuente:

<http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

En cuanto a los receptores se pueden diferenciar los receptores activos y receptores pasivos. Los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol -llamados seguidores- y captar mejor la radiación directa. Los pasivos, en tanto, no son capaces de realizar este seguimiento.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, tienen lugar los sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas que se registran en el transporte de energía, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total, y la dependencia energética.

2.2.2.1. Energía solar en el Perú

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la siguiente Figura N° 3



Figura N° 3: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el Caribe
fuente: (Valdiviezo Salas, 2014)

2.2.2.2. Horas sol pico (H.S.P.)⁷

Los Paneles Solares Fotovoltaicos no tienen la capacidad de producir su máxima potencia en todo momento. Hay muchos factores que pueden alterarla; la mayoría son climatológicos, de inclinación, de orientación, limpieza y dependerá las horas de Radiación Solar que reciban en el lugar en donde estén instalados.

La Radiación Solar es el resultado de un conjunto de Radiaciones Electromagnéticas que son emitidas por el Sol. En los sistemas de recepción por medio de Paneles Solares Fotovoltaicos no se ocupa todo el espectro.

La magnitud que mide la Radiación Solar que llega a la tierra es la Irradiancia, que mide la Energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m^2 .

La Hora Solar Pico (HSP), se puede definir como una unidad encargada de medir la Irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética Irradiancia solar constante de $1.000 W/m^2$.

En las fichas técnicas de los paneles, deben aparecer las características eléctricas del panel bajo condiciones de medida estandarizadas conocidas como STC (Standard Test Conditions) o condiciones de prueba estándar.

Precisamente en estas condiciones, aparte de otros parámetros, se indica que la irradiancia es de $1.000 W/m^2$, o lo que es lo mismo una hora solar pico. Con base en esto se puede intuir que la cantidad

⁷ <http://solaresenergia.com/blog/44/que-es-la-hora-solar-pico>

recibida no es igual en el tiempo, o dicho en lenguaje más llano, durante el día ni el año.

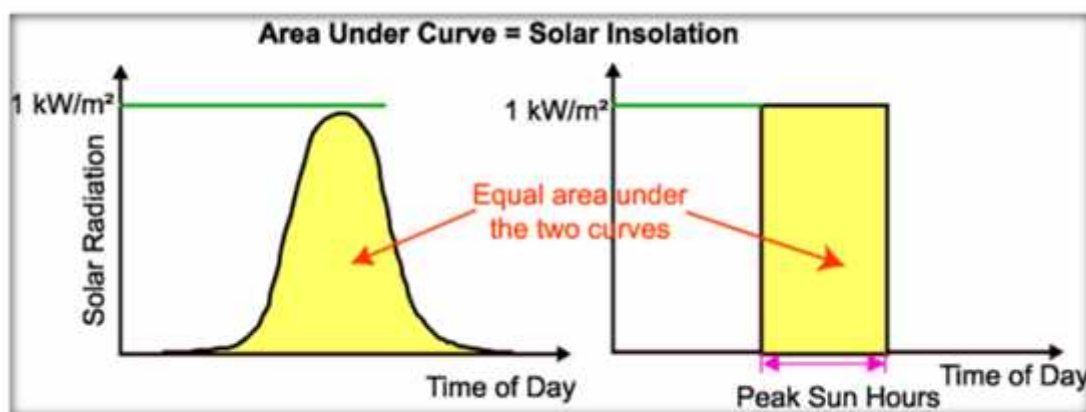


Figura N° 4: Horas Pico Solar

Fuente: <http://pveducation.org/es/fotovoltaica/promedio-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>

2.2.3. Efecto fotoeléctrico

La electricidad es un flujo de electrones, cargas negativas que rodean el núcleo atómico. Se comprobó que en algunos cristales se producía un flujo eléctrico por la incidencia de la luz. En 1905 Albert Einstein descubrió que, en algunos casos, los fotones golpeaban a los electrones de un material al incidir sobre él, hasta llegar a liberarlos de sus átomos, permitiéndoles circular libres en forma de corriente eléctrica. La radiación electromagnética está compuesta por paquetes de energía o fotones. Cada fotón transporta una energía $E = h \cdot \nu$, donde h es la constante de Planck y ν la frecuencia del fotón en hertz.

Cuando un fotón incide sobre el metal, transfiere toda su energía a alguno de los electrones. Si esta energía es suficiente para romper el enlace del electrón con el metal, entonces el electrón se desprende y

se recombina (diferencia de potencial). Si el fotón transporta más energía de la necesaria, este exceso se transforma en energía cinética del electrón, saliendo del cristal al circuito exterior mediante conductores, la diferencia de potencial hará que fluya por el conductor exterior, esto dará lugar a la intensidad de corriente, que circulará en un solo sentido, es decir en corriente continua (cc). Es decir, que, si la energía del fotón es suficientemente grande, los electrones saldrán del cristal creando un flujo de electrones en el conductor del circuito, si la energía del fotón es pequeña, se desprenderán los electrones dentro del cristal, pero no saldrán de él, de esta manera tendremos una tensión en vacío o circuito abierto y ninguna o poca intensidad. Si los fotones tienen muy pocas energías son repelidas sin efecto alguno. No toda la energía de la luz se puede aprovechar para el efecto fotoeléctrico. Para el aprovechamiento total solo es importante la llamada radiación térmica, en la que se incluye la ultravioleta (UV), visible (VIS) y la infrarroja (IR). (Figura N° 5) La temperatura en un cuerpo afecta a la hora de la radiación emitida por éste. (Gimenes, 2010)

Cuanto mayor es la temperatura mayor son los cambios:

- i. La intensidad de la emisión es mayor, la energía por metro cuadrado que abandona el cuerpo es más elevada, es decir mayor frecuencia.
- ii. El tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda. De esta forma tenemos que la energía radiante (fotones) se caracteriza

por su longitud de onda, que es inversamente proporcional a la frecuencia, según la siguiente expresión:

$$\lambda = c / f$$

λ = longitud de onda de la luz. La unidad es el ángstrom (Å)

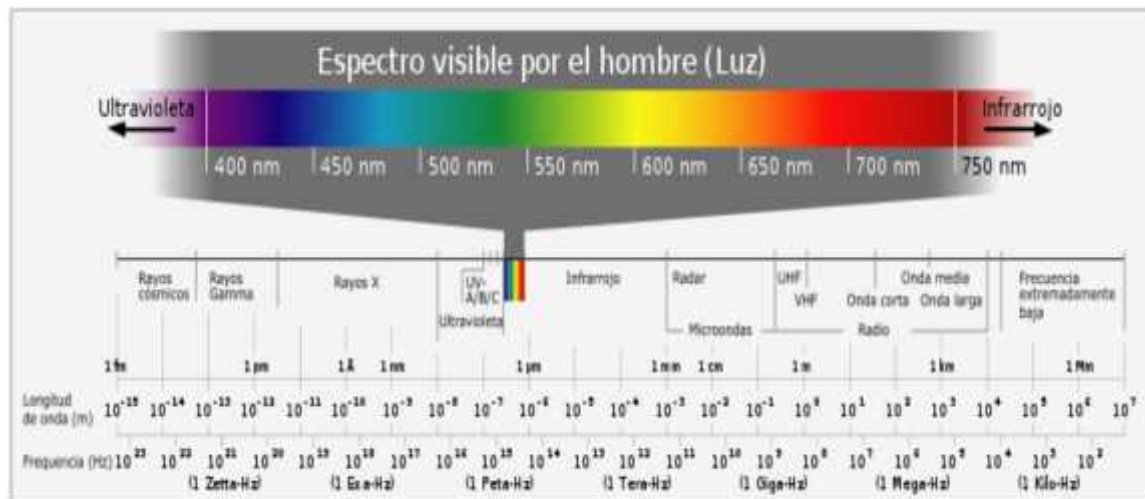


Figura N° 5: Gama de energía radiante

Fuente: (Gimenes, 2010)

2.2.4. Sistemas fotovoltaicos

Una vez que se ha generado la energía eléctrica existen dos alternativas, bien la almacenamos para un uso posterior o bien la transmitimos a través de la red eléctrica. En función de esto tenemos dos tipos de sistemas:

2.2.4.1. Instalaciones conectadas a la red eléctrica

La corriente eléctrica generada por una instalación fotovoltaica puede ser vertida a la red eléctrica como si fuera una central de producción de energía eléctrica. El consumo de electricidad es

independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos, el usuario sigue comprando la energía eléctrica que consume a la compañía distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora. Este tipo de aplicaciones está creciendo gracias al precio primado de venta a la red del kWh. (solar 2016)

Las potencias más usuales son de 2,5 y 5 kW o múltiplos de 5 hasta 100 kW. Existen instalaciones mayores, pero tienen una prima inferior por lo que sólo las realizan empresas o centros de investigación, ya que se amortizan en periodos más largos (solar 2016).

Algunas de las aplicaciones de estos sistemas son las siguientes:

Instalaciones en tejados, terrazas, etc. de viviendas que dispongan de conexión a la red de distribución eléctrica: Se aprovecha la superficie del tejado para colocar sistemas modulares de fácil instalación.

Plantas de producción: Son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos ("huertas solares", "cooperativas energéticas") o sobrepuestas en grandes cubiertas de zonas urbanas (aparcamientos, zonas comerciales, etc.)

Integración en edificios: Consiste en la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por

tanto son generadores de energía (recubrimientos de fachadas, muros cortina, parasoles, pérgolas, etc.).



Figura N° 6: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica⁸

Fuente: <http://www.econotecnica.com/sistema-solar-conectado-a-la-red.html>

2.2.4.2. Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Estas instalaciones se emplean sobre todo en aquellos emplazamientos en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema foto-voltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. La electricidad generada se destina a autoconsumo.

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son:

Electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia (ver Figura N° 7)

Alumbrado público

⁸ <http://www.energiasolar.lat/rentabilidad-fotovoltaica/>

Aplicaciones agropecuarias y ganaderas

Bombeo y tratamiento de agua

Antenas de telefonía aisladas de la red

Señalización y comunicaciones

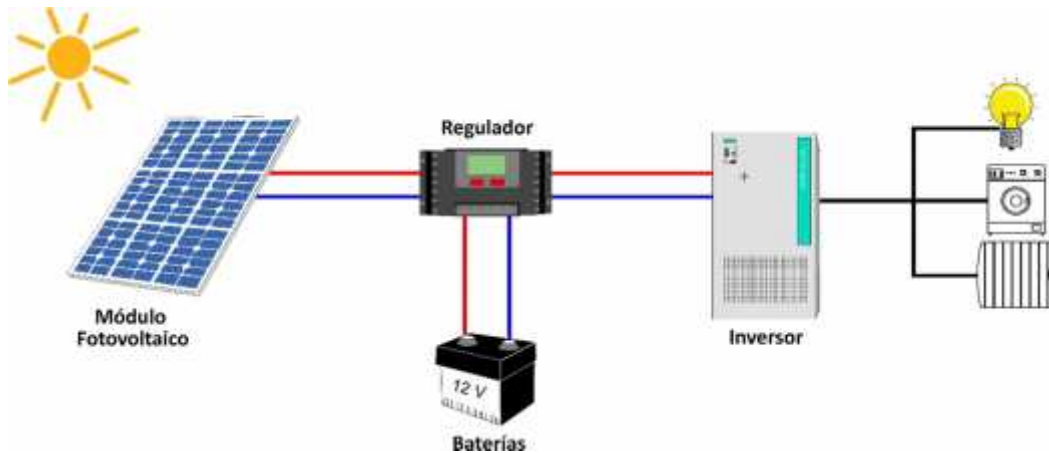


Figura N° 7: sistema fotovoltaico aislado

Fuente: http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php

2.2.4.3. Célula fotoeléctrica⁹

Una **célula fotoeléctrica**, también llamada **celda**, **fotocélula** o **célula fotovoltaica**, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) está

⁹ https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica

alrededor del 16 %, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 22 % de las células de silicio monocristalino. También existen las células multicapa, normalmente de arseniuro de galio, que alcanzan eficiencias del 30 %. En laboratorio se ha superado el 46 % con células experimentales.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable.

Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12 V o 24 V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo (ver Figura N° 8).

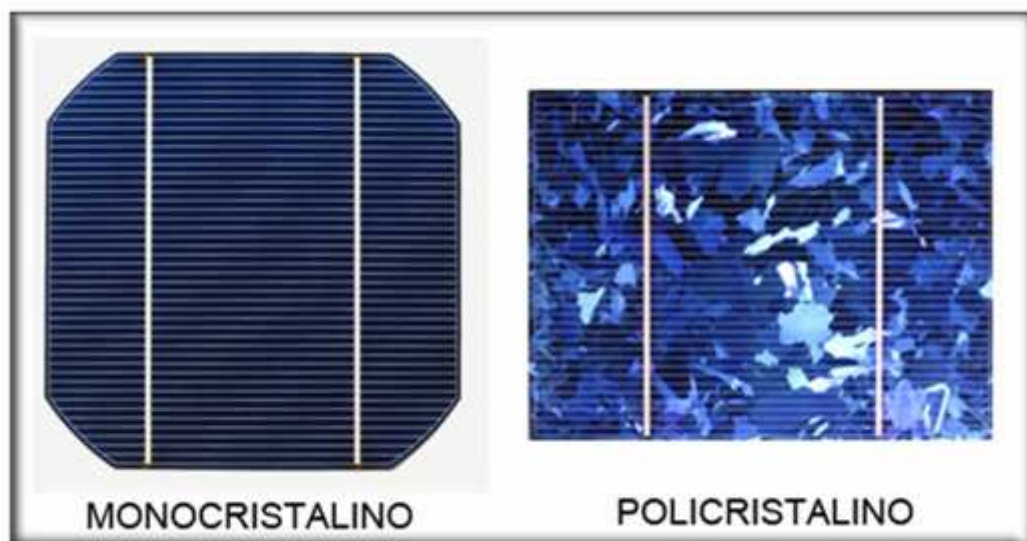


Figura N° 8: Célula Fotovoltaica

Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipo-celulas-fotovoltaicas>

2.2.4.4. Panel fotovoltaico

Una célula fotovoltaica por si sola solo es capaz de darnos un mínimo de tensión (0,5 V) e intensidad (2 A) por lo que es necesario juntar muchas células para tener valores suficientemente altos para trabajar. También son muy frágiles, no aisladas eléctricamente y sin un soporte mecánico. (ver Figura N° 9) El módulo fotovoltaico tiene como misión captar la energía solar incidente y transformarla en energía eléctrica. Para eso tiene que tener una cantidad de células conectadas entre sí en serie y paralelo, de esta forma aumentará la tensión e intensidad y se podrá conectar a elementos de consumo para su uso posterior. La composición del panel fotovoltaico es la siguiente:

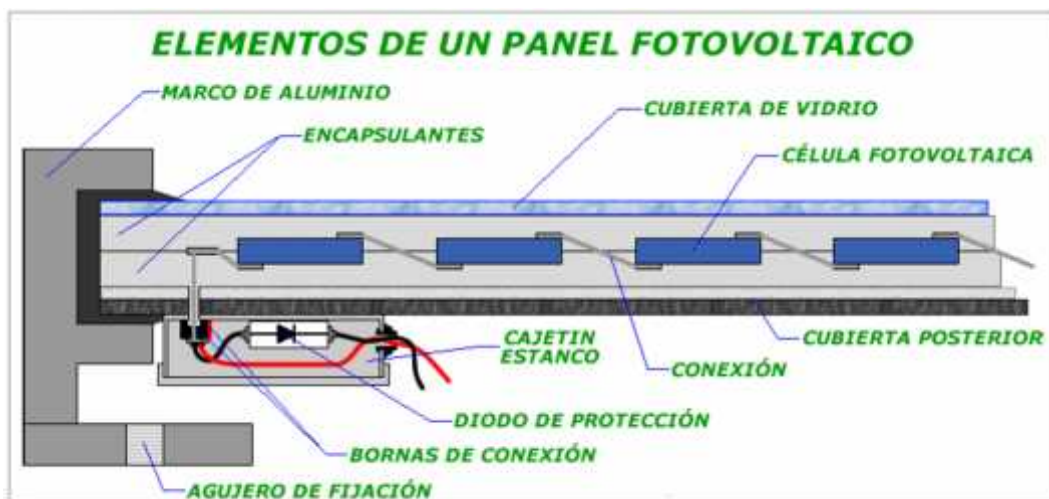


Figura N° 9: Partes de un panel fotovoltaico

Fuente: (Gimenes, 2010)

Las células están ensambladas entre dos capas de sostén. Las células se quedan entre dos capas en la llamada estructura “sándwich”, consiste en dos capas plásticas de protección, una traslúcida en la parte superior y

protegida contra los UV. Otra inferior para aumentar la rigidez del “sándwich” (encapsulantes, EVA). Por encima de la capa superior se coloca un cristal de vidrio templado, con bajo contenido en plomo para no reducir la transmisividad de la luz a través del mismo, y en la capa inferior la cubierta posterior de material plástico (Tedlar). Estando preparado de esta forma se mete en un horno de alta temperatura al vacío. Cuando se saca del horno queda un único bloque laminado en el que las células están unidas al material plástico fundido. A continuación, se añade el marco de aluminio anodizado o acero inoxidable para envolver el conjunto del módulo. Esta estructura es estanca con goma butílica entre el marco y el módulo. El marco debe tener de fábrica agujeros de fijación para así evitar utilizar máquinas de perforar que puedan dañar el panel fotovoltaico. Una perforación es para la toma de tierra. (Gimenes, 2010)

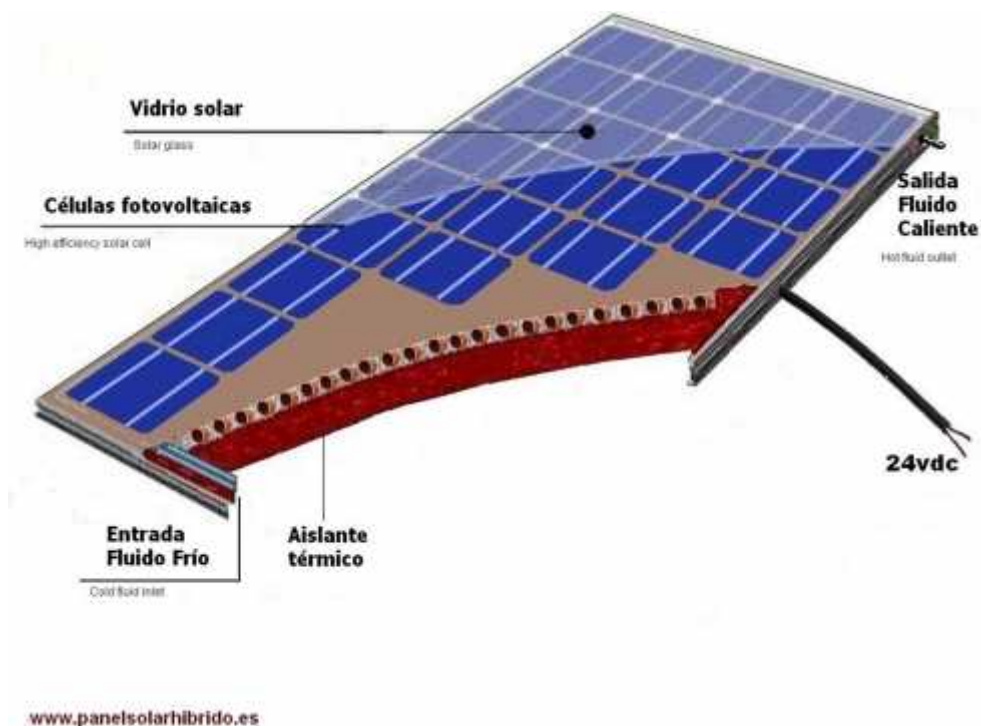


Figura N° 10: Panel fotovoltaico policristalino

Fuente: <http://panelsolarhibrido.es/>

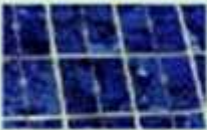
2.2.4.5. Tipos de paneles solares

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- a) Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- b) Silicio amorfo.

En la Tabla N° 1, podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

Tabla N° 1: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación

| Células | Silicio | Rendimiento laboratorio | Rendimiento directo | Características | Fabricación |
|---|----------------|-------------------------|---------------------|---|--|
|  | Monocrystalino | 24 % | 15 - 18 % | Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski). | Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. |
| | Policristalino | 19 - 20 % | 12 - 14 % | La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules. | Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización. |
|  | Amorfo | 16 % | < 10 % | Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células. | Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico. |

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

2.2.4.6. Conexión de módulos fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen. (Castejon, 1998).

A. Conexión de módulos Serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 11).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).

B. Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 11

La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo al producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características).

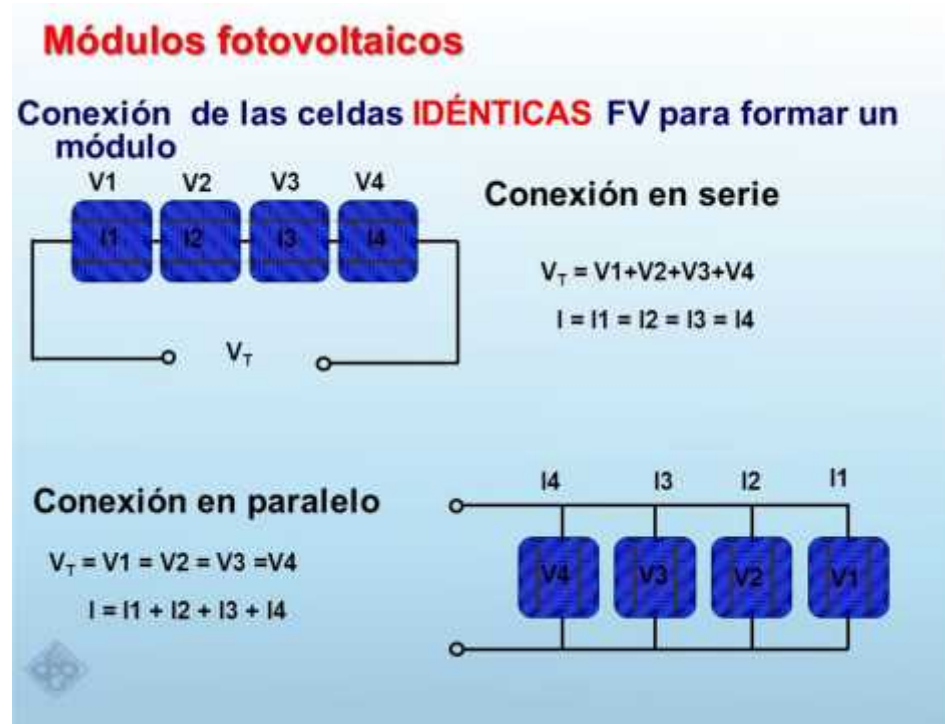


Figura N° 11: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos en serie y en paralelo

fuente: <http://slideplayer.es/slide/1078130/>

C. Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo multiplicado por el número de módulos en serie y la intensidad de corriente es la intensidad de corriente del módulo multiplicado por el número de módulos en paralelo (ver Figura N° 12). (Castejon, 1998).

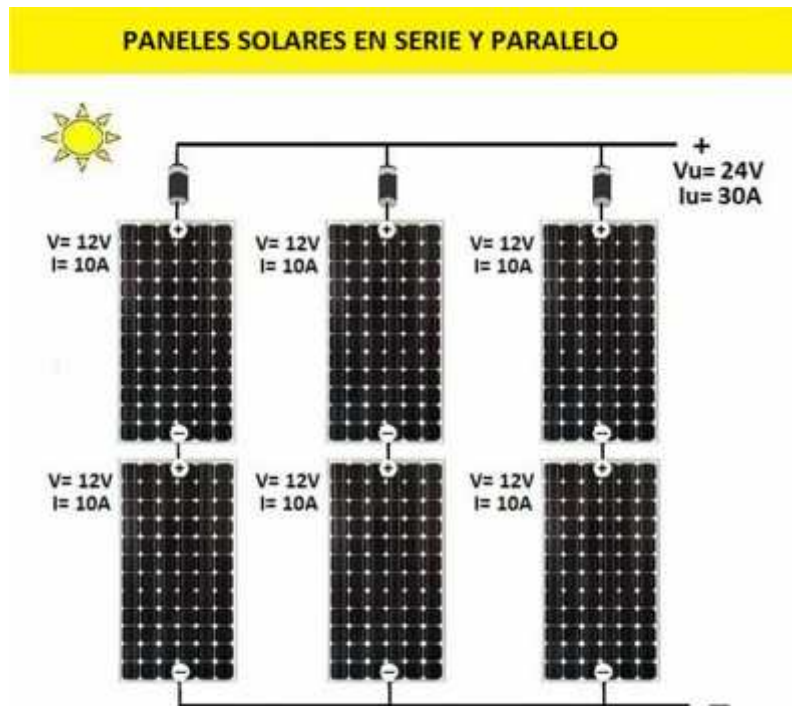


Figura N° 12: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos

fuelle: <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

2.2.5. Controlador¹⁰

Un regulador de carga, cuyo emplazamiento se indica con la letra B en la Figura N° 13 adjunta, es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías.

¹⁰ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>



Figura N° 13:Regulador de carga¹¹

Por lo tanto, estos dispositivos funcionan como un cargador de baterías, evitando además que se produzcan sobrecargas y a la vez limitan la tensión de las baterías a unos valores adecuados para su funcionamiento.

De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la forma de realizar la carga de las baterías cuando los paneles solares están recibiendo radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas.

Y a la inversa, esto es, durante el proceso de descarga de las baterías destinado al consumo de electricidad en la vivienda, el regulador evita igualmente que se produzcan descargas excesivas que puedan dañar la vida de las baterías.

¹¹ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor colocado en serie entre paneles y baterías, que está cerrado y conectado para el proceso de carga de las baterías, y abierto cuando las baterías están totalmente cargadas.

Asimismo, en la actualidad la mayoría de los reguladores de carga disponen de una función que permite maximizar la energía capturada por el generador fotovoltaico mediante el uso de una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador (MPP, Maximum Power Point), también llamado MPP-tracking ó MPPT (del inglés, track: seguir, rastrear).

El regulador de carga (figura 14) se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños unos valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la configuración del sistema de generadores fotovoltaicos instalados. De esta manera, éste debe estar dimensionado para soportar la intensidad máxima de corriente generada en el sistema, tanto en la línea de entrada al regulador procedente de los generadores fotovoltaicos, como en la línea de salida hacia las cargas que alimenta.



Figura N° 14: Regulador de carga¹²

En este sentido, la corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito (I_{SC}) del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura.

Por otro lado, la corriente máxima prevista por la línea de salida viene dada por el consumo de las cargas del sistema (aparatos eléctricos, electrodomésticos, etc.) también incrementada en un 25% (I_{salida}). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos anteriores corrientes eléctricas, como se verá más adelante en este tutorial.

Como ya se ha visto, el regulador actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde las baterías de acumulación hacia la instalación interior de la vivienda cuando el voltaje de las baterías quede por debajo del

¹² <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

umbral de funcionamiento, con objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

Igualmente, durante los periodos de insolación donde los paneles solares están generando electricidad y el voltaje de las baterías llegue a un valor límite máximo, el regulador interrumpirá la conexión entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, o bien actuará reduciendo gradualmente la corriente media entregada por los paneles.

Por lo tanto, a la hora de seleccionar el regulador más idóneo, se deberá tener en cuenta que la tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador deberá elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando la batería haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida, según indique las especificaciones del fabricante de la batería.

Todo regulador de corriente instalado deberá estar convenientemente protegido frente a cortocircuitos que se produzcan en la línea de consumo de la vivienda, además de contra la posibilidad de poder producirse una desconexión accidental de la batería mientras los paneles están generando energía.

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2% de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo los terminales. Asimismo, las caídas internas de tensión del regulador entre

sus terminales de batería y consumo serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2 % de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo igualmente los terminales.

En todo caso, las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deberán ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Por último, indicar que todo regulador que se emplee en la instalación deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información:

Tensión nominal (V)

Corriente máxima (A)

Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie

Polaridad de terminales y conexiones

2.2.6. Inversor

El convertidor de corriente DC/AC, también llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo en la vivienda. Además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga,

garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda.



Figura N° 15: Inversor para sistemas fotovoltaicos

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. Este último se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada).

En general, los inversores en las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir las siguientes exigencias:

- Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible que minimice las pérdidas. El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90% y el 97%. El valor del rendimiento depende mucho

de la potencia de entrada, que deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente.

Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas, como más adelante se verá.

Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor.

Poder admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150 % de su potencia máxima o nominal, con objeto de hacer frente a los picos de arranque que originan muchos electrodomésticos, como frigoríficos, lavadoras, etc., que van a demandar mayor potencia que la nominal en el momento de su puesta en marcha o arranque de sus motores.

Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.

Disponer de aislamiento galvánico.

Disponer de sistema de medida y monitorización.

Incorporar controles manuales que permitan el encendido y apagado general del inversor, y su conexión y desconexión a la interfaz AC de la instalación.

Volviendo a las protecciones que deben incorporar en sus funciones los inversores de corriente, éstas deberán ser las siguientes:

Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que permitirá detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.

Protección contra calentamiento excesivo, que permitirá desconectar el inversor si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, y mantenerse desconectado hasta que el equipo no alcance una temperatura inferior preestablecida.

Protección de funcionamiento modo isla, que desconectará el inversor en caso que los valores de tensión y frecuencia de red queden fuera de unos valores umbrales que permitan un funcionamiento correcto.

Protección de aislamiento, que detecta posibles fallos de aislamiento en el inversor.

Protección contra inversión de polaridad, que permite proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

Por último, la envolvente o carcasa que protege el dispositivo inversor ofrecerá un grado de aislamiento de tipo básico clase 1 y un grado de protección mínima IP20 para aquellos inversores instalados en el interior de edificios y sean lugares inaccesibles, de IP30 para inversores situados en el interior de edificios y lugares accesibles, y con grado de protección mínima de IP 65 para inversores instalados a la intemperie.

2.2.7. Batería de acumuladores

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:

| | | |
|-------------------|------------------|-------------------|
| Energía eléctrica | Energía química | Energía eléctrica |
| (generación) | (almacenamiento) | (consumo) |

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un controlador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

a) misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- i. Almacenar energía durante un determinado número de días.
- ii. Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- iii. Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando: $C = t I$.

Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

Eficiencia de carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

Autodescarga: proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

Profundidad de descarga: cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se les somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %). Ver Figura N° 16

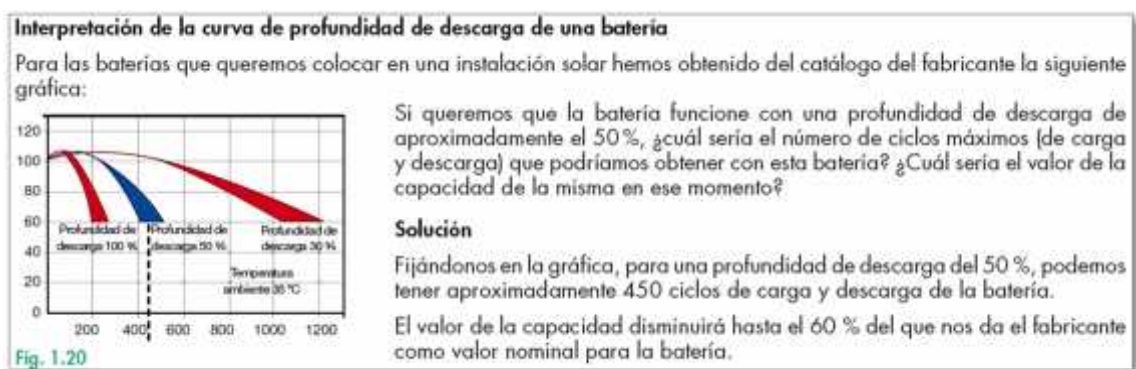


Figura N° 16: Interpretación de la curva de profundidad de descarga de una batería

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf

2.2.7.1. Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla N° 2, podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas

Tabla N° 2: Características de los principales tipos de baterías

| Tipo de batería | Tensión por vaso (V) | Tiempo de recarga | Autodescarga por mes | N.º de ciclos | Capacidad (por tamaño) | Precio |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------|------------------------|--------|
| Plomo-ácido | 2 | 8-16 horas | < 5 % | Medio | 30-50 Wh/kg | Bajo |
| Ni-Cd (níquel-cadmio) | 1,2 | 1 hora | 20 % | Elevado | 50-80 Wh/kg | Medio |
| Ni-Mh (níquel-metal hydride) | 1,2 | 2-4 horas | 20 % | Medio | 60-120 Wh/kg | Medio |
| Li ion (ión litio) | 3,6 | 2-4 horas | 6 % | Medio - bajo | 110-160 Wh/kg | Alto |

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf

| TIPO | VENTAJAS | INCONVENIENTES | ASPECTO |
|----------------------------------|---|---|--|
| Tubular estacionaria | <ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. | <ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. |  |
| Arranque (SLI, automóvil) | <ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. |  |
| Solar | <ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclos medios. | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclos profundos y prolongados. |  |
| Gel | <ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I. |  |

Figura N° 17: Baterías utilizadas en instalaciones solares

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf

las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

La Figura N° 18, nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.

En aquellas instalaciones en las que vamos a tener descargas profundas, elegiremos baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que necesitemos una capacidad elevada. Es el caso que se da en las instalaciones autónomas de viviendas.

Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, deberemos elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos. Un ejemplo puede ser una instalación solar que alimenta un pequeño repetidor en lo alto de un monte. (Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf)

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicado. Si prevemos la posibilidad de que existan temperaturas por debajo de 0 °C en el lugar de la instalación, deberemos elegir un acumulador de capacidad mayor

que la calculada en el dimensionado de la instalación, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

La construcción del acumulador se realiza conectando vasos individuales hasta obtener las condiciones de tensión y capacidad requeridas en la instalación que estamos realizando, en el caso de la utilización de baterías tubulares estacionarias. En las baterías monoblock, deberemos elegir aquella que sea acorde con la tensión de trabajo de la instalación y la potencia que se va a consumir en la misma. (Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf)

Las baterías utilizadas en el arranque de automóviles son de ciclo poco profundo y al 15 % tienen su vida de 500-1 000 ciclos. Las baterías en instalaciones solares fotovoltaicas son de ciclo profundo que aguantan grandes descargas del orden del 80 % y proporcionan del orden de 1500 ciclos. Si la profundidad de descarga solo llega al 25 % pueden dar hasta unos 4 000 ciclos. (Agustin Castejon).

b) Número de días de autonomía

Depende de lugar y tipo de instalación. En lugares con largos periodos de baja insolación, con predominio de días nublados hay que fijar más días de autonomía que en lugares donde predominan los días soleados. Por otro lado, si la instalación es una aplicación profesional (sistemas de telecomunicaciones, balizas, señales de seguridad, etc.) hay que garantizar más días de autonomía que si es una aplicación doméstica (suministro eléctrico de viviendas). De manera general aquellos sistemas que requieren mayor fiabilidad

tendrán que estar proyectados para más días de autonomía (Castejon, 1998)

Para aplicaciones en aplicaciones domesticas el número de días de autonomía puede variar de 2-6

Para aplicaciones en aplicaciones domesticas el número de días de autonomía puede variar de 5-12

2.2.8. Cables

Los cables para la instalación deben contar con el aislamiento adecuado, la selección de los mismos depende de la aplicación y del tipo de canales utilizados. Para realizar los cálculos se seguirán las indicaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y del Código Nacional de Electricidad (CNE).

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3 % entre el generador fotovoltaico y el controlador de carga, inferiores al 1 % entre la batería y el controlador de carga, e inferiores al 5 % entre el controlador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.

Los cables expuestos a la intemperie deberán cumplir la norma internacional IEC 60811:

“Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos” (Valdiviezo Salas, 2014).

2.2.9. Elementos de protección

Además de los sistemas de protección inherentes a la unidad de control, se puede contar con sistemas de protección externos, los cuales pueden ser desconectadores térmicos (fusibles o relés), protección contra altas tensiones tanto para corriente alterna como para corriente continua y diodos.

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible (I_{nom}). (Valdiviezo Salas, 2014).

2.2.10. Estructuras de soporte fijo¹³

En el mercado existe una gran variedad de estas estructuras. Deben tener un anclaje que la haga resistente a la acción de los agentes atmosféricos de la zona, como mínimo, resistirá una velocidad del viento de 150 Km/h. Estas estructuras deben tener al campo fotovoltaico con la orientación y la inclinación adecuadas para el máximo aprovechamiento de la instalación. Deben evitar las sombras en los módulos, dadas por elementos artificiales o naturales, existentes en las proximidades. Los materiales que se deben utilizar para las estructuras son: aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado con tornillería de acero inoxidable.

Las posibilidades de instalación de los paneles pueden ser sobre:

Estructura sobre el Suelo:

están diseñadas para poder anclar los paneles solares al suelo, bien sea de una cubierta plana encima de una edificación o bien sobre el

suelo, disponemos de varios ángulos de inclinación para poder adaptar todas las estructuras a las necesidades que surjan en cada caso. Las estructuras llevan incluidas toda la tornillería para el anclaje de los paneles solares. (Ver Figura N° 18)



Figura N° 18: Soportes para módulos fotovoltaicos

Fuente: <http://eliseosebastian.com/estructura-pv/>

Tejado: La instalación sobre tejado es más compleja que sobre suelo ya que debemos tener cuidado con la correcta impermeabilización. También debemos fijarnos en qué tipo de estructura tiene, vigas de hierro, madera. Los elementos de sujeción pueden ser los mismos que en el suelo u otros específicos de tejado como los salva-tejas, dependerá del tipo de tejado. (Ver Figura N° 19)

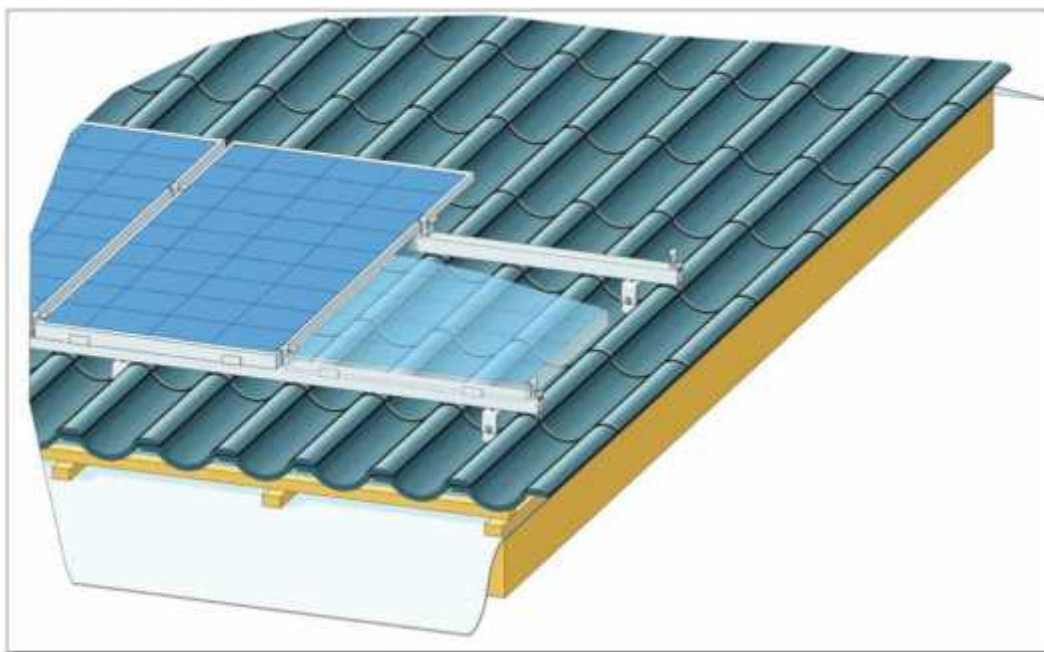


Figura N° 19: Módulos fotovoltaicos sobre el tejado

Fuente: (Gimenes, 2010)

2.2.11. Estación base y una red inalámbrica

Los sistemas inalámbricos utilizan una red de radio estaciones base para dar servicio a los teléfonos móviles y otros dispositivos inalámbricos. Las estaciones base envían y reciben señales de radio de baja potencia a y de teléfonos móviles, y proporcionan la conexión con la red principal de telefonía. Una red móvil en general está configurada en formato de cuadrícula celular.

Las estaciones base deben estar ubicadas cerca de los usuarios de teléfonos móviles para proporcionar buena calidad de recepción.



Figura N° 20: estación Base Celular ubicado en el caserío Santa Rosa-Sallique

Fuente: elaboración propia

2.2.11.1. ¿Qué son las estaciones base?¹⁴

Las estaciones base en general constan de un pequeño gabinete o casilla para el equipamiento y antenas montadas sobre una estructura de soporte.

La estructura de soporte de las antenas puede variar considerablemente. Los ejemplos típicos son:

Edificios

Postes de luz

Torres o mástiles

Las antenas de estaciones base en general se colocan en la estructura más conveniente que se encuentre en la zona, por ejemplo, un edificio, torre o estructura existente. A veces se necesita una torre o un mástil nuevo cuando no hay estructuras existentes. Cada estación base está conectada con la red principal de telefonía ya sea mediante un enlace de microonda utilizando una pequeña antena de disco o a través de un cable de fibra óptica.

2.2.11.2. Funcionamiento de las estaciones de base¹⁵

Cuando el usuario de un teléfono inalámbrico hace una llamada, esta se transmite a la estación de base más cercana, la cual recibe y transmite las señales de radio en su área – actuando, así como

¹⁴ <https://es.scribd.com/document/350694007/Trabajo-de-Antenas-Editado>

¹⁵ <https://es.scribd.com/document/350694007/Trabajo-de-Antenas-Editado>

aparato emisor y receptor. Al área que cubre una estación de base se le llama célula, razón por la cual se llama a los teléfonos inalámbricos teléfonos celulares. Las células más grandes se conocen como macrocélulas, a las más pequeñas, especialmente en las áreas urbanas, se les llaman microcélulas. El número de células varía en las diferentes áreas en dependencia del volumen de uso. Las áreas con un gran volumen de uso de teléfonos móviles tendrán más células. Cuando el usuario del teléfono está en movimiento, la señal de radio puede cambiarse de una célula a otra, para mantener una buena conexión. La llamada se conecta a la red telefónica local y se envía a través de las líneas telefónicas utilizando una antena con base terrestre o mediante señales de radio cuando la llamada es a otro teléfono celular. Cada estación de base cubre un radio limitado. Fuera de ese radio la densidad de la potencia (la fuerza) es muy poca para que el teléfono móvil funcione. Cuando esto sucede, el teléfono cambia automáticamente a una estación de base más cercana.

El nivel de potencia o energía que genera un teléfono celular para mantener una buena conexión depende de la distancia a que se encuentre de la estación de base; si aumenta la distancia se necesita más potencia o energía. Los teléfonos celulares automáticamente reducen al mínimo el nivel de energía que necesitan para mantener la comunicación con la estación de base. Como puede haber interferencias de canales cercanos o de otros obstáculos físicos en la célula, la cantidad de energía que se necesita puede variar aún en una misma llamada telefónica.

2.2.12. Evaluación económica de proyectos de inversión

Los sistemas fotovoltaicos tienen actualmente múltiples aplicaciones (en el sector doméstico, industrial y agropecuarias, pero es necesario un análisis de viabilidad económica y factibilidad técnica para determinar si es la más apropiada para tal fin.

2.2.12.1. Indicadores

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que podemos hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc.¹⁶.

Valor Actual Neto (VAN)¹⁷

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como Valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

¹⁶ Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura.*

¹⁷ <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc.).

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia¹⁸.

$$VA = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (1)$$

F_t : son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n : es el número de periodos de tiempo

k : es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

VAN > 0 : el valor actualizado de los cobro y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

VAN = 0 : el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

¹⁸ <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

VAN < 0 : el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Tasa Interna de Retorno (TIR)¹⁹

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+T)^t} \dots (2)$$

F_t : son los **flujos de dinero** en cada periodo t

¹⁹ <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n : es el número de periodos de tiempo

Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

2.2.13. Marco legal.

A continuación, se enumeran todas las leyes, reglamentos y normas existentes:

1. N.T.E. EM. 080 instalaciones con energía solar (Norma técnica de edificación EM 080 instalaciones con energía solar)

La presente norma de aplicación obligatoria a nivel nacional describe las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos básicos que deben cumplir las viviendas que incluyan sistemas solares fotovoltaicos y fototérmicos (para el calentamiento del agua).

2. Resolución ministerial R.M. N° 037-2006-MEN/DM (Código nacional de electricidad – utilización: sección 350)

3. Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2007: Sistemas fotovoltaicos hasta 2000Wp. Reglamento técnico

4. Ley N°28611 – Ley General del medio ambiente en el Perú

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada²⁰.

AC: Corriente Alterna

Albedo (Albedo): La proporción reflejada de la radiación solar incidente en la superficie de la tierra. El albedo de nieve fresco es (0,9), mientras el asfalto oscuro tiene un albedo de (0,1). Alto albedo aumenta la radiación solar reflejada.

Angulo de inclinación: Ángulo entre la superficie del módulo y el horizonte. Superficie vertical = 90°, superficie horizontal = 0°.

Amorfo: Condición de un sólido cuando los átomos no están agrupados de manera ordenada. Es el estado opuesto a la cristalina.

Ampere (A): Unidad de corriente eléctrica

²⁰ <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/3/greenpeace-solar-glosario-tec.pdf>

Azimut: (Azimuth) Orientación del panel en plano horizontal norte 0°, este = 90°, sur = 180° y oeste = 270°

Balance del sistema: Los elementos y componentes del sistema excluyendo el conjunto de módulos PV: incluye llaves, controles, medidores, equipamiento de seguridad y control de calidad de potencia, componentes de almacenamiento y estructura de apoyo.

Batería: Componente del sistema PV para almacenar energía eléctrica (Ver también Capacidad de batería, ciclo vida). Las baterías más utilizadas son de Plomo-ácido (Pb-acid) y Níquel-cadmio (Ni-Cd).

Cables: Los cables de conexión de los paneles deben contar con doble aislación eléctrica y materiales resistentes a los rayos UV.

Carga: Potencia utilizada por los artefactos, instalaciones y otros elementos conectados a un circuito.

Amperio-hora: Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

Caja de conexión: Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.

Carga: Régimen al que se realiza el trabajo eléctrico, en términos generales dentro del cálculo de la energía eléctrica. Está definida como la potencia activa nominal consumida o absorbida por una red, una maquina o un dispositivo eléctrico.

Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m² de

radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).

Conductor eléctrico: Elemento del circuito cuya finalidad es la de transmitir energía eléctrica desde la fuente hasta la carga.

Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

Curva I-V: Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.

Instalación eléctrica:

Conjunto de elementos y dispositivos, conectados en forma ordenada para cumplir una determinada función eléctrica

Interruptor: Son dispositivos eléctricos, que cierra, abre o cambia conexiones en un circuito eléctrico bajo condiciones de carga nominal.

Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo

a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m^2 , 25°C y 1,5 de masa de aire).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es **aplicada** que según José Lozada²¹ nos dice que: “La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo.”

El diseño de investigación **es Descriptiva**: Porque solo se pretende describir las características de los equipos seleccionados y las variables en estudio tal y como se presentan en la realidad.

3.2. Población y muestra

Se identificó la población el cual fue igual a la muestra. estación Base Celular (EBC) de la empresa CLARO ubicado en el caserío Santa Rosa Distrito de Sallique en Jaén.

3.3. Hipótesis

Es viable un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la estación Base Celular (EBC) de la empresa CLARO ubicado en el Caserío Santa Rosa en el distrito de Sallique-Jaén-Región Cajamarca.

3.4. Operacionalización de las variables

Tabla N° 1: Operacionalización de variables

²¹ <http://www.utl.edu.ec/antiguo/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | INDICADORES |
|---|--|--|--|
| Variable dependiente Estudio de viabilidad | Llevar a cabo una investigación completa, que conduzca al conocimiento de si realmente el proyecto aportará los beneficios que se esperan de él. No es una simple formalidad burocrática, sino que es una herramienta necesaria para la toma de decisiones estratégica ²² . | Estudio Técnico: Dimensionamiento y especificación de equipos | Radiación Solar |
| | | Estudio económico: VAN. Mide el valor que tendrían todos los ingresos y costos en el momento actual. TIR. Encuentra la tasa de descuento para la cual se igualan los ingresos actualizados a los costos también actualizados. | Costo de la implementación del proyecto |
| Variable independiente Suministro de energía eléctrica | Es llevar la energía eléctrica al usuario final | Es la energía eléctrica que se distribuye al usuario final utilizando conductores eléctricos | Calculo de la energía promedio diaria de la E.B.C. |

Fuente:

elaboración

propia

²² <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/causas-de-fracaso-de-un-proyecto/estudio-de-viabilidad-de-un-proyecto-como-y-por-que-llevarlo-cabo>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Método deductivo.

Las técnicas principales empleadas son las siguientes:

a) La Entrevista

La entrevista en investigación cualitativa Para Denzin y Lincoln (2005, p. 643, tomado de Vargas, 2012) la entrevista es “una conversación, es el arte de realizar preguntas y escuchar respuestas”. Como técnica de recogida de datos, está fuertemente influenciada por las características personales del entrevistador

Lo utilizaremos para recopilar información del número del sistema de suministro de energía eléctrica actual, potencia del grupo electrógeno, numero de galones de combustible que se utiliza al día

b) Observación

Este tipo de técnica nos permitirá realizar una inspección visual de la situación actual en lo referente a la cantidad de agua para personas, ganado vacuno, aves de corral, etc. esta información es muy importante para realizar la propuesta de acuerdo al estudio realizado.

c) Análisis de documentos

Para desarrollar esta técnica buscaremos la información en libros actualizados con relación al tema de investigación, también analizar los diferentes trabajos realizados en revistas, manuales, fichas técnicas, publicaciones en distintas páginas confiables de internet.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos permitieron recoger y registrar los datos observables de la investigación son los siguientes.

Tabla N° 3: Técnicas e instrumentos utilizados

| TÉCNICA | INSTRUMENTO |
|------------------------|---------------------------|
| ENTREVISTA | La entrevista fue abierta |
| OBSERVACIÓN | Cuaderno de apuntes |
| ANÁLISIS DE DOCUMENTOS | Lista de chequeo |

Fuente: elaboración propia

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Para el análisis de datos se utilizará la estadística descriptiva, la cual sirve para analizar el comportamiento de una variable en el diseño del sistema de bombeo de agua utilizando energía solar, para suministrar energía eléctrica a los equipos de la antena, donde se aplicará: La media, el promedio, valores máximos y mínimos.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Con el objetivo de suministrar energía eléctrica a la Estación Base Celular (EBC) de propiedad de la empresa CLARO ubicada en el caserío Santa Rosa, distrito de Sallique en Jaén; se propone el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico Cuyo equipamiento se detalla a continuación.

4.1.1. Equipamiento del sistema fotovoltaico

Este sistema estará conformado por los siguientes equipos y/o componentes:

a) Generador Fotovoltaico: Está formado por un módulo de 32 paneles solares de la marca SIMAX, con una potencia pico de 300 Wp, los cuales deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

b) El controlador de carga: Estará conformado por 02 controladores (MPPT 150/100 VICTRON) de capacidad de 100 A y funcionará a una tensión de trabajo de 48 VDC; con la finalidad de protegerlos del medio ambiente irán instalados en el interior de un tablero metálico para su protección.

c) Las baterías: El banco de baterías instalado lo conforman 16 baterías de 12V-503 Ah cada una, estas funcionarán a una tensión de trabajo de 48 VDC (conectando 4 baterías en serie para conseguir la tensión de 48 V). El sistema de baterías se ha dimensionado considerando dos días de autonomía.

d) El convertidor o inversor: 01 inversor utilizado es de tipo onda pura cuya potencia es de 8 000 W, al cual ingresará una tensión de 48 V en CD y obtener a la salida del inverso una tensión de 230 V en AC el cual se utilizará para suministrar energía eléctrica la Estación Base Celular (EBC) de propiedad de la empresa CLARO.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Sistema convencional de energía eléctrica

El sistema de suministro de energía eléctrica actual para los equipos de la estación Base Celular (ECB) de la empresa Claro es por medio de un grupo electrógeno Diesel (ver Figura N° 21) que por definición:

Un **grupo electrógeno**²³ es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas, como hospitales, centro de datos, centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, etc.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia: hospitales, fábricas, etc., lugares en los que la energía eléctrica de red es insuficiente y es necesaria otra fuente de energía alterna para abastecerse. (Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_electr%C3%B3geno).

La potencia del grupo electrógeno es de 15 kW, el cual suministra energía eléctrica a la estación Base Celular (ECB) de la empresa Claro por un

²³ https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_electr%C3%B3geno

periodo de 12 h diarias y las 12 horas restantes del día es suministrado por un banco de baterías.



Figura N° 21: Grupo electrógeno instalado en la estación Base Celular-Caserío Santa Rosa- Sallique

Fuente: elaboración propia

5.1.1. Costo del sistema de generación del sistema convencional

5.1.1.1. Costo por consumo de combustible

De la información recopilada de las visitas técnicas se determinó que al mes se consume 240 galones de combustible, además el precio por galón a la que se obtiene es de S/.12,60 por lo cual el costo anual por concepto de combustible es de:

$$C_{\text{a u a p c i d c c}} = 240 \times 12,60 \times 12$$

$$= S/. 36\,288$$

5.1.1.2. Costo por transporte del combustible

Para el transporte de los 240 galones el costo es de S/. 1 200 por lo que el costo anual es de:

$$C_{a p t} d c c = 1\,200 \times 12 = S/. 14\,400$$

5.1.1.3. Costo por mantenimiento del grupo electrógeno

El costo mensual promedio por concepto de mantenimiento de S /. 400 por lo cual el costo anual será de.

$$C_{a p m} = 400 \times 12 = S/. 4800$$

5.1.1.4. Costo total anual

Tabla N° 4: Costo total anual

| Consumo de combustible (S/.) | Transporte de combustible (S/.) | Mantenimiento del grupo electrógeno | Total (S/.) |
|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 36 288 | 14 400 | 4 800 | 55 488 |

Fuente: elaboración propia

También hay que considerar que el grupo electrógeno solamente opera 12 horas al día y las otras 12 horas un banco de baterías.

De la entrevista realizada obtuvimos la información de que para el suministro de energía eléctrica de las 12 horas que no utiliza grupo electrógeno, utilizan 24 baterías de 2 V y de una capacidad de 1 200 Ah, las cuales tiene una vida útil de 10 años, por lo tanto, el costo para la compra de estas baterías será de:

$$C \quad d \quad b \quad d \quad b \quad = 1\,647 \times 24 = S / .\,39528$$

5.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado

5.2.1. Evaluación de la Radiación Solar disponible

Para obtener el valor de la radiación solar promedio hemos considerado diferentes fuentes los cuales se detallan a continuación.

5.2.2. Radiación solar en la región Cajamarca según el atlas solar

Del atlas de energía solar del Perú radiación solar (SENAMHI, 2003), que se muestra en ANEXO 01, se puede observar que el valor mínimo de radiación solar promedio en el departamento de Cajamarca esta entre 4,5 kWh/m²/día a 5,0 kWh/m²/día.

5.2.3. Radiación solar de Jaén consultando página de la NASA

Consultando la página web de la NASA: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi> Obtenemos los datos de radiación solar que se muestran en la siguiente tabla a partir de los datos de latitud y longitud podemos conocer la información de la radiación solar consultando la página web de la **NASA** obteniendo un valor mínimo 4,89 kWh/m²/día. (ver Tabla N° 5)

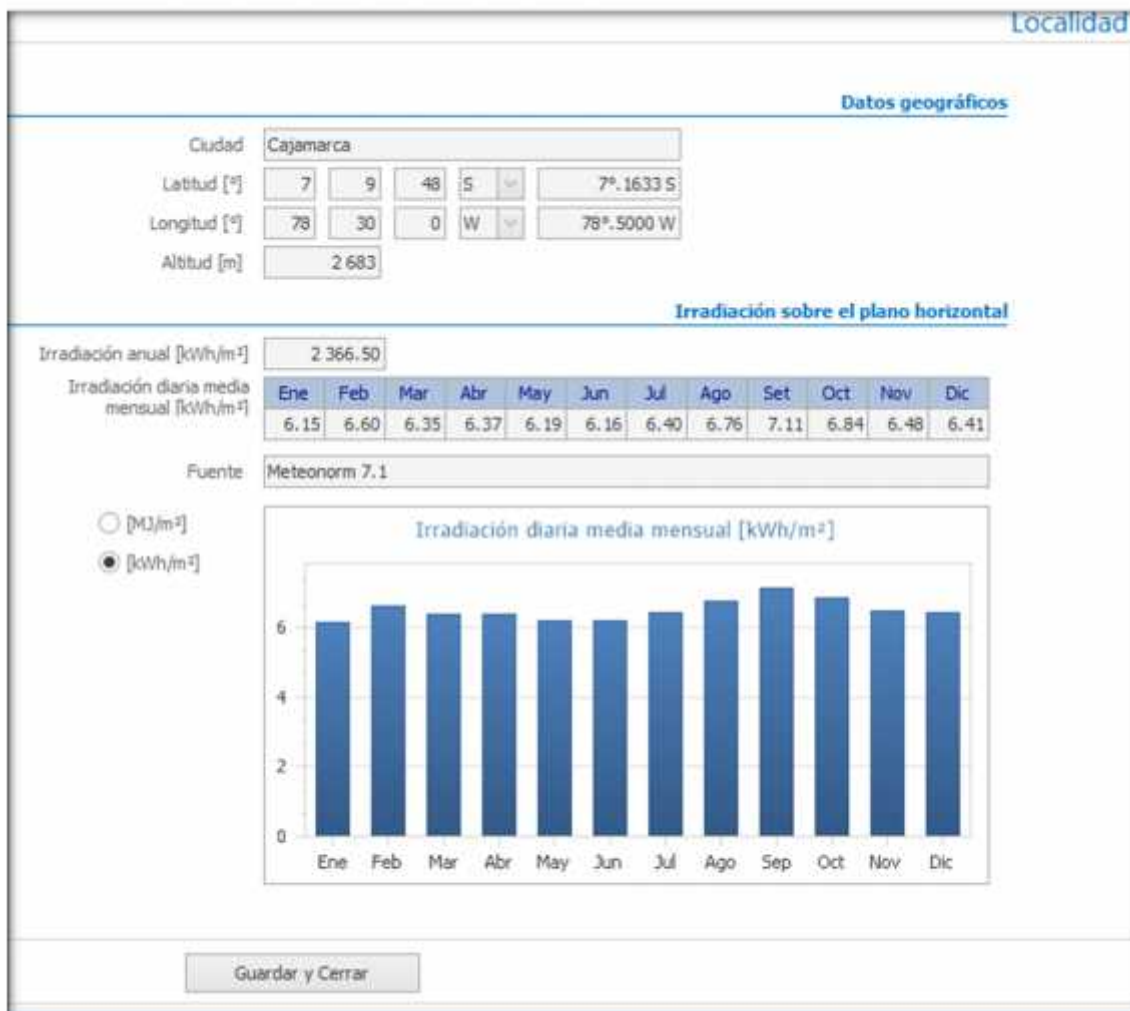
Tabla N° 5: Radiación solar en el caserío de Santa Rosa-Jaén según la NASA

| Month | Air temperature | Relative humidity | Daily solar radiation - horizontal |
|-----------|-----------------|-------------------|------------------------------------|
| | °C | % | kWh/m ² /d |
| January | 22.8 | 57.6% | 5.27 |
| February | 22.7 | 63.1% | 5.00 |
| March | 22.9 | 62.8% | 5.45 |
| April | 23.3 | 56.7% | 5.14 |
| May | 23.1 | 49.8% | 4.98 |
| June | 22.3 | 45.5% | 4.89 |
| July | 21.9 | 40.3% | 5.02 |
| August | 22.4 | 37.9% | 5.54 |
| September | 23.2 | 39.6% | 6.15 |
| October | 23.3 | 43.4% | 6.08 |
| November | 22.7 | 48.5% | 6.10 |
| December | 22.8 | 54.4% | 5.67 |

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

5.2.4. Radiación solar según el Software Solarius Plus

Tabla N° 6: Radiación solar según el software Solarius Plus



Fuente: Software Solarius Plus

La irradiación solar más desfavorable es en el mes de junio con un valor de 6,16 kWh/m²/día.

De los resultados obtenidos de las tres fuentes consideramos el menor de ellos valores entonces el valor de radiación solar en el Caserío Santa Rosa es de 4,89 kWh/m²/día.

5.2.5. Calculo del consumo energético

De las visitas técnicas realizadas Con la finalidad de determinar el consumo de energía eléctrica promedio diario realizamos una descripción de los equipos que consumen energía eléctrica tal como se muestra en la siguiente tabla N° 7

Tabla N° 7: Consumo total diario para la Estación Base Celular -Santa Rosa-Jaén

| EQUIPOS | CANTIDAD (u) | POTENCIA (W) | UTILIZACIÓN (h/día) | CONSUMO (Wh/día) |
|----------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------|
| EBC 850 | 1 | 1 000 | 24 | 24 000 |
| Carga de celular | 1 | 5 | 1 | 5 |
| Luminarias Internas | 3 | 8 | 4 | 96 |
| Luz de balizaje | 1 | 500 | 12 | 6 000 |
| Panel inteligente | 1 | 100 | 24 | 2 400 |
| CONSUMO DIARIO TOTAL (wh) | | | | 32 501 |

Fuente: elaboración propia

5.2.6. Calculo del generador fotovoltaico

El dimensionado del generador fotovoltaico para para la antena ubicado en el caserío Santa Rosa se realizó considerando que la demanda de energía eléctrica es de 32, 501 kWh.

Datos relevantes para el dimensionado

Para el dimensionamiento del sistema eléctrico fotovoltaico se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

Consumo de energía eléctrica proyectado: 32,501 kWh

Radiación solar: 4,89 kWh/m²/día

Días de autonomía: 2

Rendimiento de la batería: 95%

Rendimiento del inversor: 94%

Rendimiento de los conductores eléctricos: 97%

Voltaje del sistema: 48 V

Para calcular la carga diaria utilizaremos la siguiente ecuación

$$L_m = \left(\frac{L_D}{n_b} + \frac{L_A}{n_b \times n_{in}} \right) \times \frac{1}{n_c} \dots (5)$$

Donde:

L_{DC} : Carga diaria en corriente continua

L_{AC} : Carga diaria en corriente alterna

n_{bat} : Eficiencia de la batería

n_{inv} : Eficiencia del inversor

n_{cond} : Perdidas en los cables

En este caso la carga solo es en corriente alterna por lo que $L_{DC}=0$ Wh

Reemplazando datos en (5) obtenemos que la energía del generador fotovoltaico es de:

$$E_{elec} = \left(\frac{0}{0,95} + \frac{32,501}{0,95 \times 0,94} \right) \times \frac{1}{0,97} = 37,52 \text{ kWh/día}$$

5.2.6.1. Cálculo del número de paneles solares

Para la selección del panel solar se ha considerado una marca reconocida, se ha considerado la marca YINGLI SOLAR y SIMAX concluyendo que el panel solar a utilizar SIMAX de 300 Wp. Los datos característicos de este panel se encuentran en el ANEXO 02

Tabla N° 8: catálogo SIMAX



Electrical Characteristics

| Parameters | SP672-280 | | SP672-285 | | SP672-290 | | SP672-295 | | SP672-300 | | SP672-305 | | SP672-310 | |
|--|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT |
| Peak power [Wp] P_{max} | 280W | 208W | 285W | 212W | 290W | 215W | 295W | 219W | 300W | 226W | 305W | 224W | 310W | 228W |
| Open circuit voltage [V] V_{oc} | 44.4 | 44.7 | 44.4 | 45.0 | 44.4 | 45.3 | 45.0 | 45.5 | 45.0 | 45.8 | 45.2 | 45.8 | 45.5 | 45.8 |
| Maximum Power Voltage [V] (V_{mp}) | 29.5 | 37.2 | 35.8 | 37.4 | 35.8 | 37.4 | 36.3 | 37.8 | 36.3 | 38.0 | 36.5 | 38.0 | 36.8 | 38.0 |
| Maximum Power Current [A] (I_{mp}) | 7.82 | 5.59 | 7.96 | 5.65 | 8.10 | 5.76 | 8.13 | 5.79 | 8.26 | 5.95 | 8.35 | 5.91 | 8.42 | 6.05 |
| Short circuit Current [A] (I_{sc}) | 8.45 | 5.94 | 8.60 | 5.99 | 8.71 | 6.06 | 8.78 | 6.12 | 8.93 | 6.25 | 8.95 | 6.09 | 9.01 | 7.21 |
| Power Tolerance | 0~+3% | | 0~+3% | | 0~+3% | | 0~+3% | | 0~+3% | | 0~+3% | | 0~+3% | |
| Module Efficiency (%) | 14.5% | | 14.7% | | 14.9% | | 15.3% | | 15.5% | | 15.7% | | 16.0% | |

fuelle: catálogo SIMAX²⁴ (ANEXO 02)

Para calcular el número de paneles necesarios para dimensionar el sistema se emplea la siguiente expresión:

$$N = \frac{P}{P_p} \quad (N_M) \times \quad P_p \quad (W) = \frac{E_e}{H} \dots (6)$$

Donde:

$$P = f \quad g \quad d \quad f_1 \quad (0,80)$$

Reemplazando en (6)

²⁴ [https://www.proviento.com.pe/SP672-\(280-310W\).pdf](https://www.proviento.com.pe/SP672-(280-310W).pdf)

$$N_{dp} (N_m) \times 300(W) = \frac{37,52 \left(\frac{k}{d} h\right)}{4,89 \times 0,8} = 9191,24 W$$

$$N_{dp} (N_m) \approx 31$$



Calculamos el número de paneles en serie (N_{sm})

teniendo en cuenta que la tensión del generador fotovoltaico será de 48 V.

$$N_{sm} = V_{d\ t} / V_m = 48 / 24 = 2$$

Numero de ramas de dos módulos en paralelo (N_{pm})

Para determinar el número de ramas en paralelo que disponemos estará dado por la siguiente formula:

$$N_{pm} = N_m / N_{m\ e\ s} = 3 / 2 = 1 \dots(8)$$

5.2.7. Calculo de la capacidad de las baterías

Para el dimensionado del banco de baterías que almacena la energía generada por el arreglo fotovoltaico considerando las baterías de una capacidad de 503 Ah (ver figura N° 22), el resultado se obtiene utilizando la siguiente ecuación

$$C_T = (2 \times 32\ 501) / (0,78 \times 48 \times 0,94 \times 0,90)$$

$$C_T = 2\,052,20 \text{ Ah}$$



Figura N° 22: batería ROLLS 12 CS 11 PS (ANEXO 02)²⁵

Debido a que la tensión nominal de la batería es de 24 V, la del sistema es de 48 V, entonces.

El número de baterías en serie:

$$N_{b \text{ en s}} = \frac{4}{1} = 4$$

Número de ramas de baterías en paralelo:

$$N_{r \text{ de b en p}} = \frac{2,2}{5} = 4,0 \approx 4$$

5.2.8. Cálculo de la capacidad del controlador de carga

²⁵ <http://webosolar.com/store/es/baterias-ciclo-profundo/996-bateria-surrette-rolls-12-cs-11p-ciclo-profundo-12v-503ah.html>

Para el cálculo de la corriente eléctrica mínima del controlador ($I_{m\ d\ r}$) consideraremos la siguiente ecuación:

$$I_{m\ d\ r} = 1,2\ c\ d\ p \times N_{Pm}$$

$$I_{m\ d\ r} = 1,2 \cdot 9 = 1,6\ A$$

Para determinar el número de reguladores para nuestra instalación En primer lugar consideraremos trabajar con controladores BLUE SOLAR 150/100, los cuales tienen una capacidad de corriente de 100 A.

Numero de controladores

El número de controladores lo hallaremos con la siguiente ecuación

$$N_{r\ i} = I_{m\ d\ r} / I_{r\ s\ i}$$

Reemplazando tenemos.

$$N_{r\ i} = 1,6 / 1 = 1,7 \approx 2$$

$$\frac{1,6}{1} = 1,7 \approx 2$$

El número de ramas de módulos fotovoltaicos a conectarse a cada regulador se calculará con la siguiente ecuación

$$N_{r\ e\ d\ p\ s\ p\ r\ i} = 1 / 2 = 8$$

$$8\ r\ e\ d\ m\ f\ c\ o\ d\ c\ i\ a\ c\ r$$

5.2.9. Calculo del inversor de corriente

Los inversores que se utilizarán en nuestra propuesta serán los inversores de onda pura 48V, 8 kW de la marca Sunny Island (ver ANEXO 04

Para el cálculo de la potencia requerida por el inversor usaremos la siguiente ecuación:

$$P_{req} = \frac{E_{max}}{EF} \times \frac{D}{D} \times \frac{L}{L} \times \frac{C}{C}$$

$$P_{req} = \frac{6,6}{0,9} = 7,07 \text{ k}$$

Para determinar el número de inversores necesarios usaremos

$$N_{in} = \frac{\text{Potencia Requerida por el Inversor}}{P_{dispon}} \times S_{c}$$

$$N_{in} = \frac{7,07 \text{ k}}{8,00 \text{ k}} = 0,88 \approx 1$$

S u m a d e 4 8 K S I

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Cálculo de la Intensidad máxima que debe soportar el tramo campo fotovoltaico – regulador

Haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$I_{Mm} = 1,25 \times I_{Cor} \times N_{re} \times p \times r$$

Reemplazando tenemos:

$$I_{Mm} = 1,25 \times 8,9 = 11,125 \text{ A}$$

Cálculo de la intensidad máxima que debe soportar el tramo regulador – inversor

Haciendo uso de la siguiente ecuación

$$I_{M_{ti}} = 1,25 \times P_c / (V_{ti} \times \eta_{in})$$

$$I_{M_{ti}} = 1,2 / (2 \times 0,9) = 9,9 \text{ A}$$

Ahora consideraremos las caídas de tensión máximas en cada tramo:

- a) Para el tramo generador fotovoltaico- controlador se recomienda una caída de tensión entre 1% a 3%, en este caso se ha considerado el 3% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 1,44 V
- b) Para el tramo controlador - batería se recomienda una caída de tensión máxima de 1% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 0,48 V
- c) Para el tramo controlador - batería se recomienda una caída de tensión máxima de 1% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máxima de tensión es de 0,48 V

Tabla N° 9: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica

| Subsistema | Caída tensión Máxima |
|----------------------|----------------------|
| Paneles – Regulador | 3% |
| Regulador – Baterías | 1% |
| Baterías – Inversor | 1% |

Fuente: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Para el cálculo de la sección mínima del conductor usaremos la siguiente ecuación:

$$S_C = \frac{2 \times L \times I}{5 \times \Delta V}$$

Tabla N° 10: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo

| | |
|---|--|
| Generador fotovoltaico - Regulador | $S_C = \frac{2 \times L \times I}{56 \times V}$ $S_C = 2 \times 6 \times 89,30 / (56 \times 1,44)$ $S_C = 13,29 \text{ m}^2$ |
| Regulador- Batería | $S_C = \frac{2 \times L \times I_M}{56 \times V}$ $S_C = 2 \times 3 \times (89,30) / (56 \times 0,48)$ $S_C = 19,93 \text{ m}^2$ |
| Regulador- Inversor | $S_C = \frac{2 \times L \times I_M}{56 \times V}$ $S_C = 2 \times 3 \times (97,93) / (56 \times 0,48)$ $S_C = 21,86 \text{ m}^2$ |

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 11: Características eléctricas de los conductores THW-90

| TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------|--------------|-------|
| CALIBRE CONDUCTOR | NUMERO HILOS | DIAMETRO HILO | DIAMETRO CONDUCTOR | ESPESOR AISLAMIENTO | DIAMETRO EXTERIOR | PESO | AMPERAJE (°) | |
| | | | | | | | AIRE | DUCTO |
| mm ² | | mm | mm | mm | mm | Kg/Km | A | A |
| 2.5 | 7 | 0.66 | 1.92 | 0.8 | 3.5 | 32 | 37 | 27 |
| 4 | 7 | 0.84 | 2.44 | 0.8 | 4.1 | 47 | 45 | 34 |
| 6 | 7 | 1.02 | 2.98 | 0.8 | 4.6 | 67 | 61 | 44 |
| 10 | 7 | 1.33 | 3.99 | 1.1 | 6.2 | 117 | 88 | 62 |
| 16 | 7 | 1.69 | 4.67 | 1.5 | 7.7 | 186 | 124 | 85 |
| 25 | 7 | 2.13 | 5.88 | 1.5 | 8.9 | 278 | 158 | 107 |
| 35 | 7 | 2.51 | 6.92 | 1.5 | 10 | 375 | 197 | 135 |
| 50 | 19 | 1.77 | 8.15 | 2 | 12.3 | 520 | 245 | 160 |
| 70 | 19 | 2.13 | 9.78 | 2 | 13.9 | 724 | 307 | 203 |
| 95 | 19 | 2.51 | 11.55 | 2 | 15.7 | 981 | 375 | 242 |
| 120 | 37 | 2.02 | 13 | 2.4 | 18 | 1245 | 437 | 279 |
| 150 | 37 | 2.24 | 14.41 | 2.4 | 19.4 | 1508 | 501 | 318 |
| 185 | 37 | 2.51 | 16.16 | 2.4 | 21.1 | 1866 | 586 | 361 |
| 240 | 37 | 2.87 | 18.51 | 2.4 | 23.5 | 2416 | 654 | 406 |
| 300 | 37 | 3.22 | 20.73 | 2.8 | 26.5 | 3041 | 767 | 462 |
| 400 | 61 | 2.84 | 23.51 | 2.8 | 29.3 | 3846 | 908 | 541 |
| 500 | 61 | 3.21 | 26.57 | 2.8 | 32.3 | 4862 | 1037 | 603 |

fuelle: Catalogo de INDECO (ANEXO 06)

De la Tabla N° 10 y Tabla N° 11, Seleccionamos el conductor

25 m² THW-90

5.2.10. Protección contra sobre intensidades

5.2.10.1. Selección de elementos de protección: fusibles²⁶

Para la protección contra sobre intensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos se empleará fusibles. En este caso se seleccionarán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo *gPV 1000V DC* de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca **DF Electric**, que proporcionan una adecuada protección contra sobrecargas y cortocircuitos de acuerdo a la norma IEC 60269-6, y con una corriente mínima de fusión de $1,35 \cdot I_n$, capaz de

²⁶ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

interrumpir el paso de todas las corrientes que vayan desde su valor de intensidad nominal (I_n) hasta su poder de corte asignado.

Entonces, que para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$$

siendo,

I_b la intensidad de corriente que recorre la línea.

I_n la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

I_{adm} es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.

Tabla N° 12: Selección de fusibles

| | |
|---|---|
| Generador fotovoltaico - Regulador | $I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $89,30 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (158,00) \text{ Luego } 89,30 \leq I_n \leq 142,20$ $I_n = 100 \text{ A}$ |
| Regulador- Bateria | $I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $89,901 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (158,00) \text{ luego } 54,25 \leq I_n \leq 142,20$ $I_n = 100 \text{ A}$ |
| Regulador- Inversor | $I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $97,93 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (158,00) \text{ luego } 97,93 \leq I_n \leq 142,20$ $I_n = 100 \text{ A}$ |

Fuente: elaboración propia

5.2.10.2. Protección del inversor

En este caso tratamos con circuitos de alterna y las protecciones son con interruptores termomagnéticos para evitar contactos directos usaremos un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad.

Además, se pondrá un interruptor automático bipolar que debe cumplir:

$$I_{M\ c} = \frac{E}{T} \frac{D\ L\ C}{D\ S\ D\ H} / H$$

$$I_{M\ c} = 32\ 501 / (4,89 * 220) =$$

$$I_{M\ c} = 30,23\ A$$

seleccionamos un interruptor termomagnético de 32 A

5.2.10.3. Sistema de puesta a tierra

Por razones de seguridad para el usuario, debemos evitar que el cuerpo humano sea conductor y pueda sufrir algún daño fatal.

Se debe conocer el tipo de la puesta a tierra, la sección del Cu en los equipos y en el sistema en general.

La sección mínima de la línea principal de tierra es de 16mm² según el C.N.E.

5.2.11. Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares:

Para determinar el Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares aremos uso de la siguiente ecuación:

$$\beta_o = 3,7 + (0,6 \times |\varphi|)$$

d :

β_o : Angulo de inclinación optimo

$|\varphi|$: Latitud del lugar sin signo

Sabiendo que la latitud es de: -5,728°.

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 \times |-5,728^\circ|)$$

$$\beta_o = 7,65^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de 7,65°; pero según el reglamento técnico RD 003-2007-EM/DGE. el mínimo debe ser 10° entonces consideraremos 15°, para evitar la acumulación de polvo y humedad.

5.2.12. Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos

Para determinar la distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos aremos uso de las siguientes formulas:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61^\circ - W)} ; h = L \operatorname{sen}(S) ; D = d + L \cos(S)$$

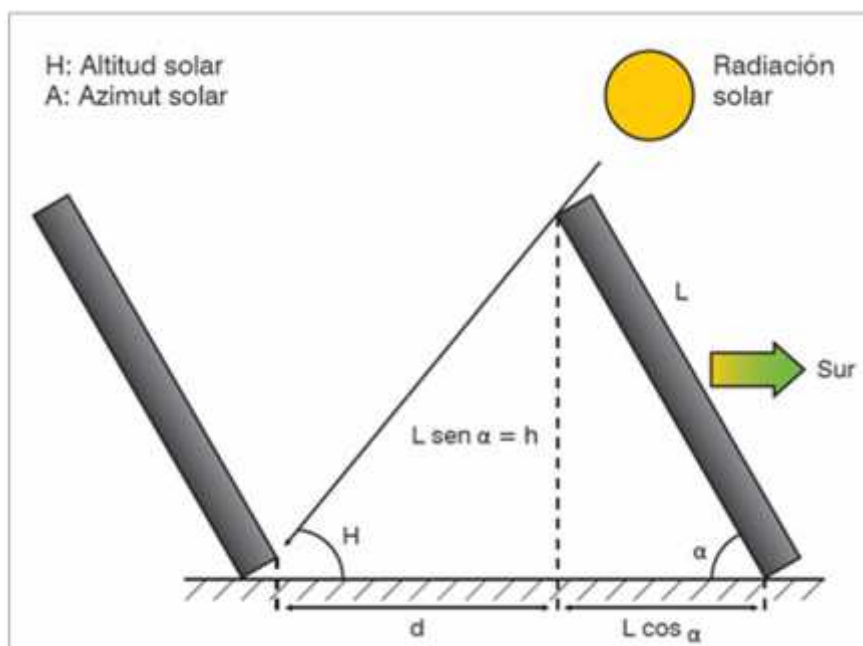


Figura N° 23: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano²⁷

Tabla N° 13: Características mecánicas de los paneles solares

Mechanical Characteristics

| | |
|--------------|--|
| Solar Cell | Polycrystalline silicon 156 x 156 (mm) |
| No. of Cells | 72 (6 x 12) |
| Dimensions | 1956 x 992 x 40 mm |
| Weight | 22.5 kg |
| Front Glass | 3.2mm (0.13 inches) tempered glass |
| Frame | Anodized aluminum alloy |

Fuente. ANEXO 02

$$L = 1956 \text{ mm}$$

$$\alpha = 10^\circ, \quad \beta = -5,728^\circ$$

Reemplazando en las fórmulas anteriores tenemos:

$$h = 399,66 \text{ mm}$$

$$d = 142,68 \text{ mm}$$

$$D = 2068,96 \text{ mm}$$

²⁷ <http://www.elblogdelinstalador.com/energetica-y-geometria-solar/>

5.3. Evaluación económica

5.3.1. Costo total del proyecto

Tabla N° 14: Tabla de suministro de materiales

| Ítem | Equipamiento | Cantidad | Costo unitario S/ | Sub-Total S/. |
|------------------|--|----------|-------------------|-------------------|
| I | SUMINISTRO DE MATERIALES | | | |
| 01 | Paneles Fotovoltaicos | | | |
| | Paneles SIMAX de 300 Wp | 32 | 1 063 | 34 016,00 |
| 02 | Sistema de control / controladores de carga | | | |
| | BLUE SOLAR 150/ 100 | 2 | 3 548 | 7 096,00 |
| 03 | Sistema de almacenamiento | | | |
| | Batería 503 Ah | 16 | 3 384,05 | 54 144,80 |
| 04 | Inversores de corriente | | | |
| | Inversor Sunny Island 48/230 V | 1 | 14 356,00 | 14 356,00 |
| 05 | Accesorios del SFV | | | 1 723,38 |
| Total, S/ | | | | 109 612,80 |

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 15: Costo total del sistema fotovoltaico para la antena de la empresa CLARO en el caserío Santa Rosa -Jaén

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | TOTAL, S/ |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | Suministro de materiales | 109 612,80 |
| | Transporte de materiales | 5 480,64 |
| 3 | Montaje electromecánico | 9865,15 |
| 4 | Costo directo | 124 958,59 |
| 5 | Gastos generales | 12 495,86 |
| 6 | Sub-Total | 137 454, 45 |
| 7 | IGV | 24 741,80 |
| COSTO TOTAL S/ | | 162 196,25 |

Fuente: elaboración propia

5.3.2. Flujo de caja proyectado

Para realizar el flujo de caja se considerará un horizonte de 20 años. El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante el horizonte.

Estructura del flujo de caja

Los componentes del flujo de caja:

Los egresos: está dado por la inversión inicial que estará dado por el costo de inversión del sistema de bombeo fotovoltaico, depreciación de equipos y mantenimiento.

Los ingresos: está dado por lo que se dejaría de gastar en el suministro de energía eléctrica convencional es decir con grupo

electrógeno es decir los S/. 55 488 y además la compra de 24 baterías de 2V y de 1200 Ah que es un costo de S/. 39 528

Tabla N° 16: Depreciación de equipos

| Equipos | Vida útil (años) | Costo total (S/.) | Depreciación (s/.) |
|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| Paneles solares | 20 | 34 016 | 1 700,80 |
| Controladores | 10 | 7 096 | 709,60 |
| Inversores | 10 | 14 356 | 1 435,60 |
| Baterías | 10 | 54 144 | 5 414,40 |

Fuente: elaboración propia

Para la evaluación económica se considerará una tasa de 15 %

Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla N° 17

$VAN = S/. 113\,196,36 > 0$ por lo que la propuesta es rentable

$TIR = 27\% > 15\%$

De los dos resultados anteriores la propuesta es viable.

El retorno de la inversión será en 3 años y 6 meses.

Tabla N° 17: Flujo de caja proyectados en un horizonte de 20 años (elaboración propia)

| | | Año 00 | Año 01 | Año 02 | Año 03 | Año 04 | Año 05 | Año 06 | Año 07 | Año 08 | Año 09 | Año 10 |
|-----------------|--------------------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Inversion | 162196,25 | | | | | | | | | | |
| INGRESOS | Fondos generados | | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 95016 |
| EGRESOS | Mantenimiento | | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| | Depreciacion de equipos | | 9260,40 | 9260,40 | 9260,40 | 9260,40 | 9260,40 | 9260,40 | 9260,40 | 3846,00 | 9260,40 | 77296,80 |
| | Panel solar | | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 |
| | Controlador | | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 709,60 | 7096 |
| | Inversor | | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 14356 |
| | Baterias | | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 54144 |
| | Flujo de efectivo Neto | -162196,25 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 45827,60 | 17319,20 |

| | | Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 | Año 18 | Año 19 | Año 20 |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Inversion | | | | | | | | | | |
| INGRESOS | Fondos generados | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 | 55488 |
| EGRESOS | Mantenimiento | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| | Depreciacion de equipos | 9260,40 | 15646,80 | 9260,40 | 15646,80 | 9260,40 | 22437,60 | 9260,40 | 15646,80 | 9260,40 | 15646,80 |
| | Panel solar | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 | 1700,80 |
| | Controlador | 709,60 | 7096,00 | 709,60 | 7096,00 | 709,60 | 7096,00 | 709,60 | 7096,00 | 709,60 | 7096,00 |
| | Inversor | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 | 1435,60 |
| | Baterias | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 12205,20 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 | 5414,4 |
| | Flujo de efectivo Neto | 45827,60 | 39441,20 | 45827,60 | 39441,20 | 45827,60 | 32650,40 | 45827,60 | 39441,20 | 45827,60 | 39441,20 |

Fuente: elaboración propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) El consumo de energía promedio diario Estación Base Celular (EBC) de propiedad de la empresa CLARO ubicada en el caserío Santa Rosa, es de 32,501 kWh/día.
- b) Los datos de radiación solar promedio mensual en la zona del proyecto se ha obtenido de tres fuentes: Según el atlas solar del Perú la radiación solar mínima se encuentra entre 4,50 kWh/m²/día y 5,50 kWh/m²/día. El dato obtenido de la página de la NASA es de 4,89 kWh/m²/día y con respecto del software Solarius Plus se ha obtenido un valor de 6,15 kWh/m²/día. La radiación solar con la cual se ha realizado el dimensionamiento del sistema fotovoltaico es de 4,89 kWh/m²/día.
- c) El sistema fotovoltaico está conformado por: de 32 paneles solares de 300 Wp de potencia pico, 16 baterías de 503 Ah, 02 controladores BlueSolar MPPT 150/100 y 01 inversor Sunny Island de 8 kW 48/230 V
- d) El monto total de inversión para el sistema fotovoltaico es de:
S/. 162 196,25
- e) En el análisis de Viabilidad del proyecto se obtuvo un VAN de:
S/. 113 196,36 soles a una tasa del 15 % para un horizonte de 20 años con una TIR de 27%, lo que hace viable económicamente

nuestro proyecto. El tiempo de retorno de la inversión es de 3 años y 6 meses.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 2) Bocanegra Solorzano, H. (2014). *Diseño de una red inalambrica para brindar servicio de internet de banda ancha en zonas rurales*. Trujillo.
- 3) Canales Ciudad, C. (2012). *Guia solar fotovoltaica 2012*.
- 4) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 5) DGIE. (2010). *Guia tecnica de aplicacion para instalaciones de energia renovables*.
- 6) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 7) E. ALCOR. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*.
- 8) electricidad, R. d. (2001). *Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector electricidad*. peru.
- 9) FOTOVOLTAICA, E. (s.f.). *manual sobre tecnologias, proyecto e instalacao*.
- 10) Gimenes, J. M. (2010). *Energia solar eolico fotovoltaico*.
- 11) IEA. (2016). *World energy Outlook*.
- 12) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 13) Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.

- 14) Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 15) PEREIRA RIVEIRO, F. (2002). *proyecto de un sistema fotovoltaico para iluminacion publica*.
- 16) Sanchez Quiroga, D. (2012). *Sistema de energia solar fotovoltaica aislada para vivienda unifamiliar aislada*.
- 17) SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 18) TECSUP. (s.f.). *Generación de energía fotovoltaica.pdf - TECSUP*.
- 19) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA SEGÚN EL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DEL PERÚ

ANEXO N°02. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES SOLARES

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA ROLLS DE 503 AH

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR SELECCIONADO BLUE SOLAR DE 150/100

ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR SUNNY ISLAND DE 8 KW 48/230 V

ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS THW 90

ANEXO N°07. CATÁLOGO DE FUSIBLES

ANEXO N° 08. PLANO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 09. PLANO DE MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS SOBRE ESTRUCTURAS FIJAS DE APOYO

