



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO FOTVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CASERÍO MEMBRILLAR DISTRITO DE NIEPOS – SAN MIGUEL- CAJAMARCA”

Autor:

Br. JONATHAN SAUCEDO HUAYAMA

Asesor:

M.Sc. Ing. CIP. JONY VILLALOBOS CABRERA

Lambayeque – Perú

2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**"DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO
FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CASERÍO
MEMBRILLAR DISTRITO DE NIEPOS – SAN
MIGUEL- CAJAMARCA"**

Presentado Por:

Br. JONATHAN SAUCEDO HUAYAMA

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza.

SECRETARIO: M. Sc Amado Aguinaga Paz

MIEMBRO: Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra.

ASESOR: Ing. M.Sc. Jony Villalobos Cabrera

Lambayeque – Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

TITULO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EÓLICO
FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CASERÍO
MEMBRILLAR DISTRITO DE NIEPOS – SAN
MIGUEL- CAJAMARCA”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

CAPITULO II: MARCO TEORICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO.

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

CAPITULO VII: ANEXOS.

AUTOR: Br. JONATHAN SAUCEDO HUAYAMA

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú
2018

DEDICATORIA

Dedico este Proyecto de Tesis a Dios y a mis padres Esperanza Huayama Rinza y Catalino Saucedo Menor, a mis pequeñas hijas que están al lado del Todopoderoso y mi esposa que constantemente me brinda su apoyo incondicional Jacqueline Ochoa Salazar. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

JONATHAN SAUCEDO HUAYAMA

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento:

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todo lo que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco al M.Sc. Ing. Jony Villalobos Cabrera y mi persona, quienes a lo largo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este nuevo plan estratégico el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A mis profesores a quienes les debo una gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

JONATHAN SAUCEDO HUAYAMA

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enmarca en el diseño de un Sistema Híbrido Eólico - Fotovoltaico para suministrar de energía eléctrica al caserío Membrillar, distrito Niepos, provincia de San Miguel, el cual se ha ido desarrollando mediante estudios de campo.

El motivo de realizar esta investigación es porque el caserío Membrillar no cuenta con el servicio de energía eléctrica, lo cual fue mi decisión ayudar a los pobladores para mejorar la calidad de vida.

Los métodos que utilizamos para la investigación es el método deductivo que es posible deducir conclusiones finales a partir de unos enunciados supuestos llamados premisas, se suele decir que se pasa de lo general a lo particular. Teniendo como idea la generación de energía eléctrica por medio de la energía eólica y solar se logrará el diseño de Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico.

Este trabajo se realizó tomando medidas del potencial eólico-solar y calculando la máxima demanda eléctrica requerida por dicho lugar, a partir de allí se tomó en cuenta diseñar el Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico.

Finalmente el Sistema Híbrido a diseñar requiere de un presupuesto de S/. 144520,20.

PALABRAS CLAVES: Energía Eólica, Energía Fotovoltaica, Energía Renovable.

ABSTRACT

This research work is part of the design of a Wind-Photovoltaic Hybrid System to supply electricity to the Membrillar hamlet, Niepos district, province of San Miguel, which has been developed through field studies.

The reason for doing this research is because the village Membrillar does not have electricity service, which was my decision to help villagers to improve the quality of life.

The methods we use for research is the deductive method that it is possible to deduce final conclusions from some supposed statements called premises, it is often said that we move from the general to the particular. Taking as an idea the generation of electrical energy by means of wind and solar energy, the design of the Photovoltaic Wind Hybrid System will be achieved.

This work was carried out taking measurements of the wind-solar potential and calculating the maximum electrical demand required by said place, from there the design of the Photovoltaic Wind Hybrid System was taken into account.

Finally, the Hybrid System to be designed requires a budget of S /. 144520.20.

KEYWORDS: Wind Energy, Photovoltaic Energy, Renewable Energy.

INDICE

INDICE.....	1
INTRODUCCION	3
CAPÍTULO I.....	4
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. Realidad Problemática	4
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Delimitación de la investigación.....	5
1.4. Justificación e importancia de la investigación	5
1.5. Limitaciones de la investigación	6
1.6. Objetivos de la investigación	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes del Estudio	8
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado	12
2.2.1. Definición de Términos	12
2.3. Definiciones Conceptuales	16
2.3.1. Generación eléctrica.....	16
2.3.2. Estudio de Mercado Eléctrico	23
2.3.3. Energía solar	24
2.3.4. Distribución de Weibull	277
2.3.5. Sistema Fotovoltaico	28
2.3.6. Dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos.....	333
2.3.7. Dimensionamiento de los Aerogeneradores	39
2.3.8. Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica.....	58
2.3.9. Evaluación económica.....	58
CAPITULO III	622
MARCO METODOLÓGICO	622
3.1 Tipo y Diseño de Investigación	622
3.2 Población y muestra	622
3.3 Formulación de la hipótesis	622
3.4 Variables-Operacionalización	622
3.5 Métodos y técnicas de investigación	644

3.6	Descripción de los instrumentos utilizados	644
3.7	Análisis estadístico e interpretación de datos	655
CAPITULO IV		66
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS		66
4.1	Energía necesaria a suministrar en el caserío Membrillar, ubicado en Distrito de Niepos, departamento de Cajamarca	66
4.2	Evaluación del recurso solar y eólico en el caserío Membrillar	71
4.2.1	Evaluación del recurso solar.....	71
4.3	Dimensionamiento del Sistema Híbrido y Redes de Distribución en 220 V	86
4.4	Metrado y Presupuesto.....	103
4.5	Evaluación Económica del Proyecto.....	108
CAPÍTULO V.....		110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
5.1.	Conclusiones.....	110
5.2.	Recomendaciones.....	111
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		112
ANEXOS.....		114

INTRODUCCION

El caserío Membrillar abarca una superficie de 4772.7 m² a una altura de 2519 msnm, ubicado en el distrito de Niepos, provincia de san Miguel, departamento de Cajamarca, actualmente cuenta con 21 viviendas, de las cuales 16 son domésticas, 01 comercio y 04 usos generales, los cuales a la fecha no cuentan con Servicio de Energía Eléctrica, pues se encuentran a unos 20 km de las Redes Convencionales.

Para poder solucionar dicho problema se hará uso de la energía eólica y energía fotovoltaica existente en la zona y con ello generar electricidad para dicha zona; para lo cual se evaluará el potencial existente de dichas energías, y en función a ellos se realizará el dimensionamiento y selección del sistema híbrido, además se realizó el diseño de las Redes Secundarias, que permitirá llevar la energía eléctrica a cada usuario.

Finalmente, como parte del presente proyecto se ha elaborado el presupuesto y la evaluación económica que involucraría la construcción y operación del Sistema Híbrido Solar – Eólico.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

El uso de energías eólica y fotovoltaica ha crecido de manera importante en las últimas décadas dados los beneficios directos económicos y ambientales que traen consigo.

Las energías renovables son los que se aprovechan directamente de los recursos considerados inagotables (no disminuyen sus recursos en lo que respecta a la escala humana) como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra, recursos que están relacionados con los ciclos naturales de nuestro planeta.

El caserío Membrillar abarca una superficie de 4772.7 m² a una altura de 2 519 msnm, ubicado en el distrito de Niepos, provincia de san Miguel, departamento de Cajamarca.

Según datos de censo realizado en el año 2017 por INEI “Encuesta Nacional de Hogares” del caserío El Membrillar cuenta con 105 personas nominalmente censadas, con un número de 21 viviendas haciendo un promedio de 5 personas por hogar.

La población no cuenta con el servicio de energía eléctrica siendo complicada su implementación a través de la alimentación de las redes eléctricas convencionales del servicio público, ya que las redes de media tensión de 10 kV más cercana se encuentran aproximadamente a 20 km de distancia, los habitantes de este caserío ha perdido las esperanzas de contar con energía

eléctrica, siempre han utilizado como fuente de iluminación las velas, mecheros, y usos esporádicos de pequeños grupos electrógenos en algunas viviendas. No hay interés de desarrollar un proyecto para suministro de energía eléctrica.

Las electrificaciones en zonas aisladas tienen diversas soluciones con el uso de fuentes renovables de acuerdo al potencial existente en cada lugar.

El estado peruano ha decidido impulsar decididamente el uso y aplicación de las energías renovables: biomasa, solar, geotérmica, hidráulica y mareomotriz, de acuerdo al Artículo 3° del Decreto Legislativo N°1002 promulgado en el año 2008, que jugarán un rol central en el futuro bienestar de nuestra sociedad

1.2. Formulación del problema

¿Existe el recurso eólico y solar suficiente para el funcionamiento de un sistema híbrido que logre generar energía eléctrica para el caserío Membrillar del distrito de Niepos?

1.3. Delimitación de la investigación

El presente proyecto de investigación está orientado a suministrar con energía eléctrica al caserío El Membrillar, del Distrito de Niepos, haciendo uso para ello de la energía solar y fotovoltaica existente en la zona.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación Técnica

Promover el uso de las energías no convencionales y el uso eficiente de la energía no convencionales.

1.4.2 Justificación Económica

Ayudaría a que los pobladores ya no hacer gastos extras para iluminarse (velas, pilas, baterías o combustibles), incluso también en las recargas de sus equipos celulares y artefactos en general.

1.4.3 Justificación Ambiental

Con el desarrollo y aplicación de este trabajo de tesis se disminuirá daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene del petróleo y por ello hace que sea amigable con el medio ambiente y la más importante es la ausencia de emisiones contaminantes, lo que hace de ellas unas fuentes energéticas respetuosas con el medio ambiente, fundamentales para construir un desarrollo sostenible del planeta.

1.4.4 Justificación Social

El presente trabajo de investigación pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes del Centro Poblado El Membrillar, pues al contar con el servicio de energía eléctrica podrán realizar sus tareas nocturnas sin poner el riesgo su salud y sobre todo con confort.

1.5. Limitaciones de la investigación

Una limitación es la ubicación del Centro Poblado El Membrilla, lo que hace un poco complicado llegar y realizar el trabajo de campo.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo General

El objetivo general es el diseño de un sistema de generación híbrido eólico -solar para suministrar con energía eléctrica al caserío Membrillar, ubicado en Distrito de Niepos, departamento de Cajamarca.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar la energía necesaria a suministrar en el caserío Membrillar, ubicado en Distrito de Niepos, departamento de Cajamarca.
- Determinar la radiación solar y velocidad de viento promedio en la zona del proyecto.
- Dimensionamiento el sistema eléctrico híbrido eólico – fotovoltaico y la red de distribución eléctrica en baja tensión de 220 V.
- Realizar el presupuesto referencial del sistema híbrido eólico - fotovoltaico.
- Realizar la evaluación económica de la implementación del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

A NIVEL INTERNACIONAL

Medina, 2013. En su tesis titulada “Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica Eólico – Fotovoltaico Aislado para el Suministro Eléctrico Demandado por un Edificio Habitacional”.

En el presente documento su objetivo principal es generar energía eléctrica requerida para suministrar un conjunto de unidades habitacionales, creando así el diseño de un edificio habitacional sustentable energéticamente, que contará con departamentos equipados con la instalación eléctrica correcta para la carga demandada en el uso cotidiano de una casa habitación, utilizando para ello la radiación solar y el movimiento del aire, utilizando así la tecnología requerida para suministrar la carga eléctrica demandada.

En la tesis de Herrera Barros, 2011. “Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico para la Generación de Energía Eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa”.

En la presenta tesis se tiene como objetivo diseñar un Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico para el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa. Así mismo el investigador concluye que el suministrar energía eléctrica producida por un Sistema Híbrido Eólico - Fotovoltaico para el Departamento de Turismo, permitirá contar con un suministro sin

interrupciones, además fomentará el uso de energías renovables y cuidado del medio ambiente.

En la tesis de Méndez Viro, 2010, Titulada “Análisis y Técnicas para la implementación de un Sistema Híbrido Solar - Eólica”.

El presente trabajo de titulación consiste en el estudio de las características físicas, técnicas y variables asociadas a un sistema híbrido solar eólico para la creación de un documento guía que sirva de base para la evaluación y configuración de un sistema de baja generación. Luego con el análisis de las variables del sistema híbrido solar eólico se evalúa, configura y determina la factibilidad de entregar la solución a un problema energético de un sistema que satisfaga la demanda eléctrica de una carga de 2 kWh día en una situación de vivienda rural y urbana. Además, como perspectiva global asociado al tema se estudia la matriz energética nacional y la sustentabilidad relacionada con un proyecto energético con ERNC.

A NIVEL NACIONAL

En la tesis de Chercca Ramírez, 2014, Titulada “Aprovechamiento del Recurso Eólico y Solar en la Generación de Energía Eléctrica y la Reducción de Emisiones de CO₂ en el Poblado Rural La Gramita de Casma”.

La presente Tesis es una investigación aplicada cuya metodología parte de la evaluación de tecnologías independientes como son el uso de aerogeneradores y los paneles fotovoltaicos y la combinación adecuada de éstas dos tecnologías, para lo cual se ejecutaron labores de gabinete y de campo, que dan como resultado el diseño de un Aerogenerador de 2 kW con

imanes permanentes de neodimio, el uso de 28 paneles Fotovoltaicos de 240 Wp, acumuladores o baterías, Reguladores de carga e Inversor que conforman un Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica para los pobladores de la Caleta “La Gramita” de la Provincia de Casma, cuya demanda energética es de 49,25 kWh/día, lo que permitirá mejorar la calidad de vida y mitigar los impactos ambientales por las emisiones contaminantes por el uso de carbón, velas, mecheros y grupos electrógenos. Esta alternativa propuesta tiende a ser la mejor alternativa que utiliza fuentes renovables de gran potencial en el lugar dado que ésta se encuentra en la playa “La Gramita” a la orilla del mar con viento y sol favorable durante todo el año, lo que se puede corroborar en el mapa eólico y solar donde contamos con una velocidad de viento de 5,3 m/s (a 10 m de altura) y una irradiancia de 5.75 kWh/m².

En la tesis de Serván Socola, 2014, Titulada “Análisis Técnico-Económico de un Sistema Híbrido de Baja Potencia Eólico Solar Conectado a la Red”.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología que permita realizar un análisis técnico económico de un sistema de generación de baja potencia, que utilice recursos energéticos renovables y que se encuentra conectado a la red eléctrica.

Como conclusiones del presente trabajo de investigación se obtuvo que los datos obtenidos con el dimensionamiento del sistema híbrido, permiten apreciar que un sistema conformado únicamente por paneles fotovoltaicos, produce una mayor cantidad de energía con una menor potencia instalada, por lo que se podría optar por utilizar un sistema de este tipo en lugar de un híbrido. Al hacer esto, se sacrifican muchas ventajas, como la generación de energía de una

manera más estable y continua a lo largo del día y de todo el año, debido a la complementariedad entre el recurso solar y eólico, sin tener la necesidad de instalar un banco de baterías o un grupo electrógeno en paralelo, lo cual incrementaría los costos de instalación, el costo de la energía y el impacto negativo al medio ambiente.

En la tesis de Díaz Galinos, 2010, Titulada “Análisis Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico en el Sector Típico IV utilizando el Método de Series Sintéticas”.

El presente trabajo que presento trata sobre la generación de energía eléctrica a partir de dos energías que pertenecen a las energías renovables, ambos tienen su origen en la radiación solar, siendo la energía eólica de una manera indirecta. El Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) es 100% renovable y limpio, por lo que contribuye en la lucha contra la contaminación ambiental, el cambio climático, etc. Entre las ventajas de combinar el uso del viento y la radiación solar para la generación de energía eléctrica es reducir el costo total de la instalación, por lo cual el mayor o menor beneficio depende de la correlación estacional en el tiempo de ambos recursos. De la misma manera en la Región Junín, las velocidades de viento alcanzan hasta 3.5 m/s, que permiten generar 489 kWh/m² al año. En este sentido la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica puede ser utilizada como un recurso renovable que contribuye en mejorar el índice de electrificación y la reducción del impacto negativo en el medio ambiente.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado

2.2.1. Definición de Términos

Modulo o panel fotovoltaico

Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

Densidad de potencia incidente en una superficie o a energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m^2

Célula solar o fotovoltaica

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Irradiación

Energía incidente por unidad de superficie y a lo largo de un cierto periodo de tiempo. Se mide en kWh/m^2 .

Acumulador

Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

Aerogenerador

Es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Amperio-hora

Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

Inversor

Convertidor de tensión y corriente continua en tensión y corriente alterna.

Caja de conexión

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

Carga

Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta ópera.

Instalación fotovoltaica

Aquella que se disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio.

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).

Conexión en paralelo

Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

Conexión en serie

Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

Conductor eléctrico

Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan “hilos” fabricados generalmente de cobre o aluminio.

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 aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

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.

Interruptor

Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.

Módulo o módulo solar fotovoltaico

Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

Regulador de carga

También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobre descargas.

Masa de aire

Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

Sistemas híbridos

Generación eléctrica a aquellos basados en el uso y combinación de dos o más fuentes de energéticas.

Voltaje de circuito abierto

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

Velocidad de viento

Es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal, a lo largo de la superficie terrestre. La dirección, depende directamente de la distribución de las presiones.

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/m², 25°C y 1,5 de masa de aire).

2.3. Definiciones Conceptuales

2.3.1. Generación eléctrica

Endesa (2012,p.34), la energía eléctrica es provocada por el movimiento de las cargas eléctricas (electrones positivos y negativos) en el interior de materiales conductores. Es decir, cada vez que se acciona el interruptor de nuestra lámpara, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través de cables metálicos, como el cobre. Además del metal, para que exista este transporte y se pueda encender una bombilla, es necesario un generador o una pila que impulse el movimiento de los electrones en un sentido dado.

De acuerdo al principio de conservación de la energía en el que se indica que ésta no se crea ni se destruye, sólo se transforma de unas formas en otras, se explica que la energía eléctrica pueda convertirse en energía luminosa, mecánica y térmica. A esto hay que añadir su facilidad con la que se genera y se transporta. No obstante, y a pesar de ser una de las energías más utilizadas por el ser humano debido a su aplicación en una diversa gama de productos y aparatos cotidianos, esta energía tiene la dificultad de almacenarse como electricidad. Este inconveniente provoca que la oferta tenga que ser igual que la demanda. Como consecuencia, es necesaria ya no sólo una coordinación en la producción de energía eléctrica, sino también entre las decisiones que se tomen para llevar a cabo una inversión en la generación y en transporte de dicho bien.

¿Cómo se genera la energía eléctrica?

1. Generación. La energía eléctrica se obtiene en las centrales de generación, las cuales están determinadas por la fuente de energía que se utiliza para mover el motor. A su vez, estas fuentes de energías pueden ser renovables o no. En el grupo de las renovables se encuentran las centrales hidráulicas (hacen uso de la fuerza mecánica del agua), eólicas (viento), solares (sol) y de biomasa (quema de compuestos orgánicos de la naturaleza como combustible). Cada una de estas fuentes indicadas se puede regenerar de manera natural o artificial (ENDESA, 2012).

Frente a éstas últimas, se encuentran las centrales que utilizan fuentes de energía que no son renovables. Es decir, aquellas que tienen un uso ilimitado en el planeta y cuya velocidad de consumo son mayor que la de su regeneración. En esta segunda formación se agrupan las centrales térmicas (se produce electricidad a partir de recursos limitados como el carbón, el petróleo, gas natural y otros combustibles fósiles) y las nucleares (a través de fisión y fusión nuclear) (ENDESA, 2012).

2. Transmisión. Una vez que se ha generado la energía eléctrica por alguna de las técnicas precedentes, se procede a dar paso a la fase de transmisión. Para ello, se envía la energía a las subestaciones ubicadas en las centrales generadoras por medio de líneas de transmisión, las cuales pueden estar elevadas (si se encuentran en torres de sustentación) o subterráneas. Estas

líneas de alta tensión transmiten grandes cantidades de energía y se despliegan a lo largo de distancias considerables (ENDESA, 2012).

3. Distribución. El último paso antes de obtener la electricidad en los hogares es el que corresponde a la distribución. Este sistema de suministro eléctrico tiene como función abastecer de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (ENDESA, 2014).

Problemas medioambientales

Hoy en día, los transportes, supermercados, empresas, industrias y la mayor parte de los hogares del mundo dependen del suministro de energía eléctrica. Sin embargo, satisfacer esta demanda global está comenzando a pasar factura al medioambiente del planeta. La generación de energía eléctrica se sigue obteniendo, en gran medida, por la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón). Esta combustión está expulsando a la atmósfera gases contaminantes, como el dióxido de carbono, el cual es considerado por muchos científicos como el responsable del calentamiento de la Tierra. En este mismo grupo de fuentes de energías no renovables, se encuentran las centrales nucleares, las cuales siguen despertando gran preocupación por el almacenamiento a largo plazo de sus residuos, así como por la posibilidad de que se produzcan accidentes que acarreen la liberación de agentes radioactivos al

entorno. Ejemplos como el de Chernóbil (Ucrania) y Fukushima (Japón) ponen la voz de alarma sobre las graves consecuencias que pueden tener para el medio ambiente y la sociedad. En este sentido, cada vez es más frecuente que los gobiernos de diferentes países comiencen a apostar por el desarrollo de energías renovables como la eólica y solar.

De acuerdo a (ENDESA, 2012)

“La electricidad es una forma de energía muy utilizada en todos los ámbitos de la sociedad, sin embargo, para muchos es un misterio cómo se genera. De forma resumida se dice que la electricidad proviene de las denominadas centrales de generación, las cuales la obtienen de diferentes fuentes de energía primaria.

Las centrales de generación

Las centrales de generación son instalaciones capaces de obtener energía final, la electricidad, a partir de diferentes tipos de fuentes de energía primaria. Tradicionalmente, este tipo de centrales generan la electricidad a partir de energías no renovables, como el carbón, el gasóleo o el gas natural. Con el avance de las tecnologías y la aparición de una mayor preocupación por el desarrollo sostenible, surgieron otro tipo de centrales de generación basadas en energías renovables (ENDESA, 2014)

Los tipos de centrales están directamente relacionados con la energía primaria que utilizan para generar la electricidad. Así,

podemos distinguir entre centrales de ciclo combinado, que emplean gas natural o los parques eólicos, que aprovechan el viento para generar electricidad. Estos son sólo dos ejemplos, pero los tipos son tan abundantes como tipos de energía primaria existen: carbón, gas natural, gasóleo, radiación solar, viento, mareas, biomasa, etc. (ENDESA, 2014).

Cómo se genera la electricidad

La manera más habitual de producir electricidad se basa en transformar la energía contenida en la energía primaria en energía mecánica a través de diferentes procesos para poder, con ayuda de un generador, convertir esta energía en electricidad (ENDESA, 2012).

(ENDESA, 2012) Cada central de generación tiene sus propias características para obtener la electricidad, lo que dificulta explicar de forma resumida su origen. Por ese motivo, a continuación, se muestra de forma general las principales características de los diferentes tipos:

- Central de carbón, gasóleo y gas natural: este tipo de centrales obtienen la electricidad mediante la combustión de combustibles fósiles. El calor generado calienta agua a alta presión que mueve una turbina que está conectada a un generador eléctrico donde se obtiene la electricidad.
- Central de ciclo combinado de gas natural: es una instalación similar a la anterior, pero de mayor eficiencia ya que posee dos circuitos conectados a un generador. Uno de ellos, sigue

el mismo funcionamiento explicado en el punto anterior, y el otro se trata de un ciclo agua-vapor que emplea el calor remanente de los gases de la combustión.

- Central nuclear: es un tipo de central en la que el agua se calienta a alta presión mediante el calor liberado en la fisión nuclear. Ese vapor a presión, al igual que los casos anteriores, moverá una turbina conectada a un generador eléctrico.
- Central de biomasa: estas instalaciones tienen el mismo funcionamiento que las centrales de combustibles fósiles. La diferencia fundamental está en el tipo de combustible empleado. Estas centrales usan biomasa, un combustible de origen renovable.
- Central hidráulica: este tipo de instalaciones suele estar situada en embalses donde se acumula el agua. La electricidad se obtiene mediante el giro de las turbinas, conectadas a un generador, que se mueven mediante el agua almacenada que cae desde gran altura.
- Parque eólico: estas centrales están formadas por aerogeneradores. Estos molinos eólicos poseen unas aspas, que sería equivalente a las turbinas de las otras centrales, y un generador. La electricidad se genera orientando las palas al viento para que éste las mueva.
- Huerto solar: es el nombre que recibe las centrales que generan la electricidad a partir de la radiación solar. Este caso

es el único que no emplea la energía mecánica, sino que genera la electricidad a través de una serie de reacciones químicas que se producen en los paneles solares.

- Central geotérmica: emplea el calor del interior de la tierra para calentar agua a alta temperatura y presión, la cual se encarga de mover una serie de turbinas conectadas a un generador. Estas centrales se instalan en zonas donde el suelo alcanza altas temperaturas a bajas profundidades.
- Central mareomotriz: estas instalaciones están todavía en investigación para mejorar su eficiencia, aunque existen ya algunas situadas en océanos con grandes mareas como el océano Atlántico. El funcionamiento se basa en utilizar las corrientes de las mareas para movilizar una turbina conectada a un generador.
- Parque undimotriz: esta central, aun todavía en fase de desarrollo muy temprana, genera la electricidad utilizando el movimiento de las olas de mar para mover las turbinas.

(ENDESA, 2012) Podemos concluir que la generación de la electricidad es un proceso muy variado dependiendo de la energía primaria utilizada y que aunque las centrales de carbón, gasóleo, gas natural, nucleares e hidráulicas son las más extendidas en todo el planeta, actualmente, se está potenciando especialmente el uso de energía primaria renovable para disminuir la contribución de la generación de electricidad al cambio climático.”

2.3.2. Estudio de Mercado Eléctrico

A. Pronóstico de Población

Para el pronóstico de vivienda utilizaremos la función exponencial.

$$P = P_0(1 + i)^n$$

Dónde:

P_0 = Población actual.

i = tasa de crecimiento

n = número de años

B. Pronóstico de Número de Viviendas

$$PNV = NV(1 + i)^n$$

Dónde:

NV = Número de viviendas actual

i = Taza de crecimiento

n = Número de años

C. Índice de Habitantes por Vivienda

$$IHV = \frac{POBLACION}{NUMERO DE VIVIENDAS}$$

D. Coeficiente de Electrificación

$$COEF. ELECT = (N^{\circ}V. ELECT.) / (N^{\circ} V. TOTALES)$$

E. Abonados Totales

$$AT = (N^{\circ} DE VIVIENDAS) *(COEF. DE ELECT.)$$

F. Consumo Unitario de Abonados Domésticos

El Consumo Unitario Doméstico lo calculamos considerando los posibles artefactos con que contarán las viviendas y el tiempo de uso que se les dará.

G. Pronóstico de la Pérdidas de Energía

$$Pe = CT \times (1 + Pd)$$

CT = consumo total

Pd = porcentaje de pérdida

H. Energía Total

ENERG. ING. SIST = (CONS. TOTAL ENERGIA + PERDIDAS)

I. Máxima Demanda

$$MD = (CT) / FC (8760)$$

2.3.3. Energía solar

A. El sol

Escobar (2013, p. 15), menciona que la fuente de energía inagotable que ha permitido la existencia de la vida en este planeta es el Sol. Con un diámetro aproximado de 1.400.000 km (109 veces el de la Tierra) y una masa de $1,99 \cdot 10^{30}$ kg (332.000 veces la de la Tierra) Orbegozo y otros (2010, p. 10), es un inmenso horno de fusión termonuclear que transforma, cada segundo, 600.000.000 de toneladas de hidrógeno molecular en 596.000.000 de toneladas de helio para proporcionar 4.000.000 de toneladas equivalentes de energía (unos $3,7 \cdot 10^{23}$ kW). Así, aunque cada día pierde

345.000.000.000 de toneladas de gases, el Sol sólo ha perdido un 0,03 % de su masa original y le resta todavía una vida calculada teórica que puede ir de los cinco a los siete mil millones de años. La temperatura puede estar entre los 10 y los 40 millones de grados Kelvin, concluyendo que sin la presencia del sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años.

B. La Energía Solar

Arenas y Zapata (2011, p. 18), definen que la energía solar es la fuente principal de vida en el planeta. Dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El sol, nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables (la energía mareomotriz, energía de la biomasa, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y de la energía solar). Según Luna (2009, p.18), resume que la energía solar no existe desde ahora si retrocedemos en la historia desde 1872

en el soleado desierto de Atacama, Chile se construyó una planta de destilación solar de 5000 m² de superficie para transformar agua salada en dulce, que se emplearía en una mina de nitrato. Láminas de vidrio inclinado, cubrían canales de agua salada, transmitiendo los rayos del sol y reducían la radiación infrarroja perdida, calentando de esta manera el agua. El vapor de agua se condensa en la cara interna del vidrio, era enfriado por el aire exterior y una vez más condensado se vertía en unos canalones. Esta planta funciono eficazmente durante 40 años hasta que la mina se agotó, esta es la notable aplicación en gran escala de energía solar que produjo hasta 23000 litros de agua fresca por día.

C. Hora Solar Pico

Según Barcena y otros (2014, p. 13), la energía solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como irradiación y se mide en unidades de W/m². La insolación también puede expresarse en términos de horas solares pico. La hora solar pico equivale a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de 1 000 W/m². En Morelos hay momentos en un día soleado en que fácilmente se recibe 800 W/m²

Horn (2006, p. 39), usar la radiación solar para calentar tiene dos grandes ventajas: los sistemas normales se pueden fabricar fácilmente de materiales comunes y convertir la radiación solar en calor es muy eficiente.

Según Arenas y Zapata (2011, p. 20), las fuentes naturales de energía han sido desaprovechadas por años. Pero la gente se está dando cuenta del potencial tan grande que tienen las tecnologías diseñadas y aplicadas al aprovechamiento de la energía solar ya que dicha energía es una fuente fundamental para el presente y futuro, ya que puede ayudar a mejorar la eficiencia energética y a reducir la contaminación ambiental.

La tierra es constantemente abastecida de energía solar, que es usada por las plantas para crecer y desde hace algún tiempo por las personas para generar electricidad entre muchos otros usos.

2.3.4. Distribución de Weibull

En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre de Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951, aunque fue descubierta inicialmente por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas.

La función de densidad de una variable aleatoria con la distribución de Weibull x es:

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Donde $k > 0$ es el parámetro de forma y $\lambda > 0$ es el parámetro de escala de la distribución.

La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

Un valor $k < 1$ indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.

Cuando $k = 1$, la tasa de fallos es constante en el tiempo.

Un valor $k > 1$ indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

2.3.5. Sistema Fotovoltaico

Cornejo (2013, p. 5), define que el sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de distribución, es una forma de incrementar la electricidad en nuestro medio influyendo en el desarrollo y mejora de la calidad de vida de las personas, porque genera una energía limpia que no produce gases de efecto invernadero. En este tipo de instalaciones toda la energía que se produce se vierte a la red eléctrica general, vendiéndose a la correspondiente compañía eléctrica distribuidora. Su instalación en otros países está motivada, es el caso de España donde existen financiaciones y ayudas tanto a nivel nacional como a nivel regional. También existe un desarrollo legal y técnico casi completo, es el caso del REAL DECRETO 1578/2008, de 26 de septiembre, (ACTUALIZADO CON EL REAL DECRETO 2/2013 DE 1º DE FEBRERO), donde se establece la retribución en la actividad eléctrica de las instalaciones fotovoltaicas, los periodos de prescripción y las convocatorias anuales de las mismas.

Arenas y Zapata (2011, p. 19), concluyen que la actividad solar influye en la generación de muchos fenómenos en nuestro planeta (las manchas solares están relacionadas con alteraciones climáticas terrestres); el incremento de actividad solar provoca alteraciones del campo magnético terrestre, las ráfagas o llamaradas solares son responsables de las tormentas geomagnéticas las cuales producen apagones en plantas eléctricas, interferencia en la comunicación vía satélite y aparición del fenómeno luminoso o aurora boreal o austral.

A. Función

Es la de generar energía a través de efectos fotoeléctricos que proporciona la luz solar en forma de radiación y son captados por celdas a las cuales se les puede manipular la tensión y corriente eléctrica. (Cornejo, 2010).

Arenas y Zapata (2011, p. 29), las celdas fotovoltaicas estarán constituidas de diodos, en los cuales se generan saltos electrónicos provocados por las radiaciones emitidas por el sol produciéndose un efecto fotoeléctrico. El agrupamiento de varios fotodiodos genera mayores voltajes, los que se pueden emplear en dispositivos electrónicos.

El sistema está conformado por:

Módulo fotovoltaico (generador fotovoltaico): son una serie de, fotodiodos los cuales se pueden conectar en serie o en paralelo. Esta similitud de conexión (serie o paralelo)

permite determinar rangos de voltaje y corriente necesario para un fin (Arenas y Zapata, 2011, p. 31).

Baterías: son acumuladores de energía, los cuales se deberá tener en cuenta la capacidad y potencia que deban de tener para que se de una utilidad acorde a los requerimientos solicitados por el poblador y/o el lugar donde se dea hacer la instalación de la celda fotovoltaica (Arenas y Zapata, 2011, p. 32).

Inversor: es el acondicionador o comúnmente conocido como convertidor, encargado de transformar la corriente continua producida por la celda fotovoltaica adaptando a las características de las cargas a alimentar (Arenas y Zapata, 2011, p. 32).

Regulador de carga: es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería. Controla el proceso de carga evitando que, con la batería a plena capacidad, los módulos fotovoltaicos sigan inyectando carga a la misma. Se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico. Controla el proceso de descarga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo. Esto se lleva a cabo desconectando la batería de los circuitos de consumo, también es una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación fotovoltaica. Puede proporcionar datos de la tensión,

intensidad, estado de carga de las baterías, otros (Arenas y Zapata, 2011, p. 33).

Elementos de protección del circuito: son elementos como diodos de bloqueo, interruptores para desconexión, tierra, etc., dispuestos entre diferentes partes del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de falla o situaciones de sobrecarga.

En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass. Los diodos de bloqueo impiden que la batería se descargue. (Pérez, 2009, p. 72)

Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

Los diodos de bypass, protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales. Deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie. Generalmente no son necesarios en sistemas que funcionan a 24 V o menos.

B. Ventajas

Uso de energía renovable, es altamente confiable, limpia, inagotable y de acceso libre.

Es aceptado internacionalmente debido a la disminución de gases que afectan la capa de ozono y el incremento del efecto invernadero para la obtención de la energía.

C. Desventajas

Es relativamente costoso. En lugares con poca incidencia de los rayos solares se deberá contar con un generador de energía adicional u otros. Actualmente no existen organizaciones en el Perú capaz de proporcionar inversión a proyectos de este tipo.

La Eficiencia Energética. - “Se puede definir como el conjunto de acciones o medidas que permiten optimizar la energía destinada a producir un bien y/o servicio” (Pérez, 2009, p. 20).

D. Energía Generada

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas propias del sistema FV}$$

Los requerimientos del usuario son el punto de partida de todo ciclo. Junto con las condiciones climáticas, puede diseñarse exactamente para satisfacer las necesidades del usuario a los más bajos costos, (Orbegozo y otros 2010, p. 27).

Es aquella energía que se obtiene mediante transformación de la energía que emite el sol en electricidad. La enorme cantidad de energía que se produce en el sol es el resultado de la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio. La mayor parte de esta energía escapa del sol como radiación

electromagnética y es transmitida a través del espacio en forma de ondas. Alrededor del 9% de la radiación solar se encuentra en la región ultravioleta (UV) del espectro electromagnético, 46% en la región visible y 45% en la región infrarroja (IR). La energía solar puede ser transformada de dos maneras en función de la parte del espectro electromagnético que se utilice, obteniéndose así Energía solar térmica o Energía solar fotovoltaica.

E. Central Energía Fotovoltaica

Es la agrupación de varias mini centrales solares los cuales en su conjunto proporcionan una energía que se administra y se distribuye de manera coherente y razonable (Arenas y Zapata, 2011, p. 30).

Es muy importante concentrar la energía y derivar la radiación solar hasta zonas claves, esto se puede realizar con ayuda de espejos o con geometrías parabólicas de lentes óptimos (Arenas y Zapata, 2011, p. 49).

2.3.6. Dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos.

“El dimensionamiento del sistema FV consiste en establecer su capacidad para indemnizar la demanda de energía de los usuarios” (Orbegoso y Sagahon, 2012 p. 16).

En las zonas rurales y aisladas, donde no cuentan con sistemas auxiliares, el sistema FV debe tener una alta confiabilidad. Porque un sistema es un conjunto de componentes, cada uno de ellos debe ser tan confiable, que no ponga en peligro al sistema. El

método de dimensionamiento se basa en el balance de energía.
(Orbegoso y Sagahon, 2012 p. 16).

Energía generada = Energía consumida + Pérdidas propias del sistema FV

Los sistemas fotovoltaicos están conformados de los siguientes componentes:

A. El generador fotovoltaico o campo de paneles: Es el elemento captador de energía, que recoge la radiación solar y la transforma en energía eléctrica. Está formado por un conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, que deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

Cálculo de los Módulos Fotovoltaicos

Los paneles serán del tipo policristalino, esto se debe a que está Comprobado que actualmente son los más económicos.

Cálculo de la Energía a Distribuir en Corriente Alterna ($L_{md, AC}$)

$$L_{md, AC} = \frac{ET}{R}$$

R

Donde:

ET: Energía Diaria a Distribuir

R: Pérdidas de Energía captada

$$R = 1 - [(1 - K_b - K_c - K_v) K_a N/PD] - K_b - K_c - K_v$$

Dónde:

K_b = Pérdida por rendimiento en la batería

K_c = Pérdida en el inversor

Kv = Pérdidas diversas

Ka = Pérdidas por auto descarga

PD= Profundidad de descarga de la batería

N = Número de días de autonomía

Cálculo de la Energía Total a Distribuir (L_{md})

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{con}}$$

Donde:

$L_{md, DC}$: Energía Real a Distribuir en DC

$L_{md, AC}$: Energía Real a Distribuir en AC

η_{inv} : Eficiencia del Inversor

η_{bat} : Eficiencia de la Batería

η_{con} : Eficiencia de la Conducción

Cálculo del Número de Módulos ($N_{mód}$)

$$N_{mód} = \frac{L_{md}}{P_{MP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR}$$

Dónde:

L_{med} : Energía Real a Distribuir

P_{MP} : Potencia de cada Módulo

HPS_{CRIT} : Hora Pico Solar Crítica

PR : Eficiencia de cada Panel

Conexión de los paneles solares

Conexión serie

$$N_S = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}}$$

Dónde:

N_S : Numero de módulos en serie.

V_{BAT} : Tensión nominal del sistema

V_{PANEL} : Tensión nominal de los módulos =

Conexión paralela

$$N_P = \frac{N_T}{N_S}$$

Dónde:

N_S : Número de módulos en serie.

N_T : Número total de paneles.

El número total de paneles se obtiene de multiplicar el número de paneles en serie por el número de paneles en paralelo.

Número Total de Paneles = $N_S \times N_P$

B. Selección del Regulador de Carga.

Corriente de entrada al Regulador

$$I_{entrada} = 1,25 \cdot I_{MOD,SC} \cdot N_P$$

$I_{MOD,SC}$ = Corriente del modulo
 N_P = Número de Paneles

Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al Regulador:
1,25

$$I_{salida} = \frac{1,25 \cdot (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}})}{V_{BAT}}$$

Corriente de salida del Regulador

$$I_{salida} = \frac{1,25 \cdot (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}})}{V_{BAT}}$$

η_{inv} = Eficiencia del Inversor

V_{BAT} = Voltaje de la Batería

El número de reguladores necesarios para instalar vendrá dado por la siguiente expresión:

$$N_{reguladores} = I_{Re} / I_{MÁX,e}$$

Dónde:

$I_{max, e}$ = Intensidad máxima de entrada del regulador

C. Cálculo del Sistema de Acumulación

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria (C_{nd}):

- C_n : Capacidad nominal del banco de baterías. (Ah)
- L_{md} : Energía media diario
- N : Periodo de autonomía (días)
- V_{bat} : Voltaje de la batería: 12 V
- $PD_{max,e}$: Profundidad de Descarga Máxima Estacional :
- PD_{max} : Profundidad de Descarga Máxima :

Consumo de energía medio en Ah/día:

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{BAT}}$$

$$C_{NBAT} = \frac{Q_{Ah}}{PD_{MÁX,d}}$$

Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional (C_{ne}):

$$C_{NBAT} = \frac{Q_{Ah} \cdot \eta}{PD_{MÁX,e}}$$

$$\text{CANTIDAD DE BATERIAS} = \frac{Cn}{Ah}$$

D. Selección del inversor

La potencia del inversor debe ser mayor a 1,2 veces de la potencia instalada de los paneles solares que demanda.

$$P_{inv} = 1,2 * POT_{max}$$

Cálculo y selección de conductores eléctricos

Caída de Tensión: nos permite calcular la cantidad de tensión se pierde en diferentes longitudes, según las normas del IDEA es de 1,15%.

Sección del cable conductor en mm^2

$$S = 2 * \frac{L * I}{\Delta V * K}$$

Dónde:

$I = N_{panel} * I_{sc}$: Corriente que pasa por el conductor.

$\Delta V = \Delta V\% \times V_{MP}$: Caída de tensión en conductor.

K : Conductividad 56 m/ Ohm. mm^2

2.3.7. Dimensionamiento de los Aerogeneradores

A. Generalidades.

Entre las fuentes energéticas renovables, el viento se considera un recurso disponible, ecológico y sostenible. La energía del viento se debe al calentamiento diferencial de la atmósfera por el sol y a las irregularidades de la superficie terrestre, aunque sólo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía cinética del viento.

Los aerogeneradores o turbinas de viento como también se les conocen, son máquinas que se encargan de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica y están considerados como energías renovables. Su principio de funcionamiento se basa en aprovechar el flujo del viento, la energía del viento se debe al calentamiento diferencial de la atmósfera por el sol y a las irregularidades de la superficie terrestre, aunque sólo una pequeña parte de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía cinética del viento para hacer girar las palas del rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Los sistemas eólicos se pueden dividir en dos categorías:

Sistemas Interconectados: diseñados para estar permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En caso de turbulencias o vientos muy bajos, en los que el aerogenerador no es capaz de producir energía para cubrir la demanda de electricidad, la red es la encargada de proporcionar la energía necesaria. En el caso contrario, si durante las horas de vientos mantenidos de gran velocidad se produce más energía eléctrica de la que se requiere para suplir la carga, el exceso puede ser transferido al sistema interconectado.

Sistemas Aislados: son utilizados normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos, para los cuales no resulta rentable pagar el costo de la conexión a la red eléctrica y/o para los que sería muy difícil conectarse a la red eléctrica debido a su posición poco accesible. El instalar un aerogenerador en zonas remotas elimina el problema del abastecimiento de combustible, el ruido del generador diésel y ofrece ventajas económicas y medioambientales.

Existen aerogeneradores de distintos tipos y modelos, clasificados bajo distintos criterios, como se muestra:

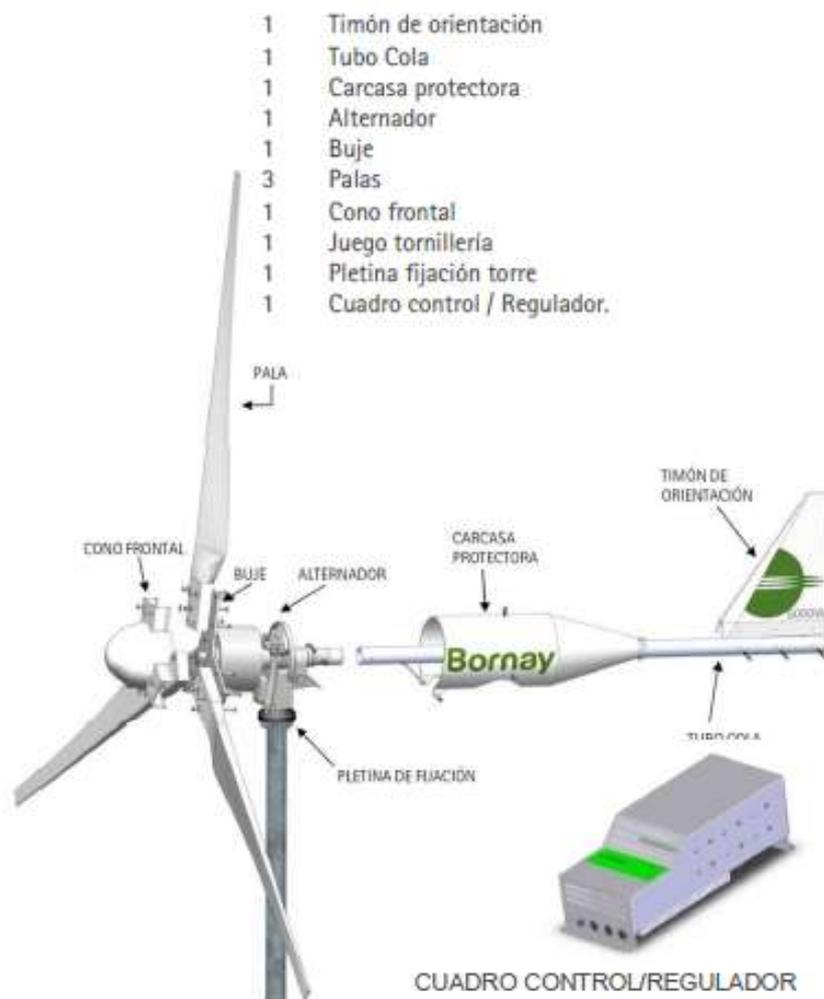
Tabla 1: Criterios de clasificación y tipos de aerogeneradores

Según el eje de trabajo	Aerogeneradores de eje vertical
	Aerogeneradores de eje horizontal
Según el número de palas	Aerogeneradores Multipala
	Aerogeneradores rápidos
Según la posición del rotor en la máquina	Aerogeneradores de barlovento
	Aerogeneradores de sotavento
Según su potencia	Microaerogeneradores
	Pequeños aerogeneradores
	Grandes aerogeneradores
	Aerogeneradores multimegav

Fuente: Jorge Servan Socola, "Análisis Técnico - Económico de un Sistema Híbrido de Baja Potencia Eólico Solar Conectado a la Red", Universidad de Piura, Febrero 2014.

En la actualidad el modelo de aerogenerador más usado se basa en un diseño danés de eje horizontal y se compone de un generador eléctrico montado sobre una torre a gran altura y conectado a un rotor o hélices movidas por el viento y que transmiten al generador su movimiento rotacional para la producción de electricidad. Estas turbinas aprovechan la energía cinética del flujo de viento que atraviesa el área que barren las hélices (palas) del rotor. Los aerogeneradores de gran tamaño usan una caja reductora para igualar la velocidad del movimiento de las hélices a la velocidad requerida por el generador para producir potencia; aunque para aerogeneradores de pequeñas dimensiones (1 kW) pueden encontrarse algunos modelos que no usan este tipo de caja reductora, como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1: Componentes y parámetros de un aerogenerador



Fuente: Aerogenerador Bornay 6000, Manual de usuario.

Los componentes o partes principales que conforman a un aerogenerador, se detallan en la figura 1, puede darse el caso que algún equipo no necesite alguno de estos componentes, y esto dependerá del tipo y nivel de potencia de cada modelo de aerogenerador.

B. Parámetros característicos de un aerogenerador

- Velocidad de arranque: Es la velocidad del viento para la cual el generador comienza a suministrar potencia útil.

En aerogeneradores rápidos tripala de eje horizontal acostumbra a ser del orden de unos 3 a 4 m/s. Por debajo de estos umbrales, el generador no produce potencia eléctrica.

- Velocidad nominal: Es la velocidad del viento para la que se alcanza la potencia nominal del aerogenerador. En rotores tripala de eje horizontal suele estar comprendida entre 12 y 15 m/s.
- Velocidad de parada: Es la velocidad del viento a la cual el rotor se detiene por la acción de los sistemas de regulación y control, para evitar el riesgo de sufrir algún daño dada la elevada velocidad del viento. En rotores tripala, esta velocidad se sitúa en el rango de 25 a 30 m/s.
- Velocidad de supervivencia: Es la velocidad del viento por encima de la cual el aerogenerador puede dañarse a pesar de estar parado. Acostumbra a situarse en el entorno de los 70 m/s.

Tabla 2: Clasificación del Viento de acuerdo a su velocidad

FUERZA	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Denominación
0	0 - 0.5	0 - 1	Calma
1	0.6 - 1.7	2 - 6	Ventolina
2	1.8 - 3.3	7 - 12	Suave
3	3.4 - 5.2	13 - 18	Leve
4	5.3 - 7.4	19 - 26	Moderado
5	5.7 - 9.8	27 - 35	Regular
6	9.9 - 10.4	36 - 44	Fuerte
7	12.5 - 15.2	45 - 54	Muy fuerte
8	15.3 - 18.2	55 - 65	Temporal
9	18.3 - 21.5	66 - 77	Temporal fuerte
10	21.6 - 25.1	78 - 90	Temporal muy fuerte *
11	25.2 - 29	91 - 104	Tempestad
12	Más de 29	Más de 104	Huracán

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, "Atlas Eólico del Perú"; Lima Enero 2008

- Curva de potencia del aerogenerador:

La curva de potencia de un aerogenerador indica la potencia eléctrica de salida en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Las curvas de potencia se obtienen a partir del atlas Eólico del Perú. Si se quiere tener medidas mucho más reales usaríamos un anemómetro, pero debido a que no contamos con el respaldo económico suficiente tomaremos estas medidas. Además debemos tomar en cuenta que si la velocidad del viento no está variando demasiado, rápidamente, pueden usarse las medidas de la velocidad del viento realizadas con el anemómetro y leer la

potencia eléctrica que suministra el aerogenerador simultáneamente para así hacer una correspondencia entre las diferentes velocidades del viento y la potencia eléctrica producida.

La correspondencia de la potencia de salida con la velocidad de incidencia del viento en las palas del aerogenerador no es un valor exacto, si se graficaran todos los puntos experimentales se obtendría una gran nube de puntos. La razón es que en la práctica la velocidad del viento es muy variable, y resulta imposible medir exactamente la columna de viento que atraviesa el área de barrido de las palas del aerogenerador. La solución para esta incertidumbre en la medición es tomar un promedio de las diferentes medidas para cada velocidad del viento, y graficar esos promedios.

Nota: Las curvas de potencia están basadas en medidas realizadas en zonas de poca turbulencia y con el viento en dirección frontal a la dirección del viento. Por lo tanto, puede ser difícil reproducir exactamente la curva en una localización cualquiera dada.

C. Máquinas eléctricas usadas en aerogeneradores.

Turbinas eólicas con generadores sincrónicos:

Las turbinas eólicas que utilizan generadores sincrónicos de imán permanente tienen un gran inconveniente debido a que los imanes son bastante costosos y tienden a

desmagnetizarse. A pesar de esta desventaja, son bastante usados en aerogeneradores de baja potencia. El alternador de estos aerogeneradores de imán permanente convierte la energía rotacional del rotor en energía eléctrica y está especialmente diseñado para cada modelo por separado. Específicamente el alternador del aerogenerador de 1 kW Bergy XL.1 está diseñado para producir potencia a bajas velocidades de viento incidente, lo cual elimina la necesidad de tener una caja multiplicadora en la góndola del aerogenerador. La salida eléctrica que sale del alternador es alterna y trifásica, pero es rectificadora a corriente continua dentro de la góndola. Debido al uso de imanes permanentes, el alternador generará voltaje siempre que el rotor esté girando.

La mayoría de las turbinas eólicas usan generadores de 4 ó 6 polos. La razón por la que se utilizan estos generadores de velocidad relativamente alta es para lograr minimizar los tamaños y los costos.

La fuerza máxima o par torsor que un generador puede manejar depende del volumen del rotor. Para una potencia de salida dada, se debe hacer la elección entre un costoso generador de baja velocidad y gran tamaño, o un generador más pequeño y económico de alta velocidad. La elección se debe hacer a partir de un estudio completo del proyecto, en donde se deben incluir los costos de la inversión inicial,

operación y mantenimiento, relacionados con la utilidad en el tiempo que el mismo generará. No es una elección fácil y muchas veces está limitada por los modelos disponibles en el mercado.

Turbinas eólicas con generadores asincrónicos (o de inducción):

La mayoría de turbinas eólicas del mundo utilizan un generador asíncrono trifásico (de jaula de ardilla), también conocido como generador de inducción, para generar corriente alterna. Una de las razones para preferir este tipo de generador es que es muy fiable y comparativamente no suele resultar caro. Este generador también tiene propiedades mecánicas que lo hacen especialmente útil en turbinas eólicas.

La velocidad de un generador asíncrono variará con la fuerza de giro (momento, o par torsor) que se le aplique. En la práctica, la diferencia entre la velocidad de rotación a potencia máxima y en vacío es muy pequeña, alrededor de uno por ciento (1 %). Esta diferencia expresada en porcentaje de la velocidad sincrónica es el llamado deslizamiento del generador. El hecho de que el generador aumente o disminuya ligeramente su velocidad si el par torsor varía es una propiedad mecánica muy útil. Esto significa que habrá menor rotura y desgaste en la caja multiplicadora (menor par torsor máximo). Esta es una de las

razones más importantes para la utilización de generadores asíncronos, en lugar de generadores sincrónicos, en aerogeneradores directamente conectados a la red eléctrica. Se puede hacer funcionar un generador asíncrono de forma autónoma si se le provee de condensadores que le suministren la corriente magnetizante necesaria. Es preciso que haya algo de remanencia en el hierro del rotor, cuando se ponga en marcha la turbina. Si el material magnético del rotor nunca ha sido magnetizado, se requerirá de una fuente de energía (una batería y electrónica de potencia, o un pequeño generador diesel) para arrancar el sistema. Luego de esa primera vez, bastará con unos capacitores para generar la corriente de campo necesaria.

D. Regulación del voltaje de salida.

Ser capaz de hacer funcionar una turbina a velocidad variable supone muchas ventajas. Una de las razones por las que se puede querer hacer funcionar la turbina a velocidad variable es que el control del ángulo de paso (control del par torsor para evitar sobrecargas en la caja multiplicadora y en el generador, variando el ángulo de paso de las palas) es un proceso mecánico. Lo cual significa que el tiempo de reacción del mecanismo de cambio del ángulo de paso viene a ser un factor crítico en el diseño de turbinas. Si se tiene un generador de deslizamiento variable, se puede empezar a aumentar el deslizamiento una vez que esté cerca de la

potencia nominal de la turbina. La estrategia de control aplicada en un diseño ampliamente utilizado en turbinas danesas (de gran tamaño) es la de hacer funcionar el generador a la mitad de su deslizamiento máximo cuando la turbina está funcionando cerca de su potencia nominal. Cuando sopla una ráfaga de viento, las señales del mecanismo de control hacen que el deslizamiento aumente para permitir que el rotor gire un poco más rápidamente, hasta que el mecanismo de cambio del ángulo de paso puede hacer frente a la situación, girando las palas más hacia afuera del viento. Una vez que el mecanismo de cambio del paso ha hecho su trabajo, el deslizamiento disminuye de nuevo. En el caso de que la velocidad del viento caiga repentinamente, el mecanismo aplicado es el inverso. Aunque parezca un mecanismo sencillo, poner en funcionamiento este sistema de control eficientemente resulta un reto técnico muy complejo.

Es cierto que operar el generador con un mayor deslizamiento producirá mayores pérdidas calóricas, lo cual se traduce en una operación menos eficiente. Sin embargo, esto no constituye un problema en sí mismo, ya que el exceso de energía puede ser usado para orientar las palas del rotor fuera del viento, al cambiar el ángulo de paso.

Uno de los beneficios reales de utilizar esta estrategia de control es la obtención de una mejora en la calidad del

suministro eléctrico, dado que las variaciones en la demanda de la carga eléctrica conectada, son absorbidas o compensadas variando el deslizamiento del generador, y almacenando o liberando parte de la energía en forma de energía rotacional en el rotor de la turbina eólica. En turbinas de menor potencia estas estrategias de control no son usadas, generalmente usan el pliegue de su cola para evadir grandes ráfagas de viento, si esta estrategia no funciona el rotor se desacopla temporalmente de las hélices.

E. Generación de corriente alterna (AC) a frecuencia variable:

La mayoría de los aerogeneradores funcionan a una velocidad casi constante con conexión directa a red. Sin embargo, con conexión indirecta a red, el generador de la turbina eólica funciona en su propia red de corriente alterna. Esta red está controlada electrónicamente (utilizando un inversor), por lo que puede variarse la frecuencia de la corriente alterna en el estator del generador. De esta forma se puede hacer funcionar la turbina a una velocidad de giro variable. Así pues, la turbina generará corriente alterna con una frecuencia proporcional a la velocidad de giro del rotor.

Conversión a corriente continua (DC):

La corriente alterna de frecuencia variable no puede ser utilizada directamente en la red eléctrica pública, debe ser rectificadas (a DC). La conversión de corriente alterna de frecuencia variable a corriente continua puede hacerse utilizando tiristores o grandes transistores de potencia.

Conversión a corriente alterna de frecuencia fija:

Posteriormente a la conversión a DC, se puede convertir la corriente continua a corriente alterna (utilizando un inversor) de exactamente la misma frecuencia que la de la red eléctrica a la que se desea conectar el equipo. Esta conversión de corriente alterna en el inversor también puede hacerse utilizando tiristores o transistores.

El producto de las imperfecciones de la conversión DC-AC se refleja en un incremento en la cantidad de armónicos en la nueva señal. Los armónicos son picos o ruidos a diferente frecuencia que la frecuencia fundamental. Un estudio de descomposición en series de Fourier puede ayudar a determinar la pureza de la onda.

Ventajas y desventajas de la conexión indirecta a la red:

La principal ventaja es que permite que el rotor gire más rápidamente durante ráfagas de viento, y almacenando así parte del exceso de energía en forma de energía rotacional hasta que la ráfaga haya terminado, al mismo tiempo que con

la electrónica de potencia se puede controlar la potencia reactiva.

La desventaja limitante de la conexión indirecta a red es el costo debido a la necesidad de instalar un rectificador y un inversor.

Otras desventajas son la pérdida de energía en el proceso de conversión CA-CC-CA, y el hecho de que la electrónica de potencia puede introducir distorsión armónica de la corriente alterna en la red eléctrica y, por tanto, reducir la calidad de potencia.

Caja multiplicadora.

La potencia de la rotación del rotor de la turbina eólica es transferida al generador a través del tren de potencia, es decir, a través del eje principal, la caja multiplicadora y el eje de alta velocidad.

Si se usara un generador ordinario para transformar energía eólica en energía eléctrica, directamente conectado a una red trifásica de CA (corriente alterna) a 60 Hz, con dos, cuatro o seis polos, se tendría una turbina de velocidad extremadamente alta, de entre 1.000 y 3.000 revoluciones por minuto r.p.m. Con un rotor de 43 metros de diámetro, esto implicaría una velocidad en el extremo del rotor de más de dos veces la velocidad del sonido, así es que se debería abandonar esta opción. Otra posibilidad es construir un generador de CA lento con muchos polos. Pero si se quisiera

conectar el generador directamente a la red, se necesitaría un generador de 200 polos (es decir, 300 imanes) para conseguir una velocidad de rotación razonable de 30 r.p.m. Además, existe otro problema, la masa del rotor del generador tiene que ser aproximadamente proporcional a la cantidad de par torsor (momento, o fuerza de giro) que tiene que manejar. Así que, en cualquier caso, un generador accionado directamente será muy pesado y caro. La solución práctica, es la de utilizar un multiplicador con el cual se hace la conversión entre la potencia de alto par torsor, que se obtiene del rotor de la turbina eólica girando lentamente, y la potencia de bajo par torsor, a alta velocidad, que se utiliza en el generador.

La caja multiplicadora de la turbina eólica no cambia las velocidades. Normalmente, suele tener una única relación de multiplicación entre la rotación del rotor y el generador. Para una máquina de 600 ó 750 kW, la relación de multiplicación suele ser aproximadamente de (1:50).

Existen un mecanismo de protección que permite la parada del rotor, este mecanismo normalmente en los aerogeneradores tiene un dispositivo de freno de emergencia de disco accionado hidráulicamente.

Control.

El controlador compara continuamente las lecturas de las medidas en toda la turbina eólica, para asegurar que tanto los

sensores como los propios ordenadores funcionan correctamente. Así también, es capaz de comunicarse con el operador de la turbina eólica mediante un enlace de comunicación, como, por ejemplo, enviando alarmas o solicitudes de servicio a través del teléfono o de un enlace radiofónico. También es posible, en el caso de los grandes aerogeneradores, llamar a la turbina eólica para que recoja estadísticas, y revise su estado actual. En parques eólicos, normalmente una de las turbinas estará equipada con un computador, desde el que es posible controlar y recoger datos del resto de los aerogeneradores del parque. Este computador será llamado a través de una línea telefónica o un enlace radiofónico.

Normalmente, suele haber un controlador en la parte inferior de la torre y otro en la góndola. En los modelos recientes de aerogeneradores, la comunicación entre controladores suele hacerse utilizando fibra óptica. En algunos modelos recientes, hay un tercer controlador situado en el buje del rotor.

En una turbina eólica moderna es posible monitorizar o fijar alrededor de entre 100 y 500 valores de parámetros. Por ejemplo, el controlador puede contrastar la velocidad de rotación del rotor, el generador, su voltaje y corriente. También pueden realizarse medidas de la temperatura del aire exterior, la temperatura en los armarios electrónicos, la

temperatura del aceite en el multiplicador, la temperatura de los devanados del generador, la temperatura de los cojinetes del multiplicador, la presión hidráulica, el ángulo de paso de cada pala del rotor (en máquinas de regulación por cambio del ángulo de paso o de regulación activa por pérdida aerodinámica), el ángulo de orientación (contando el número de dientes en la corona de orientación), el número de vueltas en los cables de alimentación, la dirección del viento, la velocidad del viento del anemómetro, el tamaño y la frecuencia de las vibraciones en la góndola y en las palas del rotor, el espesor de las zapatas del freno, si la puerta de la torre está abierta o cerrada (sistema de alarma).

Lamentablemente en aerogeneradores de menor escala (<1kW) el sistema de control es un poco más sencillo y no cuenta con el dominio de tantos parámetros, esto se debe a que no se justifica la inversión de este nivel tecnológico para una producción pequeña de potencia. En aerogeneradores pequeños, apenas se controla la velocidad de acople y desacople de las hélices según la velocidad máxima y mínima estipulada por el fabricante para producir potencia de forma segura.

Muchos de los secretos de las empresas fabricantes de aerogeneradores se encuentran en la forma en que el controlador interacciona con los componentes de la turbina eólica. Las mejores estrategias de control son responsables

de una parte importante del crecimiento de la productividad de los aerogeneradores en los últimos años.

Una estrategia interesante seguida por algunos fabricantes es la de adaptar la estrategia operacional al clima eólico local. De esta forma, se hace posible, por ejemplo, minimizar el desgaste y la rotura de la máquina durante los inesperados cambios en períodos de clima tormentoso.

Mantenimiento.

El mantenimiento que requiere un aerogenerador es bajo (comparado con el mantenimiento de una moto generadora) a pesar de la cantidad de piezas móviles que contiene. Los aerogeneradores de hoy en día requieren aproximadamente 2 visitas de mantenimiento anuales, aunque se recomienda una visita semanal durante los 2 primeros meses luego de la instalación para chequear que los niveles de potencia generados ante las variaciones en las velocidades de los vientos durante las distintas horas del día, estén bajo los márgenes del estudio de factibilidad. En estas primeras visitas también se estudia el funcionamiento de algunos controladores, por ejemplo, se hacen pequeños ajustes del controlador que, ante muy bajos o muy altos niveles de velocidad de vientos, desacopla la turbina eólica y luego ante una determinada velocidad de viento, la vuelve a acoplar.

El mantenimiento más costoso se hace cada 3 años aproximadamente para sustituir algunas piezas móviles que estén desgastadas.

Los aerogeneradores son máquinas eléctricas muy modernas y entre las principales prioridades de diseño se ha tomado muy en serio la durabilidad de los materiales y los mecanismos utilizados para el eficiente y duradero desempeño en la conversión de potencia. Hoy en día las empresas manufactureras de aerogeneradores venden sus productos con una esperanza de vida útil superior a los 20 años o 175.200 horas de uso, cifra que supera a la esperanza de vida útil de los moto - generadores, los cuales no superan los 3 años de funcionamiento (menos de 27.000 horas).

F. Determinación de la Capacidad del Aerogenerador

Para la determinación del aerogenerador debemos tener en cuenta:

- Velocidad mínima promedio de la zona
- Velocidad media del viento de la zona
- Velocidad máxima del viento de la zona
- Velocidad mínima promedio del aerogenerador
- Velocidad media del viento del aerogenerador
- Velocidad máxima del viento del aerogenerador
- Energía generada
- Costo del aerogenerador

2.3.8. Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica

El Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica se calcula con la siguiente formula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

t: Vida estimada de la instalación

i: Inversión Inicial

Mt: Costos de Operación y Mantenimiento

E: Energía generada durante la vida del sistema

r: Tasa de descuento

2.3.9. Evaluación económica

La evaluación se realiza teniendo en cuenta la parte económica de la elaboración o desarrollo de este proyecto de tal manera que se debe considerar en términos monetarios cuanto se va a invertir en el todo el proyecto y en cuanto tiempo puedo recuperar todo lo invertido, para tal motivo se aplicaran técnicas usadas en proyectos de inversión que se plantearan más adelante.

A. Viabilidad de un proyecto

El estudio de viabilidad consiste en algo tan obvio como ver si es posible ejecutar el proyecto y darle la continuidad que precisa. Para ello, habremos de tener en cuenta lo siguiente: recursos con los que contamos, recursos que necesitamos y nuestra capacidad para conseguirlos. Si contamos con los recursos, el proyecto es

viable y podemos ponerlo en marcha; si no hay recursos suficientes la decisión más inteligente es descartarlo o aplazarlo.

B. Costos fijos

Los Costos Fijos son aquellos cuyo monto total no se modifica de acuerdo con la actividad de producción. En otras palabras, se puede decir que los Costos Fijos varían con el tiempo más que con la actividad; es decir, se presentarán durante un periodo de tiempo aun cuando no haya alguna actividad de producción.

Por definición, los Costos Fijos no cambian durante un periodo específico. Por lo tanto, a diferencia de los variables, no dependen de la cantidad de bienes o servicios producidos durante el mismo periodo (Por lo menos dentro de un rango de producción). Por ejemplo, los pagos que se deben de realizar a los trabajadores fijos en la planta de generación y distribución de la central solar en caso que se desarrolle el proyecto.

C. Costos variables

Los costos variables son la parte de los costos totales que varían en el corto plazo según cambia la producción. Proviene de todos los pagos aplicados a los recursos que varían directamente en función del volumen de producción; es decir, el valor de las materias primas que se utilicen en función del número de productos, la energía consumida, los salarios pagados al personal de producción y en general cualquier tipo de gasto que igualmente puede variar en función de lo producido.

D. Costos totales

Los costos totales nada más que la suma de los costos fijos y variables.

E. Valor actual neto (VAN)

El VAN es un método de valoración de inversiones en la que partimos de la rentabilidad mínima que queremos obtener (i) Con esta rentabilidad mínima calcularemos el valor actualizado de los flujos de caja (diferencia entre cobros y pagos) de la operación. Si es mayor que el desembolso inicial la inversión es aceptable. La Inversión se considera viable cuando su VAN es mayor que cero. Si el VAN es menor que cero la inversión sería rechazada.

$$V.A.N. = -A + \sum_{s=1}^n \frac{Q_s}{(1+i)^s}$$

$$V.A.N. = -A + \frac{Q_1}{(1+i)^1} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

A = desembolso inicial

Q_s = Flujo de caja del momento

N = n° de años que dura la inversión

i = rentabilidad mínima que le exigimos a la inversión

F. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es aquella tasa de descuento para la cual el valor actualizado de los beneficios y costos del proyecto resulta igual a cero. También se define como aquel factor de actualización tal como “r” para la cual el valor actual neto resulta igual a cero.

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+r)^1} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

G. Relación beneficio costo

La relación Beneficio/Costo es el cociente de dividir el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) entre el valor actualizado de los costos (egresos) a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable, a menudo también conocida como tasa de actualización o tasa de evaluación.

Los beneficios actualizados son todos los ingresos actualizados del proyecto, aquí tienen que ser considerados desde ventas hasta recuperaciones y todo tipo de “entradas” de dinero; y los costos actualizados son todos los egresos actualizados o “salidas” del proyecto desde costos de operación, inversiones, pago de impuestos, depreciaciones, pagos de créditos, intereses, etc. de cada uno de los años del proyecto. Su cálculo es simple, se divide la suma de los beneficios actualizados de todos los años entre la suma de los costos actualizados de todos los años del proyecto.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

El diseño para el presente estudio está clasificado de la siguiente manera: No-Experimental, Prospectivo-Transversal

- **No-Experimental**, porque no se manipulan deliberadamente variables, se observa fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para luego analizarlos.
- **Prospectivo**, porque intenta predecir un posible escenario futuro.
- **Transversal**, porque se limita a la toma de datos en un único momento de tiempo

3.2 Población y muestra

Para el presente proyecto de investigación tendremos una muestra poblacional, es decir las viviendas ubicadas en el caserío Membrillar del distrito de Niepos, Provincia de San Miguel.

3.3 Formulación de la hipótesis

Si se aprovecha el recurso eólico y solar existente en el caserío Membrillar del distrito de Niepos, a través de un sistema de generación híbrido eólico – solar, se podrá suministrar con energía eléctrica a dicho caserío.

3.4 Variables-Operacionalización

Para probar el estudio de investigación se determinaron dos variables para la Operacionalización:

Variable Independiente: Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico.

Variable dependiente: Suministro de Energía Eléctrica.

Tabla 3: Operacionalización de las Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico	Los sistemas híbridos son una tecnología preparada para responder a la demanda de los consumidores a través de la combinación de dos energías renovables. De esta forma, se resuelven los problemas que cada uno tiene de forma individual y al mismo tiempo se potencian todas sus virtudes. (Tamayo, 2003, p.12).	Dimensionamiento del sistema eólico y el sistema fotovoltaico	Potencia Eléctrica Máxima Demanda Energía Producida	Velocidad y dirección del viento (m/s) Radiación solar (kW-h/m ²) Selección del aerogenerador (kW) Potencia y unidades de paneles fotovoltaico (kWp)	Razón o Proporción
Dependiente: Suministro de Energía Eléctrica.	El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica (Tamayo, 2003, p.13.).	Cantidad de Energía Eléctrica que requiere un consumidor	Tensión Intensidad de Corriente Potencia	V A kVA	Razón o Proporción

Fuente: Elaboración propia

3.5 Métodos y técnicas de investigación

3.5.1 Método de investigación

Para el presente trabajo, utilizamos el método inductivo, que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación.

3.5.2 Técnicas de investigación

En este proyecto se ha utilizado las siguientes técnicas de investigación:

A. Encuesta

Mediante esta técnica obtendremos información socio económica del caserío Membrillar del distrito de Niepos.

B. Análisis de Documentos

Esta técnica nos permite analizar libros, tesis, la normatividad vigente, revistas, etc.

3.6 Descripción de los instrumentos utilizados

Los Instrumentos de recolección de datos utilizados en el presente trabajo de investigación son:

A. Hoja de Encuesta Socio Económica.

Se diseñará una Hoja de Encuesta Socio Económica que nos permitirá recoger información del caserío Membrillar del distrito de Niepos.

Ver Anexo 10

B. Guía de análisis de documentos

Se diseñará una ficha donde se consigne los principales datos de la fuente bibliográfica analizada (Autor, título, edición, páginas consultadas, etc).

3.7 Análisis estadístico e interpretación de datos

Para el análisis de los diferentes datos obtenidos se utilizó la estadística descriptiva, la cual sirve para analizar el comportamiento de una variable en el Sistema; donde se aplicará: La media, el promedio, valores máximos y mínimos, etcétera. Por ejemplo, esto se realizó con la finalidad de determinar la máxima demanda, el factor de potencia mínimo registrado en el periodo analizado y otros valores más.

Por ejemplo la utilización del software Microsoft office Excel, el cual se utilizó para el análisis de los diferentes datos que se evaluarán, para el presente estudio que se pretende realizar.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Energía necesaria a suministrar en el caserío Membrillar, ubicado en Distrito de Niepos, departamento de Cajamarca

El caserío Membrillar pertenece al distrito de Niepos, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca.

El acceso al caserío El Membrillar se realiza por medio de una vía, la misma que se divide en tres tramos, los que presentamos en la siguiente tabla:

Tabla 4: Rutas de acceso al caserío

Tramo	Tramo	Acceso	Medio de transporte	Vía de acceso	Distancia en Km/tiempo
1	Chiclayo- Oyotún	Terrestre	Minivan	Asfalto	83.3 Km / 1:32 h.
2	Oyotún – Niepos	Terrestre	Minivan	Trocha	68.7 Km / 2:30 h.
3	Niepos – El Membrillar	terrestre	Minivan	Trocha	8 km / 30 min.

Fuente: Elaboración Propia

El caserío El Membrillar abarca una superficie de 4772,7 m² a una altura de 2 519 msnm.

El clima en El Membrillar es característico del clima serrano va de subtropical a frío, con aire muy seco, tiene dos fases estacionales: una lluviosa entre diciembre y marzo, y una seca de abril a noviembre. Su temperatura esta entre (8°C - 21°C promedio).

Dentro de la estructura de la producción la agricultura es la actividad económica más importante del lugar, en general, la actividad agrícola está basada en la producción de maíz, fréjol, yuca, papa, trigo y entre otras. La diversidad de los productos es consecuencia de los variados climas que se presentan en todo el territorio.

La ganadería es considerada como un complemento a la agricultura, ya que permite al poblador ingresos adicionales para desarrollar sus actividades agrícolas principales o como recurso para su sobrevivencia. La ganadería está determinada básicamente por la crianza de ganado vacuno, ovino y equino

Actualmente cuenta con 21 viviendas, de las cuales 16 son viviendas usos Domésticos, 01 es una vivienda uso Comercial y 04 son viviendas con uso Usos Generales.

Para calcular la Máxima Demanda y la Energía requerida por el caserío Membrillar se ha tomado en cuenta el consumo unitario de cada vivienda según el uso:

Tabla 5: Consumo Unitario de Vivienda uso Doméstico

Descripción	Unid.	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh-día)	Energía (kWh-mes)
Televisor	1	50	50	3	150	4,50
Radio Pequeño	1	15	15	3	45	1,35
Iluminación Interior	3	23	69	3	207	6,21
Cargador de celular	1	5	5	3	15	0,45
Total			139	12	417	12,51

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: Consumo Unitario de Vivienda uso Comercial

Descripción	Unid.	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh-día)	Energía (kWh-mes)
Televisor	1	50	50	3	150	4,50
Radio Pequeño	1	15	15	3	45	1,35
Iluminación Interior	4	23	92	3	276	8,28
Equipo de Sonido	1	50	50	4	200	6,00
Cargador de celular	1	5	5	3	15	0,45
Total			162	16	686	20,58

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Consumo Unitario de Vivienda uso Usos Generales

Descripción	Unid.	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh-día)	Energía (kWh-mes)
Televisor	1	50	50	3	150	4,50
Radio Pequeño	1	15	15	3	45	1,35
Iluminación Interior	5	23	115	3	345	10,35
Equipo de Computo	4	50	200	2	400	12,00
Cargador de celular	1	5	5	3	15	0,45
Total			185	14	955	28,65

Fuente: Elaboración Propia

Luego con datos obtenidos de la Concesionaria de Distribución Eléctrica y del INEI procedemos a realizar la Proyección de Energía Eléctrica a 20 años, para con estos datos realizar el diseño del Sistema Híbrido: Eólico Fotovoltaico.

Tabla 8: Datos utilizado para realizar la Proyección de Mercado Eléctrico en el caserío Membrillar

Indicador	Valor	Fuentes de Información
Año de Referencia	2018	
Población Total Inicial	105	Investigación de campo
Tasa de Crecimiento	0,01	Registro de INEI
Índice de Habitantes por Vivienda	5,0	Registro de INEI
Pérdida de energía	9,0%	Información de la Empresas Concesionaria
Factor de Carga	20%	Información de la Empresas Concesionaria
Sector Típico	5	Información de la Empresas Concesionaria
KALP (Factor de Alumbrado Público en kWh/usuario-mes)	6,3	Normatividad de AP en sectores rurales
PPL: Potencia Nominal Promedio de Lámpara de AP (W)	50,00	Normatividad de AP en sectores rurales

Fuente: Elaboración Propia

Con los cual obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 9: Resultados de la Proyección de Mercado Eléctrico en el Caserío Membrillar

DESCRIPCIÓN	Años								
	1	2	3	10	11	12	18	19	20
	2019	2020	2021	2028	2029	2030	2036	2037	2038
Poblacion Total	106	106	107	110	111	111	115	115	116
Indice de Habitantes por Vivienda	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Viviendas Totales	21	21	21	22	22	22	23	23	23
Coficiente de Electrificación	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Viviendas a Electrificar	21	21	21	22	22	22	23	23	23
Abonados Totales	21	21	21	22	22	22	23	23	23
Número de abonados domésticos	16	16	16	17	17	17	18	18	18
Número de abonados comerciales	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de abonados de Uso General	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Número de abonados de peq. Industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Unitario por Abonado Doméstico (KW-h)	151	152	152	158	159	159	164	165	166
Consumo Unitario por Abonado Comercial (KW-h)	248	249	251	260	261	262	270	272	273
Consumo Unitario por abonado de Usos Generales (KW-h)	346	347	349	361	363	365	376	378	380
Consumo Unitario por Abonado de Peq. Industrias (KW-h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Abonados Domésticos (Kw-h)	2.426	2.450	2.475	2.654	2.680	2.707	2.874	2.903	2.932
Consumo Abonados Comerciales (kW-h)	249	252	254	273	276	278	296	298	301
Consumo Abonados Uso General (kW-h)	1.389	1.403	1.417	1.519	1.535	1.550	1.646	1.662	1.679
Consumo Abonados Peq. Industrial (kW-h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo de energía (kW.h)	4.064	4.105	4.146	4.446	4.491	4.536	4.816	4.864	4.913
Calculo del consumo de Alumbrado Público									
Consumo Mensual de AP - CMAP (KWh)	133	134	134	139	140	140	145	145	146
Puntos de Iluminación Sistema Convencional	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Consumo anual de AP en Sist. Convencional (kW.h)	1.555	1.555	1.555	1.555	1.555	1.555	1.555	1.555	1.555
Consumo Total de energía en Sist. Convencional (kW.h)	5.620	5.660	5.702	6.001	6.046	6.091	6.371	6.419	6.468
Porcentaje de Pérdidas	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Pérdidas de Energía (kW-h)	506	509	513	540	544	548	573	578	582
Energía al ingreso del sistema (KW-h)	6.125	6.170	6.215	6.542	6.590	6.639	6.944	6.997	7.050
Factor de carga	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Potencia al ingreso del sistema (KW)	3,496	3,522	3,547	3,734	3,761	3,789	3,964	3,994	4,024

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro anterior podemos obtener que, en el **año 20**, la **Energía diaria requerida será de 19,32 kW-h/día** y la **Potencia requerida será de 4,024 kW**.

4.2 Evaluación del recurso solar y eólico en el caserío Membrillar

4.2.1 Evaluación del recurso solar

- Para poder determinar la radiación solar en la zona de estudio, es importante realizar un registro de la radiación solar presentes en el sitio de interés, a continuación, se el proceso de la actividad mencionada.
- Se elaboró un protocolo de medición de la radiación solar, el cual consta en la fecha y el horario, donde se pretende ubicar los paneles solares.
- Las mediciones de las radiaciones del sol se dieron mediante los meses de agosto y septiembre del presente año, tres veces por semana y una vez cada inicio de hora, desde las 7 hasta las 18 horas.
- Para tomar el valor de lectura de la radiación solar en campo recurrimos al uso de un Solarímetro modelo (TES 1333 SOLAR POWE METER). Dicho Solarímetro fue utilizado manualmente a inicio de cada hora.
- Los valores de medida que se registraron en protocolo de radiación solar, se ingresaron a una base de datos con la finalidad de obtener la radiación diaria promedio de la zona mediante la distribución de Weibull.

Mediciones:

- Se realizaron mediciones tres días por semana lunes – miércoles – viernes.
- El horario de medición será de 07:00 a 18:00, en el transcurso de dos meses (agosto y septiembre).
- Se hicieron mediciones cada 1 hora.

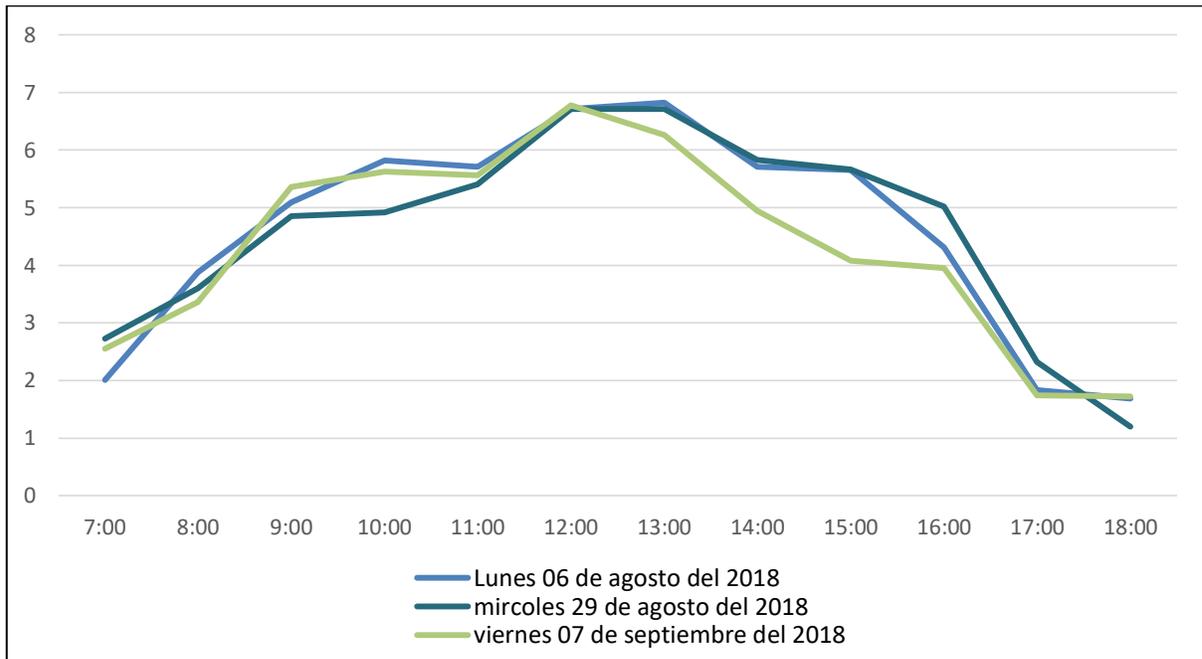
Tabla 10: Datos de la Radiación Solar obtenidos con el Solarimetro

COORDENADAS	RADIACION SOLAR (Kw-h/m ²)											
	COORDENADA GMS WGS84 ZONE 17S											
FECHA / HORA	E 707633,31 N 9234716,73											
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
06/08/2018	2,01	3,88	5,09	5,82	5,71	6,71	6,82	5,71	5,65	4,31	1,83	1,69
08/08/2018	2,73	5,16	5,09	5,7	5,6	6,72	6,09	4,34	4,35	4,57	2,01	2,04
10/08/2018	2,76	3,96	4,08	4,86	5,34	5,52	6,85	4,47	4,6	3,32	2,05	1,92
12/08/2018	2,73	4,14	5,16	5,65	5,82	5,71	6,71	5,02	4,34	3,58	2,13	2,04
14/08/2018	2,03	4,09	5,48	5,71	5,88	6,85	6,16	5,04	4,34	2,31	1,83	2,05
16/08/2018	2,01	3,9	5,16	5,7	5,6	5,74	6,26	4,35	4,08	3,95	1,74	1,72
18/08/2018	2,01	3,84	4,92	4,09	5,48	5,6	6,72	5,11	5,12	5,04	2,84	1,93
20/08/2018	2,03	3,78	3,06	4,14	5,16	6,64	6,7	5,26	2,84	2,31	2,05	1,53
22/08/2018	1,99	3,72	4,14	4,85	5,09	5,82	6,71	5,33	4,34	4,35	3,57	2,01
24/08/2018	2,41	3,66	3,06	4,14	5,16	5,65	6,82	5,71	5,02	4,34	3,58	2,13
26/08/2018	2,73	3,6	4,85	4,92	5,41	6,71	6,71	5,83	5,66	5,02	2,32	1,2
28/08/2018	1,61	3,54	3,12	3,49	4,14	5,34	6,52	5,85	5,04	4,34	2,31	1,81
03/09/2018	2,03	3,48	4,92	4,09	5,48	6,6	6,72	5,13	5,12	5,04	2,84	1,93
05/09/2018	2,32	3,42	5,29	5,77	5,78	5,85	6,26	5,75	4,34	2,31	1,93	2,05
07/09/2018	2,55	3,36	5,36	5,63	5,56	6,78	6,26	4,95	4,08	3,95	1,74	1,72
09/09/2018	2,97	3,3	4,72	4,47	5,88	6,46	6,72	5,19	5,07	5,04	2,84	1,97
11/09/2018	2,45	3,24	3,16	4,28	5,66	5,94	6,97	5,26	2,84	2,31	2,15	1,53
13/09/2018	1,99	3,18	4,64	4,65	5,89	6,32	6,51	5,33	4,34	4,35	3,57	2,16
15/09/2018	2,35	3,12	5,39	5,32	5,71	5,81	6,82	5,78	5,85	2,21	1,83	1,69
17/09/2018	2,39	3,06	5,12	5,79	5,46	5,72	6,39	4,34	4,35	3,57	2,09	2,14
19/09/2018	2,76	2,99	4,58	4,76	5,34	6,52	6,85	4,87	4,04	2,32	2,05	1,92
21/09/2018	2,73	2,94	4,35	4,62	5,41	6,77	6,31	5,83	5,66	5,58	2,32	1,12
23/09/2018	1,81	2,88	3,22	3,49	4,84	6,34	6,52	5,05	5,04	4,34	2,37	1,81
25/09/2018	2,12	2,82	4,72	4,49	5,45	6,68	6,78	5,19	5,14	5,04	2,84	1,93

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, las gráficas que demostraron el comportamiento del recurso solar, en los diferentes días (tres días como referencia):

Figura 2: Comportamiento Diario de la Radiación kW h/m²



Fuente: Elaboración Propia

Determinación para los parámetros de Weibull

Los valores obtenidos de la medición de la radiación se han registrado según la frecuencia con que ocurrieron (distribución de frecuencias), ya sea el número de horas por día o por mes, para obtener el potencial solar.

La distribución de frecuencias se determinó clasificando la radiación solar en intervalos de 1 kW h/m², que se inicia entre 0 kW h/m² y 1 kW h/m², de tal modo se pudo calcular el porcentaje del comportamiento solar sobre la superficie media en cada intervalo.

A partir de la Tabla 10 en donde se muestra el registro de radiaciones solares obtenido en 2 meses, se elaboró consecutivamente la Tabla 11 para tener una mejor

caracterización de los datos y determinar la frecuencia de la óptima radiación para la generación de energía.

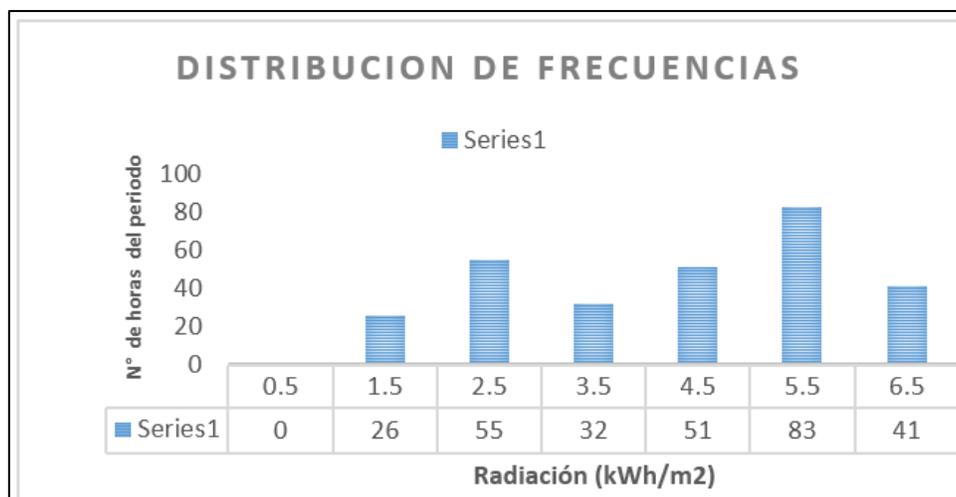
Tabla 11: Distribución de Frecuencia y Distribución Acumulada

RADIACION (kWh/m ²)	RANGO MAXIMO (kWh/m ²)	RANGO MINIMO (kWh/m ²)	OBSERVACIONES	DIST. DE FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMALADA (fa)
0,5	1	0	0	0	0
1,5	2	1	26	0,090277778	0,090277778
2,5	3	2	55	0,190972222	0,281250000
3,5	4	3	32	0,111111111	0,392361111
4,5	5	4	51	0,177083333	0,756895425
5,5	6	5	83	0,288194444	0,896558450
6,5	7	6	41	0,142361111	1
TOTAL, DE DATOS			288		

Fuente: Elaboración Propia

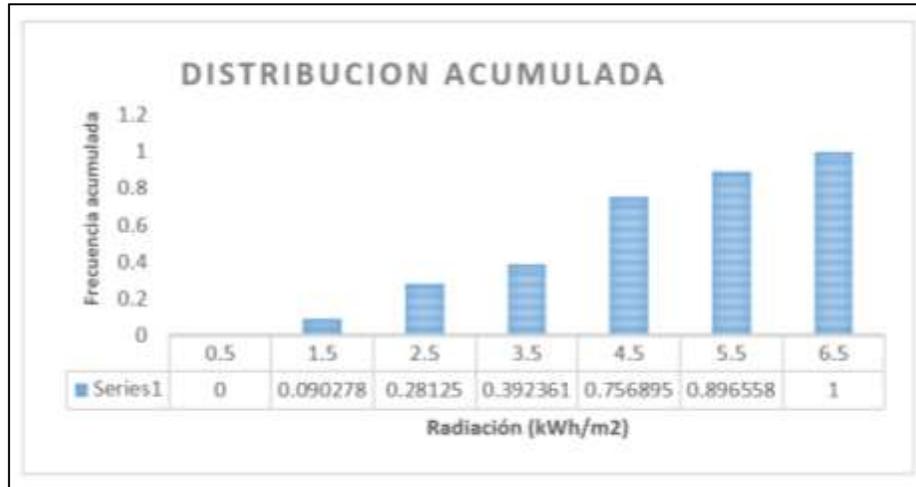
De la Tabla 11 obtenemos las siguientes gráficas:

Figura 3: Distribución de Frecuencias



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4: Distribución acumulada de Weibull



Fuente: Elaboración Propia

Considerando que la ecuación de la recta es: $y = \beta x + b$, entonces los valores para obtener la dicha ecuación son:

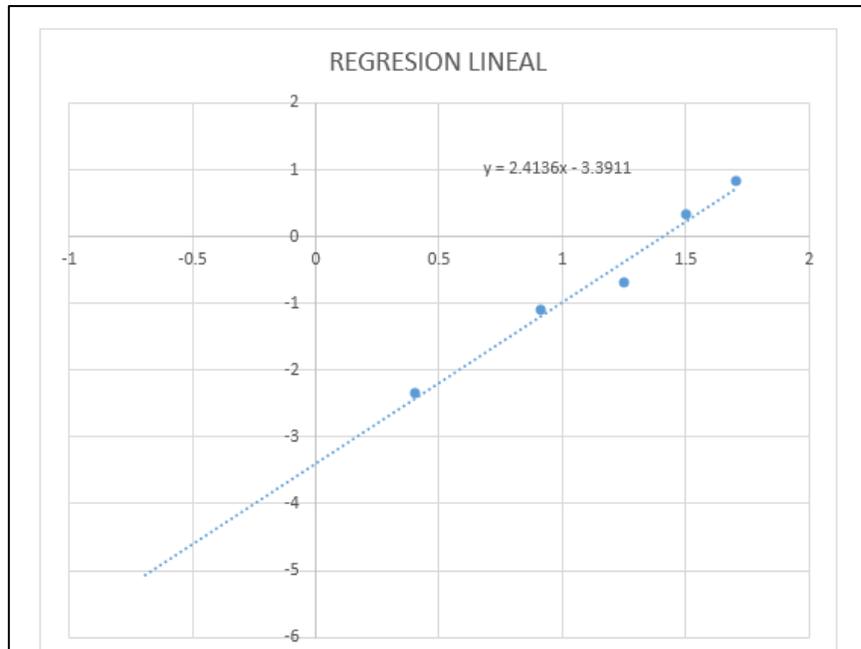
Tabla 12: Valores para obtener la ecuación de la recta

RADIACION PROMEDIO	DISTRIBUCIÓN ACUMULADA
$x = \ln(v)$	$y = \ln(-\ln(1-F(v)))$
-0,693147181	
0,405465108	-2,357928934
0,916290732	-1,107930508
1,252762968	-0,696804849
1,504077397	0,346608956
1,704748092	0,819228384
1,871802177	

Fuente: Elaboración Propia

Luego con los valores de la Tabla 12, elaboramos la siguiente gráfica:

Figura 5: Ajuste Lineal de la Recta



Fuente: Elaboración Propia

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$y = 2,4136 x - 3,3911$$

De donde se identificó los valores de β (parámetro de forma) y el de b (que corresponde al punto de corte en el eje y), para luego aplicarlos para calcular el valor θ (parámetro de escala con las mismas unidades de la radiación).

Datos:

$$\beta = 2,4136 \text{ (adimensional)}$$

$$b = - 3,3911$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)} \quad \theta = 4,08 \text{ kW-h/m}^2$$

La función Gamma puede ser aproximadamente con la siguiente tabla:

Tabla 13: Valores de Radiación Media, Gamma para diferentes valores de Beta (β)

β	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) = \frac{\bar{v}}{c}$
1	1,205623598
1,25	1,085061239
1,5	1,004686332
1,6	0,979569174
1,7	0,957406975
1,8	0,937707243
1,9	0,920081167
2	0,904217699
2,1	0,889865037
2,2	0,876817162
2,3	0,864903886
2,4	0,853983382
2,5	0,843936519
2,6	0,834662491
2,7	0,826075429
2,8	0,818101727
3	0,803749066
3,5	0,775043742
4	0,753514749
4,5	0,736769977
5	0,723374159
5,5	0,712413945

Fuente: Elaboración Propia

Con un valor de $\beta = 2,3129$, aplicando una interpolación lineal se calculó Gamma y luego la radiación media:

$$\Gamma = 0,602812$$

La radiación media (θ_{med}) se halló con el valor de beta (β) y el valor de la función Gamma (Γ).

$$\theta_{med} = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\theta_{med} = 3,48 \text{ kWh/m}^2$$

$$\theta_{med} = 3,48 \text{ kWh/m}^2$$

Evaluación del recurso eólico

Se ha obtenido datos de la estación meteorológica en el ANEXO 01, en un archivo de Excel, se procederá inicialmente a eliminar aquellos datos que tengan velocidad 0 m/s.

Ahora los datos de la estación meteorológica han sido tomados a una altura de 2 m por lo que utilizando la Ley de Hellman pasaremos los datos a una altura de 18 m (ANEXO 02) y luego elaboramos la Tabla 14 de frecuencias:

Tabla 14: Frecuencia de la velocidad del viento

Velocidad del viento (m/s)	Frecuencia de la velocidad (h)	Frecuencia acumulada (h)	Frecuencia acumulada porcentual (h)
1	651	651	0,45429
2	327	978	0,68248
3	188	1166	0,81368
4	92	1258	0,87788
5	82	1340	0,93510
6	40	1380	0,96301
7	27	1407	0,98186
8	13	1420	0,99093
9	8	1428	0,99651
10	4	1432	0,99930
11	1	1433	1,00000
12	0	1433	1,00000
13	0	1433	1,00000

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Luego elaboramos intervalos cuyo significado es el siguiente:

El 1 m/s: significa la velocidad del viento entre 0 m/s y 1 m/s

El 2 m/s: significa la velocidad del viento entre 1 m/s y 2 m/s

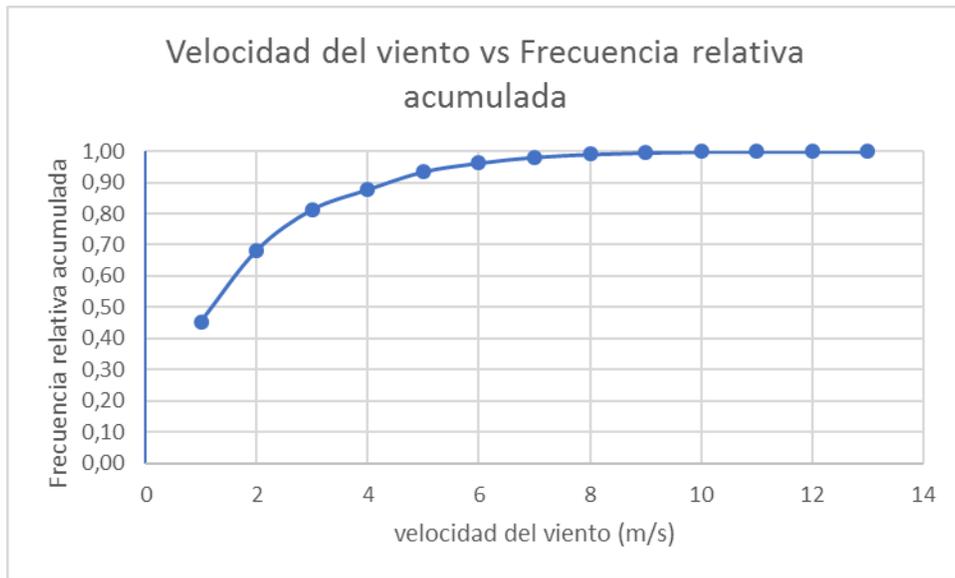
Utilizando la función en Excel CONTAR.SI, evaluamos con qué frecuencia la velocidad se encuentra en un intervalo (número de horas) tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Frecuencia relativa acumulada

Velocidad del viento (m/s)	Frecuencia acumulada porcentual (h)
1	0,45429
2	0,68248
3	0,81368
4	0,87788
5	0,93510
6	0,96301
7	0,98186
8	0,99093
9	0,99651
10	0,99930
11	1,00000
12	1,00000
13	1,00000

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Figura 6: Velocidad del viento vs Frecuencia relativa



Fuente: Elaborado por el propio Autor

Ya que tenemos los resultados de frecuencia relativa acumulada para cada velocidad entonces siguiendo el procedimiento, debemos graficar:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right) = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(C)$$

Hacemos que:

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right)$$

$$x = \ln(v)$$

$$b = -k \cdot \ln(C)$$

Haciendo una regresión lineal con los datos obtenidos los parámetros de la ecuación de Weibull.

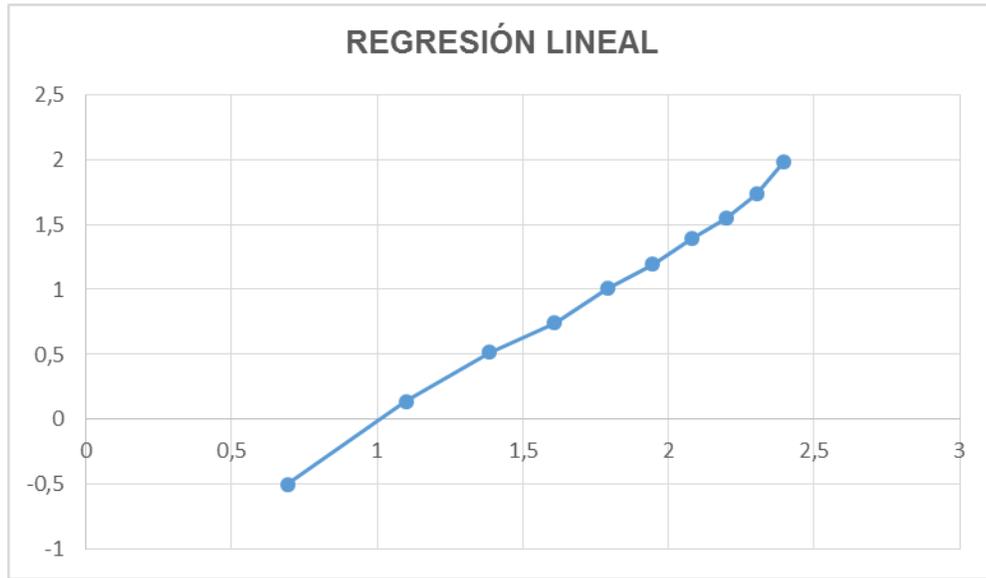
Tabla 16: Valores para graficar y elaborar el reajuste lineal

Velocidad de Viento	DISTRIBUCIÓN ACUMULADA
$x=\ln(v)$	$y=\ln(-\ln(1-F(v)))$
0	
0,693147181	-0,501418861
1,098612289	0,137348606
1,386294361	0,518958524
1,609437912	0,743240996
1,791759469	1,006104355
1,945910149	1,193083788
2,079441542	1,38864881
2,197224577	1,548110459
2,302585093	1,73308594
2,397895273	1,983415852
2,48490665	
2,564949357	

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Graficamos los puntos de la Tabla 16 en Excel tal como se muestra en la Figura 23 y le hacemos un reajuste lineal.

Figura 7: Reajuste lineal



Fuente: Elaborado por el propio Autor

Y obtenemos la función lineal

$$y = 1,457596418 x - 1,511747709$$

De donde se identificó los valores de β (parámetro de forma) y el de b (que corresponde al punto de corte en el eje y), para luego aplicarlos para calcular el valor θ (parámetro de escala con las mismas unidades de la radiación).

Datos:

$$\beta = 1,457596418 \text{ (adimensional)}$$

$$b = - 1,511747709$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{b}{\beta}\right)} \quad \theta = 2,831823471 \text{ m/s}$$

La función Gamma puede ser aproximadamente con la siguiente tabla:

Tabla 17: Valores de Radiación Media, Gamma para diferentes valores de Beta (β)

β	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{k'}\right) = \frac{\bar{v}}{c}$
1	1,205623598
1,25	1,085061239
1,5	1,004686332
1,6	0,979569174
1,7	0,957406975
1,8	0,937707243
1,9	0,920081167
2	0,904217699
2,1	0,889865037
2,2	0,876817162
2,3	0,864903886
2,4	0,853983382
2,5	0,843936519
2,6	0,834662491
2,7	0,826075429
2,8	0,818101727
3	0,803749066
3,5	0,775043742
4	0,753514749
4,5	0,736769977
5	0,723374159
5,5	0,712413945

Fuente: Elaboración Propia

Con un valor de $\beta = 1,457596418$, aplicando una interpolación lineal se calculó Gamma y luego la velocidad media:

$$\Gamma = 1,01831906777$$

La velocidad media (θ_{med}) se halló con el valor de beta (β) y el valor de la función Gamma (Γ).

$$\theta_{med} = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\theta_{med} = 4,86209372 \text{ m/s}$$

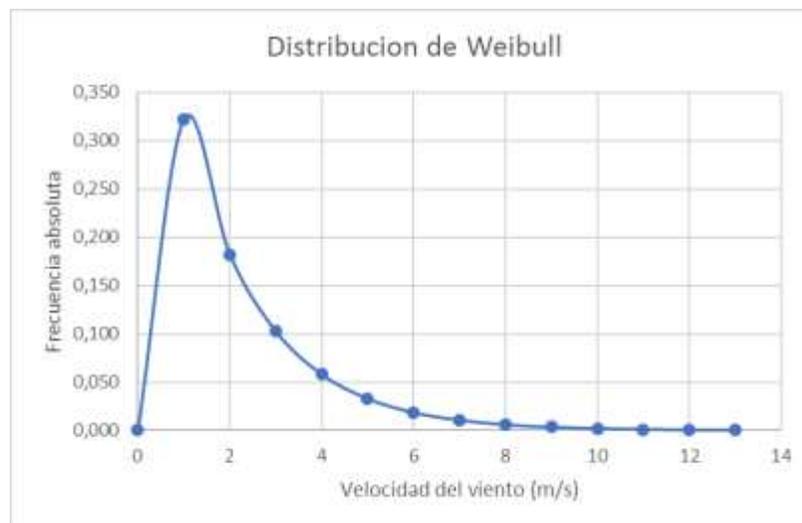
$$\theta_{med} = 4,86 \text{ m/s}$$

Si se sustituyen los valores determinados de forma y escala en la función de Weibull, para el caso particular sobre los datos analizados se obtiene la siguiente función de probabilidad:

$$f(v) = \left(\frac{1,457596418}{1,01831906777}\right) \left(\frac{v}{1,01831906777}\right)^{1,457596418-1} e^{-\left(\frac{v}{1,01831906777}\right)^{0,91,457596418}}$$

Esta sería la función de probabilidad que describe el comportamiento del viento. A partir de esta función se podrán determinar las horas del día aprovechables según la velocidad del viento.

Figura 8: Distribución de Weibull



Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla 18: Probabilidad de horas de velocidad del viento en el periodo de tiempo de los datos

velocidad (m/s)	f(v)	horas
0	0,000000	0,00
1	0,322573	462,25
2	0,181985	260,78
3	0,102743	147,23
4	0,058027	83,15
5	0,032780	46,97
6	0,018522	26,54
7	0,010467	15,00
8	0,005916	8,48
9	0,003344	4,79
10	0,001890	2,71
11	0,001069	1,53
12	0,000604	0,87
13	0,000342	0,49
14	0,000193	0,28
15	0,000109	0,16
16	0,000062	0,09

Fuente: Elaborado por el propio Autor

En el periodo de marzo y abril contabilizamos el número de horas que es de 1 433 h, en este periodo de tiempo podemos contabilizar el número de días de la siguiente relación:

$$\text{Periodo de tiempo (días)} = (1\ 433\ \text{h}) \left(\frac{1\ \text{día}}{24\ \text{h}} \right) = 59,708\ \text{días}$$

4.3 Dimensionamiento del Sistema Híbrido y Redes de Distribución en 220 V

4.3.1 Dimensionamiento del sistema eólico

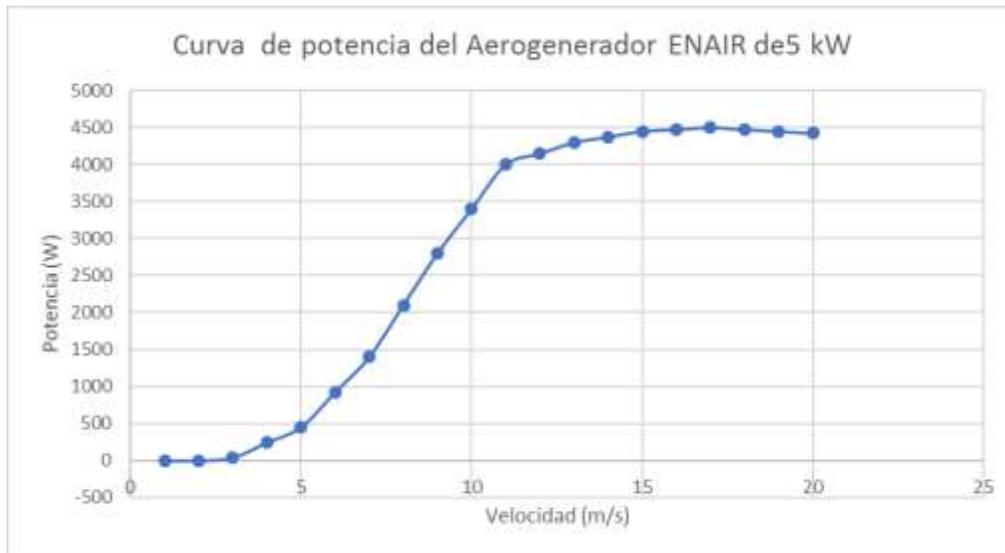
Proponemos el uso de un aerogenerador de ENAIR de 5 kW, se eligió trabajar con este aerogenerador por que arranca con una velocidad de viento de 2 m/s (ver Figura 9)

Figura 9: Aerogenerador de ENAIR de 5 kW



Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>

Figura 10: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR de 5 kW



Fuente: https://www.enair.es/descargas/Ficha_Tecnica/Ficha_Tecnica_E70_es.pdf

Tabla 19: Energía obtenida del aerogenerador para una altura de 18m

velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energia (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	485,74	0,00
2	10	272,07	2720,65
3	40	147,94	5917,41
4	245	79,15	19392,51
5	450	41,89	18849,71
6	925	21,98	20335,18
7	1400	11,46	16045,27
8	2100	5,94	12477,44
9	2800	3,07	8583,57
10	3400	1,58	5355,06
11	4000	0,81	3224,74
12	4150	0,41	1706,72
13	4300	0,21	899,35
14	4375	0,00	0,00
15	4450	0,00	0,00

Fuente: Elaboración Propia

De donde obtenemos que la energía que produce el aerogenerador en el periodo de tiempo de los datos 115507,61 Wh.

Para obtener la energía promedio diaria lo dividimos entre el número de días del periodo 59,708 días

$$\begin{aligned} \text{Energía promedio diario suministrado por el aerogenerador} &= \frac{115507,61}{59,708} \\ &= 1934,54 \text{ W. h} \end{aligned}$$

4.3.2. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

4.3.2.1. Parámetros a considerar del Sistema Fotovoltaico

Los parámetros a considerar son los siguientes:

Radiación solar: 3,48 kWh/m²/día

Días de autonomía: 2

En la parte fotovoltaica se considera trabajar con paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX DE 190 Wp cuyas características se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 20: Características eléctricas del módulo fotovoltaico

Parámetro	SM572-190
Voltaje a circuito abierto	44,5 V
Voltaje a potencia máxima	36,5 V
Corriente a potencia máxima	5,21 A
Corriente de cortocircuito	5,52 A

Fuente: catalogo SIMAX (ANEXO 04)

a. Cálculo de la energía necesaria

El sistema híbrido para suministro de energía se compone de un aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW de potencia nominal y la salida eléctrica del aerogenerador en 1934,54 W.h/día.

La salida de energía total entregada por el sistema se determina en función a la suma de la energía del aerogenerador o del viento y de los paneles o solar, por lo tanto:

$$E_{\text{sistema}} = E_{\text{aerogenerador}} + E_{\text{fotovoltaica}}$$

$$E_{\text{fotovoltaica}} = E_{\text{sistema}} - E_{\text{aerogenerador}}$$

$$E_{\text{fotovoltaica}} = 19,32 - 1,93$$

$$E_{\text{fotovoltaica}} = 17,39 \text{ kW h}$$

Esta energía no es la energía que llega a la carga, debido a las pérdidas, para considerar esta situación entonces la energía que llega a la carga que satisface la energía demandada por los usuarios, depende de un factor de pérdidas el cual es función de los factores de pérdida de los equipos que componen el sistema.

$$E_{\text{fotovoltaica a producir}} = E_{\text{fotovoltaica}} / F$$

Donde F

$$F = 1 - \left[\frac{f_a \times N}{p_d} \right] - f_b - f_i - f_j$$

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

f_a : Fracción de energía perdida por autodescarga =0,005

f_b : Factor de perdidas debido al a eficiencia de la batería=0,05

f_i : Factor de perdidas debido a la eficiencia del inversor=0,13

f_j : Factor de perdidas global debido al calentamiento conexiones=0,05

P_d : Profundidad de descarga máxima de las baterías=0,7

Reemplazando obtenemos que $F = 0,76$

Ahora reemplazando obtenemos que la energía que suministra el sistema a la carga es de:

$$E_{\text{fotovoltaica a producir}} = \frac{17,39}{0,76} = 22,88 \text{ kW.h}$$

a. Número total de módulos necesarios:

$$N_T = \frac{E_{\text{fotovoltaica a producir}}}{P_{MPP} * HPS_{\text{crit}} * PR}$$

Dónde:

N_T :Número de módulos

E_N :Energía necesaria = 22,88 kW h

P_{MPP} : La potencia pico del módulo en condiciones estándar, en este caso, estamos utilizando un panel solar de 190 Wp (watts pico).

HPS_{crit} : Son las horas de sol pico del mes crítico = 3,48 HPS

PR : El factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.95.

Usaremos 0.95 por defecto.

$$N_T = \frac{22,88}{190 * 3,48 * 0.95} = 36,44 = 36 \text{ Modulos}$$

b. El número de módulos fotovoltaicos conectados en serie es de:

$$\text{Numero de modulos en serie } (N_{mserie}) = \frac{\text{voltaje de trabajo } (V_T)}{\text{Tension del modulo } (V_{panel})}$$

La tensión de trabajo será de 48 V

$$N_{mserie} = 48 / 48$$

$$N_{mserie} = 1$$

c. Cálculo del número de ramas conectadas en paralelo

$$\text{Numero de ramas en paralelo } (N_{rparalelo}) = \frac{\text{Total de modulos } (N_{panles})}{\text{Numero de modulos en serie } (N_{mserie})}$$

$$N_{p mf} = 36$$

d. Angulo óptimo de inclinación:

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|)$$

Donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación optimo

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

Sabiendo que la latitud es de:

Latitud: -6.82849500000

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,828495^\circ|)$$

$$\beta_{opt} = 8,34^\circ$$

Luego el ángulo óptimo es de 8,34°, consideraremos 10° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo humedad.

e. Dimensionamiento del banco de baterías

En este caso los parámetros importantes para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

$$C_T = (N_{autonomia} \times E_{entregado\ a\ la\ carga}) / (P_D \times V_T)$$

Donde:

C_T = Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

$N_{autonomia}$ = Número de días de autonomía =2.

P_D = 0,7.

V_T = 48 V.

$E_{entregado\ a\ la\ carga}$ = 22880 Kw h

$$C_T = (2 \times 22880) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 1361,9 \text{ Ah}$$

Proponemos el uso de baterías ROLLS de 503 Ah (ANEXO 05), por ser de marca reconocida y además de capacidad ampliamente comerciable

El número de baterías que deben conectarse en serie:

$$N_{S \text{ bat.}} = V_T / V_{\text{bat.}}$$

Donde:

$N_{S \text{ bat.}}$ = Número de baterías que deben conectarse en serie.

V_T = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V).

$V_{\text{bat.}}$ = Tensión nominal de la batería (V).

$$N_{S \text{ bat.}} = 48/12$$

$$N_{S \text{ bat.}} = 4 \text{ baterías}$$

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

$$N_{P \text{ bat.}} = C_T / C_{\text{bat.}}$$

Donde:

$N_{P \text{ bat.}}$ = Número de baterías conectados en paralelo.

C_T = Capacidad total del banco de baterías (Ah).

$C_{\text{bat.}}$ = Capacidad individual de una batería (Ah).

$$N_{P \text{ bat.}} = 1361,9/ 503$$

$$N_{P \text{ bat.}} = 2,71 \approx 3$$

Del resultado consideraremos 3

Luego el número total de baterías es de 12

f. Dimensionamiento del inversor

Los inversores que se utilizarán para nuestro sistema de generación fotovoltaica serán los inversores de Inversor de onda pura 48V- 5000 W

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

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{1,2 \times \text{Potencia de la carga}}{\text{Rendimiento del inversor}}$$

En la potencia de la carga utilizaremos como máxima demanda la potencia instalada de la carga debido a que se trata de una potencia relativamente pequeña: 4,024 kW.

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{1,2 \times 4,024}{0,95} = 5,0 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se trabajará con un inversor de la marca VICTRON ENERGY de 5 kW (ANEXO 06)

g. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

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

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{CC\ mf} \times N_{ramas\ en\ paral.} \times regulador.$$

Donde:

$I_{MAX\ mf}$ = Corriente máxima en la línea Paneles-Regulador (A).

$I_{CC\ mf}$ = Corriente de cortocircuito del panel utilizado (A).

$N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador}$ = Número de ramas de paneles que deben conectarse a cada regulador.

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 5,52 \times 9$$

$$I_{MAX\ mf} = 62,10\ A$$

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

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{Carga} / (V_{MIN\ Tacu} \times \eta_{inv})$$

Donde:

$I_{MAX\ inv}$ = Corriente máxima en la línea Baterías-inversor (A).

P_{carga} = Potencia de la carga en servicio continuo (A).

$V_{MIN\ Tacu}$ = El menor valor de tensión de las baterías con el que puede funcionar el inversor.

η_{inv} = Rendimiento del inversor a plena potencia en tanto por uno (%).

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times (4024) / (48 \times 0,95)$$

$$I_{MAX\ inv} = 110,30\ A$$

Ahora consideraremos las caídas de tensión máximas en cada tramo:

Tabla N° 1: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica

TRAMO	TENSION DEL SISTEMA (V)	Caída permisible de tensión (%)	Caída de tensión permitida (V)
PANELES-CONTROLADOR	48	1% a 3%	1,44
CONTROLADOR-BATERIA	48	1%	0,48
CONTROLADOR-INVERSOR	48	1%	0,48

Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo de la sección mínima del conductor eléctrico tenemos lo siguiente

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V}$$

Donde:

S_{CABLE} = Sección mínima recomendada [mm^2].

L = Longitud tramo [m].

I = Corriente para cada tramo de la instalación [A].

ΔV = Caída máxima permitida para cada tramo [V].

Sección mínima del conductor para el tramo paneles – regulador

$$S_{\text{CABLE}} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 2 \times 6 \times 62,10 / (56 \times 1,44)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 9,24 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la sección mínima del conductor para el tramo regulador–inversor

$$\text{Tenemos: } S_{\text{CABLE}} = 2 \times L \times I_{\text{MAX}} / (56 \times \Delta V)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 2 \times 3 \times 100,68 / (56 \times 0,48)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 22,47 \text{ mm}^2$$

Cálculo de la sección mínima del conductor para el tramo batería–regulador

$$\text{Tenemos: } S_{\text{CABLE}} = 2 \times L \times I_{\text{MAX}} / (56 \times \Delta V)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 2 \times 3 \times 100,68 / (56 \times 0,48)$$

$$S_{\text{CABLE}} = 22,47 \text{ mm}^2$$

Del catálogo de conductores eléctrico NYY (ANEXO 07)

Seleccionamos el conductor **NYY dúplex de: 2-1x25 mm²**

4.3.3 Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

Para el dimensionamiento del sistema de distribución lo aremos en base a la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

A. Cálculos eléctricos

a. Cálculo de caída de tensión

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3}$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

b. Máxima caída de tensión permisible

Para red de distribución rural la caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal.

Sistema 220 V: Máxima caída tensión 15,4 V.

El sistema de distribución va ser monofásico en 220 V, se ha considerado el conductor 1x16/25, el cual tiene una capacidad de corriente de 64 A, según en ANEXO 08, de la potencia del inversor obtenemos la corriente eléctrica de diseño:

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = 5\ 000 / (220 * 0,9)$$

$$I_{MAX\ carga} = 25,25\ A$$

Como: $25,25 < 64$ OK (ANEXO 08)

c. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 2: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno

Disposición	Carreteras y avenidas	Calles y Caminos	Áreas no transitables por vehículos	Calles y caminos en zonas rurales
Al cruce	6,5	5,5	4,0	5,5
A lo largo	5,5	5,0	4,0	4,5

Fuente: Elaborado por el propio Autor

d. Cargas De Alumbrado Público

Los puntos de iluminación se han establecido según la Norma DGE de Alumbrado de Vías Públicas vigente para la zona; por lo tanto, en este caso la iluminación corresponde exclusivamente a lo indispensable y de acuerdo a los requerimientos de un sistema rural, limitándose únicamente a las plazas públicas, calles principales y/o vías de acceso a la localidad. (Sector Típico 5).

Tabla N° 3: Lámparas de alumbrado y sus potencias

Tipo de Lámpara	Pot. de Lámpara (W)	Pérdidas (W)	Total (W)
Vapor de Sodio	50	10	60

Fuente: Norma DGE RD N° 031-2003EM/DGE - Bases para el diseño de Líneas y Redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural.

B. Cálculos Mecánicos

Los cálculos mecánicos tienen la finalidad de determinar las tensiones y flechas en las diversas condiciones de operación.

a. Hipótesis de Estado

Para los cálculos mecánicos del conductor las hipótesis de estado se definen sobre la base de los factores meteorológicos, tal como se observa en la Tabla 23.

Tabla 4: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA

HIPÓTESIS N° 1: Condición de máximo esfuerzo	Temperatura: 5°C. Velocidad de viento: 70 Km/h.
HIPÓTESIS N° 2: Condición de mayor duración (EDS)	Temperatura: Media anual (entre 15 y 25°C, salvo excepciones) 15° C. Velocidad de viento: Nula.
HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima	Temperatura: 40°C. Velocidad de viento: Nula.

Fuente: CNE Suministro

b. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

- El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm², aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm².

- Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm².

Altura del poste:

Para postes con respecto al suelo se considera una distancia mínima de 5,50 m. La distancia del vértice del poste al inicio del gancho de suspensión será de 0,30 m

La flecha según los vanos y tipo de conductores.

La longitud de empotramiento será:

$$\text{Atura de empotramiento} = \frac{H}{10} + 0,2$$

La altura necesaria del poste será:

$$H = \frac{H}{10} + 0,2 + D_{\min} + F_{\max} + H_c$$

Donde:

H : Altura del poste en metros.

D_{mín} : distancia mínima al terreno en metros.

F_{máx} : Flecha máxima en metros.

H_c : Distancia del punta del poste al conductor más bajo en metros.

Para: D_{mín} = 5,5 m. y F_{máx} = 1,20 m. Tenemos H = 7,8 m.

Por lo tanto, la utilización de postes de concreto de 8,00 m. de longitud se justifica.

Tabla N° 5: Características De Los Postes De Concreto Armado

Longitud del poste (m)	8	8
Longitud de empotramiento del poste (m)	1,0	1,0
Diámetro mínima en la cabeza (mm)	120	120
Diámetro mínima en la base (mm)	240	240
Diámetro de empotramiento (mm)	225	225
Altura donde se aplica la fuerza del viento (m)	3,14	3,14
Carga de trabajo a 0,15 m de la cabeza (kg)	200	300
Carga de rotura (kg)	400	400
Masa por unidad (kg)	385	406

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 6: Características de los Cables Autoportantes

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm ²)	DIAM. EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm ²)	COEFICIEN. DE DILAT. TERMICA (1/°C)
3x35+16/25	25	20,0	0,481	60,82	21x10-6
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x35/25	25	20,0	0,419	60,82	21x10-6
3x25/25	25	18,5	0,336	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x35+16/25	25	20,0	0,362	60,82	21x10-6
2x25+16/25	25	18,5	0,307	60,82	21x10-6
2x16+16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1x16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

Fuente: Norma D.G.E. RD N° 031-2003-EM

4.4 Medrado y Presupuesto

4.4.1 Medrado y presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 7: Valor Referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo (S/.)
Aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5kW	Und.	1	29696,39	29696,39
Torre de 18 m + controlador eólico	Und.	1	16116,48	16116,48
Paneles solares SIMAX 190 Wp	Und.	36	721	25956
Baterías Rolls de 503 Ah	Und.	12	3425	41100
Inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	Und.	1	8789,62	8789,62
Estructura para 09 paneles solares	Und.	4	2162,9	8651,6
Controlador fotovoltaico	Und.	1	3533,31	3533,31
Accesorios	Glb.	1	500	500
Total				134343,4

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Además, se debe considerar la capacitación del personal para que puedan desempeñar el mantenimiento preventivo del sistema híbrido eólico fotovoltaico, Se consideran S/. 2 500,00 para gastos de capacitación del personal.

Tabla N° 8: Costo Directo sistema hibrido eólico-fotovoltaico

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL S/.
1	SUMINISTRO DE MATERIALES	134343,4
2	MANO DE OBRA	7834,0
3	TRANSPORTE	5466,8
4	CAPACITACION	2500,0
COSTO DIRECTO TOTAL S/.		150144,2

Fuente: Elaborado por el propio Autor

4.4.2 Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria

Tabla N° 9: Suministro de Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRADO	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
			(1) CANT.		
1,00	POSTES DE CONCRETO				
1,01	POSTE DE 8/300m daN (INCLUYE PERILLA)	u	10	400,00	4 000,00
1,02	POSTE DE 8/200m daN (INCLUYE PERILLA)	u	13	450,00	5 850,00
	SUB-TOTAL 1:				9 850,00
2,00	CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO				
2,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X25+16/25 mm²	Km	0,92	8 700,00	8 038,80
	SUB-TOTAL 2:				8 038,80
3,00	ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	9	6,97	62,73
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	18	7,66	137,88
3,03	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	90	0,33	29,70
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	12	12,00	144,00
3,05	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 35mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	20	15,00	300,00
3,06	CONECTOR, PARA Al 25mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	1	4,00	4,00
3,07	CONECTOR AISLADO, PARA Al 35mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	9	15,00	135,00
	SUB-TOTAL 3:				0 813,31
4,00	CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE				
4,01	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, TRIPOLAR, 3x10 mm², CUBIERTA NEGRA	m	30	6,50	195,00
4,02	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, TIPO N2XY BIPOLAR, 2x2,5 mm²	m	5	4,30	19,35
4,03	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm², CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m		6,00	
4,04	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm²	m	43	6,00	258,00
	SUB-TOTAL 4:				0 472,35
5,00	LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS				
5,01	PASTORAL TUBO A°G° 38 mm f. INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVIS	u	3	52,31	156,93
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	3	27,64	82,92
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	3	4,70	14,10
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	3	12,00	36,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 35 mm² /Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACI	u	3	8,00	24,00
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² /Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	3	12,00	36,00
	SUB-TOTAL 5:				0 349,95
6,00	RETENIDAS Y ANCLAJES				
6,01	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	3	2,96	8,88
6,02	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	22	6,58	144,76
6,03	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	11	5,00	55,00
6,04	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	11	2,96	32,56
6,05	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	88	3,40	299,20
6,06	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm²	m	11	4,00	44,00
6,07	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	11	6,50	71,50
6,08	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	22	4,18	91,96
6,09	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 254 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTR	u	11	5,92	65,12
6,10	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2,40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN E	u	11	25,00	275,00
	SUB-TOTAL 6:				1 087,98
7,00	ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS				
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	8	6,12	48,96
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 305 mm	u	1	7,03	7,03
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	8	2,65	21,20
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 305 mm	u	12	2,86	34,32
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 305 mm	u	12	7,71	92,52
7,06	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmø	u	6	5,26	31,56
7,07	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA	u	20	6,58	131,60
7,08	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmø	u	33	0,99	32,67
7,09	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm ø	u	40	4,28	171,20
	SUB-TOTAL 7:				0 571,06
8,00	PUESTA A TIERRA				
8,01	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	4	5,00	20,00
8,02	CONECTOR DOBLE VIA BIMETALICO PARA CABLE DE ALEACION DE ALUMINIO HASTA 35 mm² Y COBRE DE	u	4	15,00	60,00
8,03	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	4	28,00	112,00
8,04	AGUA	Lt	200	0,70	140,00
8,05	DOSIS DE TORGHHEL	u	4	78,00	312,00
	SUB-TOTAL 8:				644,00
9,00	CONEXIONES DOMICILIARIAS				
9,01	TUBO PLASTICO DE PVC SAP, DE 19 mm f x 3 m PROVISTO DE CODO (19mmf x 180°)	u		12,00	
9,02	TEMPLADOR DE A°G°	u	42	1,40	58,80
9,03	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACI	u	21	1,81	38,01
9,04	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	21	6,00	126,00
9,05	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	21	72,38	1.519,98
9,06	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40	u	21	85,00	1.785,00
9,07	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 38mm x 1,5mm x 6,0m, PROVISTO DE CODO	u		5,00	
9,08	CORREA PLASTICA DE AMARRE	u		0,50	
	SUB-TOTAL 9:				3 527,79
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	25 355,24

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 10: Valor referencial para el montaje de las redes secundarias

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRADO		PRECIO UNIT. S/.	TOTAL S/.
			(1) CANT.	TOTAL CANT.		
1,00	<u>OBRAS PRELIMINARES</u>					
1,01	REPLANTEO TOPOGRÁFICO, UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS E INGENIERÍA DE DETALLE DE LAS REDES SECUNDARIAS	Loc	1	1	700	700
	SUB-TOTAL 1:					700,00
2,00	<u>INSTALACIÓN DE POSTES</u>					
2,01	TRANSLADO DE POSTES DE BT AL PUNTO DE IZAJE	u	10	10	43,19	0 431,90
2,02	EXCAVACION DE HOYO EN TERRENO TIPO I	u	13	13	42,00	546,00
2,03	IZADO DE POSTES	m ³	10,24	10,24	86,25	0 883,20
2,04	CIMENTACION DE POSTES CAC DE BT	u	10	10	27,93	0 279,30
2,04	CODIFICACION DE POSTES DE CAC DE BAT	u	13	13	51,16	665,08
2,04	SOLADO DE CONCRETO CICLPEO PARA POSTES DE BT	u	23	23	14,87	342,01
2,06	TRANASLADOS DE AGREGADOS A PUNTO DE IZAJE	m ³	7,17	7,17	85,26	0 611,31
	SUB-TOTAL 2:					3 758,80
3,00	<u>INSTALACIÓN DE RETENIDAS</u>					
3,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso)	m ³	11,26	11,26	42,00	0 472,92
3,02	INSTALACIÓN DE RETENIDA INCLINADA	u	11	11	36,49	401,39
3,03	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE RETENIDA INCLINADA Y VERTICAL	m ³	10,14	10,14	34,52	0 350,03
	SUB-TOTAL 3:					1 224,34
4,00	<u>MONTAJE DE ARMADOS</u>					
4,02	ARMADO TIPO E1/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	8	8	13,12	104,96
4,04	ARMADO TIPO E'1/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	0	0	13,12	0,00
4,08	ARMADO TIPO E3/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	5	5	13,12	65,60
4,10	ARMADO TIPO E4/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	6	6	13,12	78,72
4,12	ARMADO TIPO E5/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	1	1	13,12	13,12
4,14	ARMADO TIPO E6/S, SIN CAJA DE DERIVACIÓN PARA ACOMETIDA	u	0	0	13,12	0,00
		u	0	0	15,75	0,00
		u	0	0	15,75	0,00
	SUB-TOTAL 4:					0 262,40
5,00	<u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u>					
5,01	COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE : CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X25+16/25 mm ²	km	0,924	0,92	624,96	574,96
	SUB-TOTAL 5:					0 574,96
6,00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>					
6,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso)	m ³	4,10	4,10	31,62	129,64
6,02	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1	u	4	4	29,73	118,92
6,03	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 CON TIERRA CERNIDA	m ³	4,10	4,10	42,76	0 175,32
	SUB-TOTAL 6:					0 423,88
7,00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>					
7,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	3	3	20,33	60,99
7,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	3	3	35,81	107,43
	SUB-TOTAL 7:					168,42
8,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>					
8,03	CONEXIÓN DE ACOMETIDAS DOMICILIARIAS	u	21	21	36,49	766,29
8,05	MONTAJE DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA Y CAJA	u	21	21	20,10	422,10
8,06	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	21	21	25,00	0 525,00
	SUB-TOTAL 8:					1 713,39
9,00	<u>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:</u>					
9,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1	1	500,00	500,00
9,02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INC. LA PRESENTACIÓN DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1	1	1200,00	1.200,00
	SUB-TOTAL 9:					1.700,00
TOTAL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO					S/.	10 526,19

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 11: Presupuesto para la Red Secundaria

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	25 355,24
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	10 526,19
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	2 535,52
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	38 416,95

Fuente: Elaborado por el propio Autor

4.4.3 Presupuesto Total

Tabla N° 12: presupuesto referencial total

ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL S/.
A	PRESUPUESTO DEL SISTEMA HIBRIDO: EOLICO FOTOVOLTAICO	150144,15
B	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	38416,95
	TOTAL	188561,10
C	GASTOS GENERALES	9428,06
D	UTILIDADES	18856,11
	COSTO DIRECTO	216845,27
F	IGV	39032,15
	TOTAL	255877,42

Fuente: Elaborado por el propio Autor

4.5 Evaluación Económica del Proyecto

4.5.1 Costo Teórico de la Energía Generada

Para calcular el Costo Teórico de la Energía Generada se usará la siguiente formula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

Donde:

i = Inversión Inicial (S/.)	150144,15
E = Energía durante la vida del sistema (20 años)	2629522,35
Mt = Costes de operación y mantenimiento (S/.)	30028,83
r = Tasa de descuento	0,12

Costo de la Energía Generada (S/./kW-h)	0,06851928
--	-------------------

4.5.2 Cálculo de los Indicadores Económicos

Para realizar la evaluación económica debemos considerar los siguientes parámetros.

Costo de Venta de Energía: 0,5 S/. /kWh

Inversión Total: S/. 255877,42

Con lo cual obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 21: Evaluación Económica

	0	1	2	3	4	5	15	16	17	18	19	20
Inversión Inicial	-255877,42											
Gastos en Operación y Mantenimiento		-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44	-1501,44
TOTAL EGRESOS	-255877,42	-1501,44										
Ingresos por ventas de energía (0,5 \$/kW-h)		3062,69	3084,90	3107,33	3129,98	3152,86	3394,68	3420,21	3446,00	3472,05	3498,36	3524,94
Ingresos por bonos de CO2		35000,00	35253,77	35510,09	35768,97	36030,46	38793,87	39085,67	39380,40	39678,09	39978,76	40282,44
Ahorro de pobladores en leña y velas		6000,00	6043,50	6087,44	6131,82	6176,65	6650,38	6700,40	6750,93	6801,96	6853,50	6905,56
TOTAL DE INGRESOS		44062,69	44382,18	44704,86	45030,78	45359,97	48838,92	49206,29	49577,33	49952,10	50330,62	50712,94
BENEFICIOS NETOS	-255877,42	42561,25	42880,73	43203,42	43529,34	43858,53	47337,48	47704,84	48075,89	48450,66	48829,18	49211,50

VAN	77097,75
TIR	16%

Fuente: Elaborado por el Autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo al estudio realizado para el presente proyecto, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El caserío Membrillar requiere una Energía diaria de 19,32 kW-h/día y la Potencia requerida es de 4,024 kW.
- Como resultado del recurso Solar y Eólico en el caserío Membrillar se tiene que la radiación media es de 3,48 kW h/m², y la velocidad del viento media es de 4,86 m/s.
- El Sistema Híbrido comprenderá de: 01 Aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW, 36 Paneles Fotovoltaicos SIMAX 190 Wp, 12 Baterías Rolls de 503 Ah, 01 inversor VICTRON ENERGY de 5 kW.
- El Presupuesto que involucra el Sistema Híbrido es de: S/. 255877,42
- El costo teórico de generar energía eléctrica es de S/. 0,068519, y como resultado de la evaluación económica a 20 años se obtuvo un VAN de S/. 77097,75 y una TIR de 16%
- Por todo lo antes mencionado resulta que el Proyecto es VIABLE.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que en otras localidades que no cuentan con el Servicio de Energía Eléctrica se evalúe la posibilidad de utilizar las energías renovables, como mecanismo de solución ante la carencia de este servicio..

- Se recomienda que los Gobiernos Regionales realicen un inventario de los recursos energéticos renovables a fin de evaluar sus potencialidades y por ende sus usos..

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

Agustin Castejon, G. S. (2015). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: Reverte.

Chercca Ramírez, J. A. (2014). Aprovechamiento del Recurso Eólico y Solar en la Generación de Energía Eléctrica y la Reducción de emisiones de CO2 en el Poblado Rural La Gramita de Casma. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Diaz Galinos, L. A. (2010). Análisis Energético de un Sistema Híbrido Eólico - Fotovoltaico en el Sector Típico IV utilizando el método de Series Sintéticas. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Guevara Medina, M. (2013). Sistema Híbrido de Generación de Energía Eléctrica Eólico - Fotovoltaico Aislado para el Suministro Eléctrico demandado por un Edificio Habitacional. Mexico: Universidad Profesional Adolfo López Matos.

Herrera Barros, V. C. (2011). Sistema Híbrido Eólico - Fotovoltaico para la Generación de Energía Eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

Hualpa Mamani, M. T. (2016). Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico solar en el departamento de Moquegua. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

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 Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Mendez Viro, F. J. (2010). Análisis y Técnicas para la implementación de un Sistema Híbrido Solar Eólico. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

SENAMHI. (2003). Atlas de energía solar del Perú. Lima, Perú: SENAMHI.

Serván Sócola, J. (2014). Análisis Técnico Económico de un Sistema Híbrido de Baja Potencia Eólico Solar conectado a la Red. Piura, Perú: Universidad de Piura.

TECSUP. (2016). Generación de energía fotovoltaica. Lima, Perú: Tecsup.

ANEXOS

ANEXO 1: DATA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A LA ALTURA DE 2 m

ANEXO 2: DATA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A LA ALTURA DE 18 m

ANEXO 3: RADIACIÓN SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

**ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SIMAX DE 190
Wp**

ANEXO 5: FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS ROLLS DE 12 V-503 Ah

ANEXO 6: FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR VICTRON ENERGY 5 KW

ANEXO 7: CATALOGO DE CABLES NYN

ANEXO 8: PARÁMETROS Y FACTORES DE CAÍDA DE TENSIÓN

ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR

ANEXO 10: ENCUESTA SOCIOECONÓMICA

**ANEXO 11: PLANOS DEL SISTEMA HIBRIDO Y RED DE DISTRIBUCIÓN
SECUNDARIA**

ANEXO 1: DATA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A LA ALTURA DE 2 m

ANEXO 2: DATA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A LA ALTURA DE 18 m

ANEXO 3: RADIACIÓN SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

**ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SIMAX DE 190
Wp**

ANEXO 5: FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS ROLLS DE 12 V-503 Ah

ANEXO 6: FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR VICTRON ENERGY 5 KW

ANEXO 7: CATALOGO DE CABLES NYY

ANEXO 8: PARÁMETROS Y FACTORES DE CAÍDA DE TENSIÓN

ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR

ANEXO 10: ENCUESTA SOCIOECONÓMICA

**ANEXO 11: PLANOS DEL SISTEMA HIBRIDO Y RED DE DISTRIBUCIÓN
SECUNDARIA**