



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO**

**ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA  
ELÉCTRICO APROVECHANDO EL  
RECURSO EÓLICO Y SOLAR PARA  
ELECTRIFICAR EL CASERÍO BRICEÑO EN  
MOTUPE - LAMBAYEQUE”**

**Presentado Por:**

**Bach. TAIPE SUAREZ EDWIN AURELIO**

**Asesor:**

**Ing. HÉCTOR OLIDEN NÚÑEZ**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Noviembre del 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO**

**ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO  
APROVECHANDO EL RECURSO EÓLICO Y SOLAR  
PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO BRICEÑO EN  
MOTUPE - LAMBAYEQUE”**

**Presentado Por:**

**Bach. TAIPE SUAREZ EDWIN AURELIO**

**Aprobado por el Jurado Examinador:**

**PRESIDENTE:** Ing. M.Sc. Amado Aguinaga Paz .....

**SECRETARIO:** Lic. Gutiérrez Atoche Egberto Serafín .....

**MIEMBRO:** Ing. Tapia Asenjo Robinson .....

**ASESOR:** Ing. Héctor Oviden Núñez .....

**Lambayeque – Perú**

**Noviembre del 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
TESIS**

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

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO  
APROVECHANDO EL RECURSO EÓLICO Y SOLAR  
PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO BRICEÑO EN  
MOTUPE - LAMBAYEQUE”**

**CONTENIDOS:**

**CAPITULO I:** PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

**CAPITULO II:** MARCO TEÓRICO.

**CAPITULO III:** MARCO METODOLÓGICO.

**CAPITULO IV:** PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.

**CAPITULO V:** ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

**CAPITULO VI:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**AUTOR:**

Bach. TAIPE SUAREZ EDWIN AURELIO

**PRESIDENTE:** Ing. M.Sc. Amado Aguinaga Paz .....

**SECRETARIO:** Lic. Gutiérrez Atoche Egberto Serafín .....

**MIEMBRO:** Ing. Tapia Asenjo Robinson .....

**ASESOR:** Ing. Héctor Oliden Núñez .....

**Lambayeque – Perú**

**Noviembre del 2018**

## DEDICATORIA

A Dios por guiar nuestros pasos para cumplir una de nuestras metas y permitirnos vivir para seguir adelante en el camino hacia el éxito, así también por habernos dado el regalo más grande en la vida que es la familia.

A nuestros padres y hermanos por ser unas personas únicas en nuestras vidas, por tener la paciencia de enseñarnos con amor y aconsejarnos cada día de nuestras vidas siempre con frases positivas hacia el futuro.

*Bach. Taipe Suarez Edwin Aurelio*

## AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis Ing. Héctor Oliden Núñez por su apoyo y colaboración en la realización de esta TESIS y así mismo por las enseñanzas brindadas.

A nuestra alma mater Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por habernos brindado los conocimientos y valores para nuestra vida profesional.

*Bach. Taipe Suarez Edwin Aurelio*

## RESUMEN

El objetivo general de esta tesis fue Dimensionar un sistema eléctrico aprovechando la energía eólica y solar para electrificar el caserío Briceño en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque. El tipo de investigación es aplicada, no experimental, descriptiva y de datos primarios. De los cálculos se obtuvo lo siguiente: La energía promedio diaria necesaria para el caserío Briceño es de 35,45 kWh, con una máxima demanda de 6,93 kW, para 59 viviendas proyectadas, 01 iglesia, 01 local comunal, 01 comedor y 01 colegio.

Con respecto al recurso solar se obtuvieron datos de dos fuentes, según el SENAMHI se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día, según el software METEONORM 4,90 kWh/m<sup>2</sup>/día. Luego para el dimensionamiento se ha considerado 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día. Con respecto del recurso eólico se ha tomado los valores de la velocidad del viento de la estación meteorológica Lambayeque del SENAMHI donde se determinó que uno de los meses crítico es julio, por lo que se consultó los datos de estación meteorológica de la FIME. De los cálculos y selección de equipos se obtuvo que el sistema de generación estará conformado por 01 aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW, 28 paneles fotovoltaicos Jinko de 320 Wp, 44 baterías RITAR de 200 Ah, 02 regulador de carga 150/85 y 01 inversor Must Solar de 10 kW. El sistema de distribución estará conformado por postes de 8 m y conductores eléctricos. Proponemos en la red de distribución secundaria usar el conductor 2x16/25 y 1x16/25. El Costo referencial para el sistema eléctrico con energía eólica solar es de S/. 481 676,25

**Palabras claves:** aerogenerador, irradiación solar, panel fotovoltaico, controlador, inversor

## ABSTRACT

The general objective of this thesis was to design an electrical system taking advantage of wind and solar energy to electrify the Briceño farm in the district of Motupe department of Lambayeque. The type of research is applied, not experimental, descriptive and primary data. The following was obtained from the calculations: The average daily energy required for the Briceño farmhouse is 35,45 kWh, with a maximum demand of 6,93 kW. For 59 projected homes, 01 church, 01 communal space, 01 dining room and 01 school.

With respect to the solar resource, data was obtained from two sources, according Lambayeque to SENAMHI, a value of 4.75 kWh / m<sup>2</sup> / day was obtained, according to the METEONORM software 4,90 kWh / m<sup>2</sup> / day. Then for the dimensioning of has considered 4,75 kWh / m<sup>2</sup> / day. Regarding the wind resource, the values of the wind speed of the SENAMHI meteorological station were taken, where it was determined that one of the critical months is July, so the data from the FIME weather station was consulted. From the calculations and equipment selection it was obtained that the generation system will be formed by 01 ENAIR 70 PRO 5 kW wind turbine, 28 Jinko photovoltaic panels of 320 Wp, 44 RITAR batteries of 200 Ah, 02 charge regulator 150/85 and 01 Must Solar the 10 kW. The distribution system will consist of 8 m poles and electrical conductors. We propose in the secondary distribution network to use the 2x16 / 25 and 1x16 / 25 conductors. The referential cost for the electric system with solar wind energy is S / .481 676,25

**Keywords:** wind turbine, solar irradiation, photovoltaic panel, controller, inverter

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Realidad Problemática .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.3. Delimitación de la Investigación.....	3
1.3.1. Delimitación espacial.....	3
1.3.2. Delimitación temporal.....	8
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS .....	8
1.5. Limitaciones de la TESIS .....	9
1.6. Objetivos de la TESIS.....	10
1.6.1. Objetivo General .....	10
1.6.2. Objetivos Específicos .....	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Antecedentes de Estudios.....	11
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	20
2.2.1. Energía solar .....	20
2.2.2. Energía eólica .....	40
2.2.3. Sistema eólico solar.....	52
2.2.4. Distribución de Weibull .....	54
2.2.5. Aerogenerador.....	55
2.2.6. Tipos de aerogeneradores.....	55
2.2.7. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico.....	57
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada. ....	63



CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	69
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	69
3.2. Población y muestra .....	71
3.3. Hipótesis.....	71
3.4. Operacionalización de variables.....	71
3.5. Métodos y Técnicas de investigación. ....	73
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados .....	74
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos .....	75
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	76
4.1. Propuesta de la investigación .....	76
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	78
5.1. Consumo de energía en el caserío Briceño.....	78
5.1.1. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día) .....	78
5.2. Evaluación del recurso solar y eólico.....	83
5.2.1. Calculo del potencial eólico .....	86
5.3. Calculo del sistema eléctrico eólico - solar .....	92
5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico .....	92
5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	93
5.3.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V.....	102
5.4. Medrado y presupuesto .....	112
5.4.1. Medrado y presupuesto del sistema fotovoltaico.....	112
5.4.2. Medrado y presupuesto de la red de distribución secundaria .....	113
5.4.3. Presupuesto Total .....	114
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	115
6.1. Conclusiones.....	115
6.2. Recomendaciones.....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117
ANEXOS.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ubicación del distrito de Motupe.....	3
Tabla N° 2: escala de Beaufort .....	44
Tabla N° 3: valores para algunos tipos de terreno .....	45
Tabla N° 4: Técnicas e instrumentos .....	71
Tabla N° 5: Operacionalización de Variables .....	72
Tabla N° 6: tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque .....	78
Tabla N° 7: Consumo de energía promedio diario del caserío Briceño .....	82
Tabla N° 8: Radiación solar en el Caserío Briceño con el software METEONORM ...	85
Tabla N° 9: Radiación solar promedio diario .....	86
Tabla N° 10: Frecuencia de la velocidad.....	88
Tabla N° 11: Cambio de variable .....	89
Tabla N° 12: aplicando método de los mínimos cuadrados.....	90
Tabla N° 13: Horas de duración de las velocidades .....	91
Tabla N° 14: Características eléctricas del panel fotovoltaico Jinko .....	95
Tabla N° 15: Características mecánicas del panel fotovoltaico Jinko de 320 Wp .....	95
Tabla N° 16: características del generador fotovoltaico .....	96
Tabla N° 17: Capacidad Vs Costo de las baterías RITAR .....	98
Tabla N° 18: Características eléctricas de los conductores NYY.....	101
Tabla N° 19: Caída de tensión C-I .....	104
Tabla N° 20: caída de tensión C-II .....	105
Tabla N° 21: Caída de tensión C-III .....	106
Tabla N° 22: Continuación caída de tensión C-III.....	107
Tabla N° 23: Caída de tensión C-IV .....	108
Tabla N° 24: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno .....	109
Tabla N° 25: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA .....	109
Tabla N° 26: Cálculos mecánicos del conductor eléctrico .....	110
Tabla N° 27: Características de los cables autoportantes .....	111
Tabla N° 28: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema eólico-solar.....	112
Tabla N° 29: costo directo sistema eólico solar .....	112
Tabla N° 30: Costo directo de la red de distribución secundaria .....	113
Tabla N° 31: Presupuesto total .....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del distrito de Motupe .....	4
Figura N° 2: Temperatura máxima, mínima promedio en Motupe .....	5
Figura N° 3: Precipitación de lluvia mensual promedio .....	6
Figura N° 4: Velocidad promedio del viento en Motupe .....	8
Figura N° 5: Distribución de la radiación solar .....	20
Figura N° 6: Curva de irradiación diaria y horas sol pico .....	21
Figura N° 7: Panel solar fotovoltaico .....	22
Figura N° 8: Partes de un panel fotovoltaico .....	24
Figura N° 9: Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos .....	27
Figura N° 10: Curvas IV y de potencia .....	28
Figura N° 11: Ubicación del controlador solar .....	32
Figura N° 12: Inversor VICTRON ENERGY .....	39
Figura N° 13: Mapa del viento a 80 m promedio anual .....	41
Figura N° 14: Temperatura de la superficie terrestre .....	42
Figura N° 15: Energía útil del viento .....	46
Figura N° 16: Limite Bets .....	49
Figura N° 17: Componentes un sistema eólico .....	50
Figura N° 18: Sistema eólico solar .....	53
Figura N° 19: Aerogenerador de tres palas .....	56
Figura N° 20: Turbina multipala .....	57
Figura N° 21: Irradiación solar en el departamento Lambayeque .....	84
Figura N° 22: velocidad del viento Estación Meteorológica Lambayeque La -SENAMHI .....	87
Figura N° 23 : Distribución acumulada de la velocidad .....	88
Figura N° 24: Aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW .....	92
Figura N° 25: curva de potencia .....	92
Figura N° 26: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW .....	93
Figura N° 27: Batería RITAR de 200 Ah .....	98
Figura N° 28: Inversor Must Solar de 10 kW .....	100

## INTRODUCCIÓN

La presente Tesis titulada **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO APROVECHANDO EL RECURSO EÓLICO Y SOLAR PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO BRICEÑO EN MOTUPE - LAMBAYEQUE”** Se desarrolló con una serie de capítulos que se presentan a continuación:

En el Capítulo I, explica el planteamiento del problema, formando parte de ello la descripción de la situación actual, la delimitación y los objetivos.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico de la investigación, la teoría que sustenta la investigación; el cual está compuesto por los antecedentes, la temática desarrollada, producto de la revisión de literatura de acuerdo a las variables e indicadores.

En el Capítulo III, se explica la metodología de la investigación tomando en consideración los siguientes puntos: El tipo de investigación, la población, técnicas de investigación, así como el análisis estadístico de los datos.

En el Capítulo IV, se presenta la propuesta que dará solución a la realidad problemática.

En el Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de los resultados. Finalmente se da a conocer las conclusiones a las que se llegaron, adjuntándose además los respectivos anexos.

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Al utilizar los recursos fósiles, dañamos la atmósfera -que es la capa más alejada del entorno de vida de la Tierra. Ésta es una mezcla de gases que rodea al planeta y contiene una capa muy fina de ozono que protege los ecosistemas contra la nociva radiación ultravioleta procedente del Sol<sup>1</sup>.

Otro de los grandes problemas de utilizar los combustibles fósiles es la aparición de la lluvia ácida, que se refiere a cualquier forma de precipitación, sea húmeda (como lluvia, nieve o niebla) o seca (polvo o humo). Estos contienen niveles más altos de los normales en ácidos sulfúrico y nítrico y pueden provocar lesiones, un crecimiento más lento en los bosques e incluso muerte de los árboles. Además, la lluvia ácida degrada el suelo y, por supuesto, esto afecta a los árboles y plantas en esas zonas. Además, los efectos se combinan con otros factores ambientales como la sequía o la contaminación.

Sin embargo, la energía eléctrica es un requisito imprescindible para que los pueblos se puedan desarrollar. Y a su vez nos provee servicios que son esenciales para el desarrollo humano, social y económico, como son refrigeración, iluminación, calefacción, cocción de alimentos, acceso a la información, transporte, fuerza motriz, etc.

En el caserío Briceño ubicado en el distrito de Motupe, está formado por 59 viviendas 01 local comunal, 01 iglesia, 01 comedor y 01 comedor en el departamento de Lambayeque, se ha observado que aún no cuenta con servicio de energía eléctrica. En vista de esta situación se plantea el

---

<sup>1</sup> <https://www.ecosiglos.com/2017/08/crisis-energetica-causas-consecuencias-y-soluciones.html>

aprovechamiento de la energía eólica y solar a través del dimensionamiento de un sistema eléctrico que haga uso de estas energías.

## 1.2. Formulación del Problema

¿Aprovechando la energía eólica y solar será posible dimensionar un sistema eléctrico para electrificar el caserío Briceño perteneciente al distrito de Motupe departamento de Lambayeque?

## 1.3. Delimitación de la Investigación

### 1.3.1. Delimitación espacial

La presente tesis se realizó en el caserío Briceño ubicado en el distrito de Motupe perteneciente al departamento de Lambayeque.

Tabla N° 1: Ubicación del distrito de Motupe<sup>2</sup>

Longitud	Latitud
-79.7680666670	-6.26518666700

El **Distrito peruano de Motupe**<sup>3</sup> La ciudad de Motupe está ubicada al norte de la provincia de Lambayeque a 136 m.s.n.m, tiene una temperatura promedio de 25°, su clima es seco, caluroso y está a 79 km de distancia de la ciudad de capital regional Chiclayo. A esta hermosa ciudad se le ha considerado como “Capital de la fe y religiosidad popular”, porque es un pueblo profundamente religioso y celebra la gran festividad religiosa en honor a la Santísima Cruz de Chalpón, que promueve grandes peregrinaciones de fieles vienen de diferentes partes del país.

---

<sup>2</sup> <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

<sup>3</sup> [http://www.munimotupe.gob.pe/Archivo\\_Publicaciones/historiamotupe.pdf](http://www.munimotupe.gob.pe/Archivo_Publicaciones/historiamotupe.pdf)

## Historia

Es famoso por la celebración religiosa de la Cruz de Chalpón; antiguamente fue la capital del cacicazgo "Motux" que quiere decir "Sombra del Indio".

Tuvo una existencia pre Inca, quedando aún vestigios de este pasado, como las ruinas de Mondragón, Sonolipe, Cerro de la Virgen y el complejo arqueológico de Apurlec, que según el arqueólogo alemán Enrique Bruning, son las ruinas más antiguas de esta provincia. En la colonia española Motupe perteneció al corregimiento de Piura.

El 19 de septiembre de 1828 el pueblo de Motupe es elevado a la categoría de ciudad.

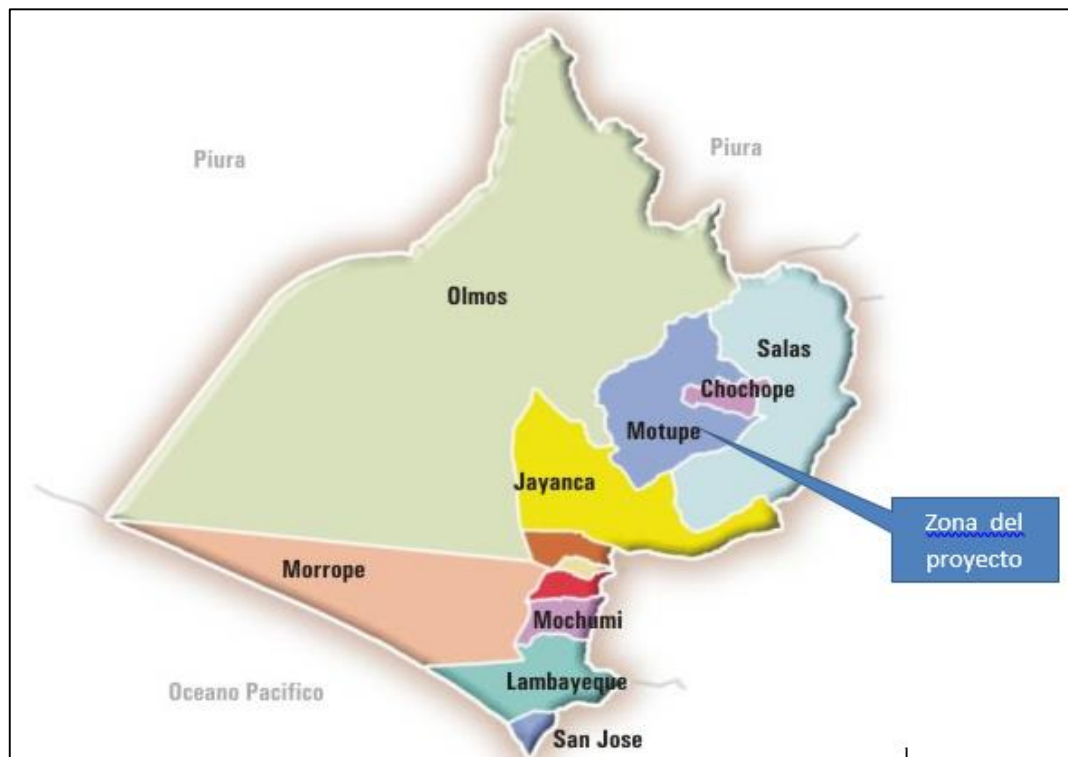


Figura N° 1: Ubicación del distrito de Motupe en Lambayeque<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <https://www.adondevivir.com/propiedades/vendo-terreno-agricola-zona-de-influencia-del-51078740.html>

## Clima<sup>5</sup>

La temporada calurosa dura 2,9 meses, del 15 de enero al 11 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C. El día más caluroso del año es el 26 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C.

La temporada fresca dura 5,0 meses, del 8 de junio al 9 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El día más frío del año es el 11 de agosto, con una temperatura mínima promedio de 19 °C y máxima promedio de 30 °C.

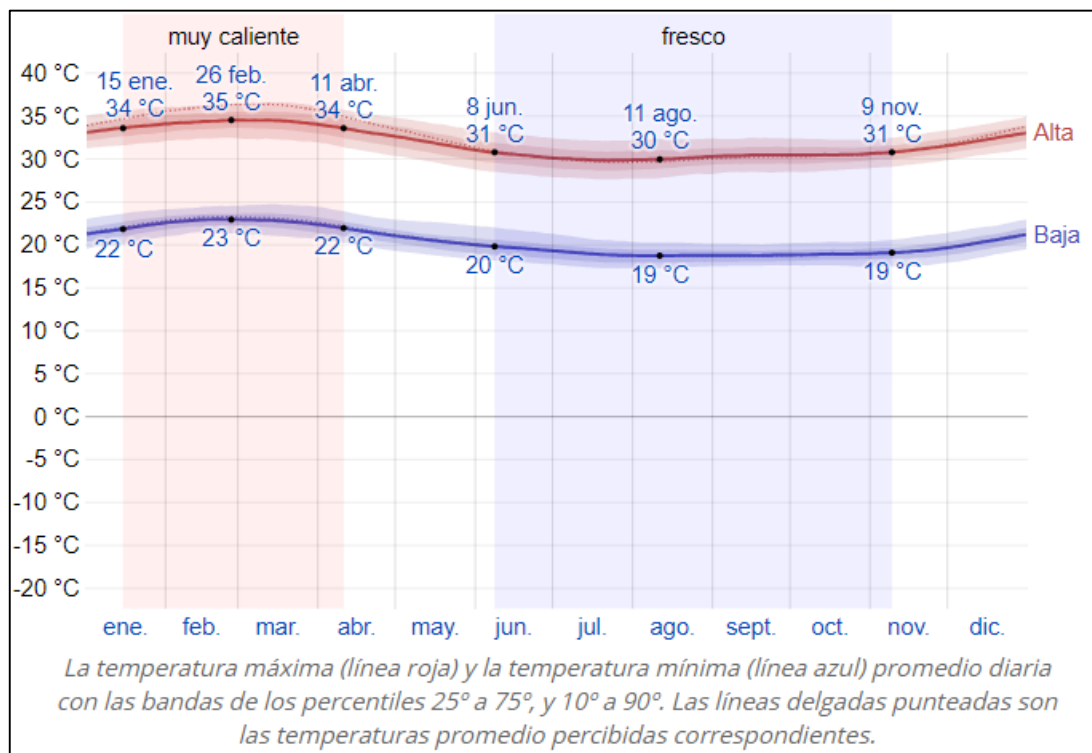


Figura N° 2: Temperatura máxima, mínima promedio en Motupe<sup>6</sup>

<sup>5</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

<sup>6</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>



## Lluvia<sup>7</sup>

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Motupe tiene una variación ligera de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 2,7 meses, del 19 de enero al 9 de abril, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros.

La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 24 de febrero, con una acumulación total promedio de 21 milímetros.

El periodo del año sin lluvia dura 9,3 meses, del 9 de abril al 19 de enero.

La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 2 de julio, con una acumulación total promedio de 0 milímetros.

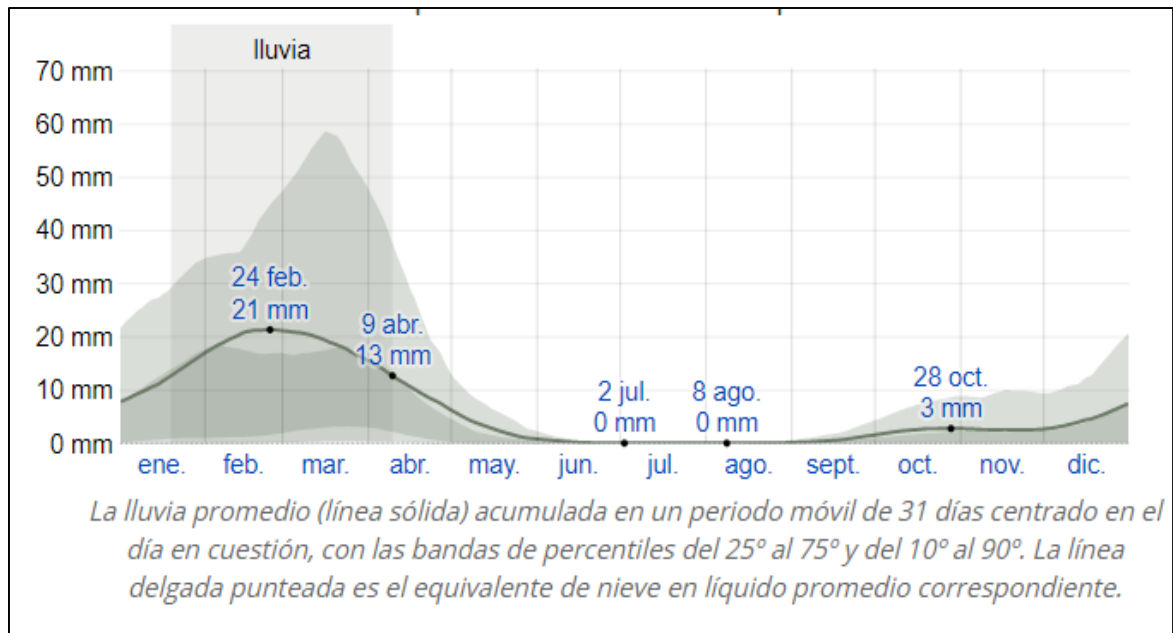


Figura N° 3: Precipitación de lluvia mensual promedio<sup>8</sup>

<sup>7</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

<sup>8</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

## **Viento**<sup>9</sup>

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Motupe tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 4,6 meses, del 7 de septiembre al 26 de enero, con velocidades promedio del viento de más de 9,8 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 14 de noviembre, con una velocidad promedio del viento de 10,8 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 7,4 meses, del 26 de enero al 7 de septiembre. El día más calmado del año es el 26 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 8,8 kilómetros por hora.

---

<sup>9</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

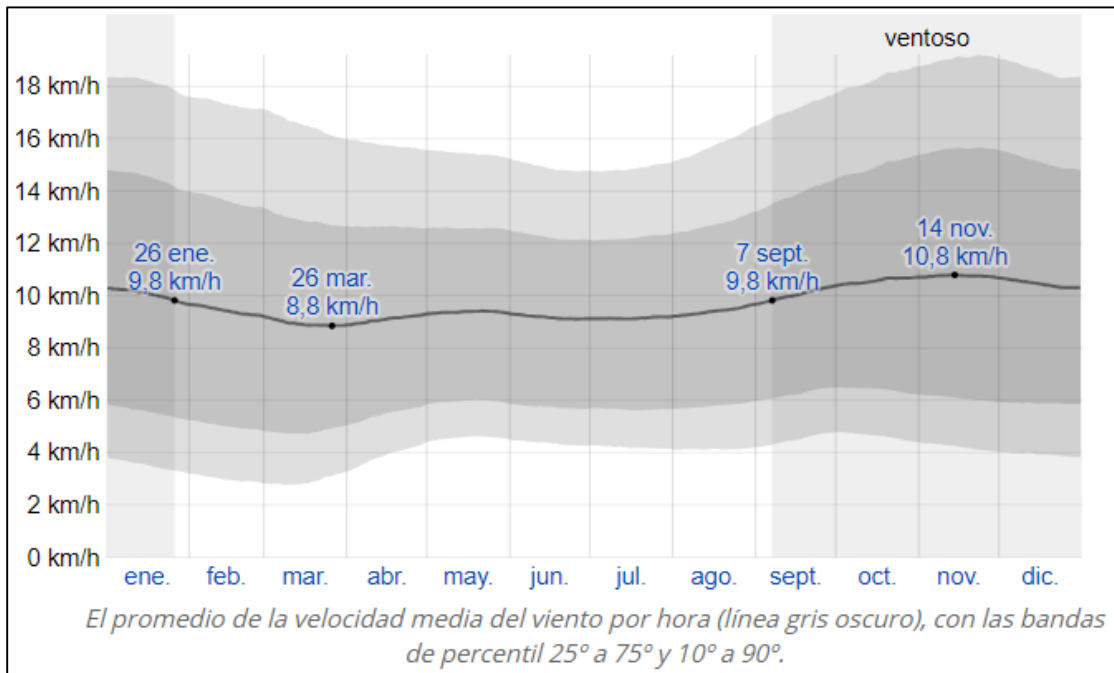


Figura N° 4: Velocidad promedio del viento en Motupe<sup>10</sup>

### 1.3.2. Delimitación temporal

El tiempo que duró la investigación fue de 06 meses.

## 1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

### Justificación ambiental

El uso de las energías convencionales genera valores de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, hidrocarburos no quemados y otros, en cantidades de acuerdo a la calidad de la combustión, por lo cual se justifica ambientalmente el proyecto de investigación.

<sup>10</sup> <https://es.weatherspark.com/y/19280/Clima-promedio-en-Motupe-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

### **Justificación económica**

Mejora de la calidad de vida, ayudaría a que los pobladores ya no realicen gastos extras en velas, mecheros, u otras formas de obtener iluminación en las noches, evitan horas de camino para cargar el celular.

### **Justificación Social**

Con este trabajo de tesis posibilitará beneficios provechosos en cuanto al aumento de la calidad de vida de los habitantes, solucionando el servicio de energía eléctrica en localidades rurales inaccesibles. Dando lugar al inicio de expectativas de progreso y desarrollo para la comunidad, brindándoles así un mejor futuro para sus familias.

### **Justificación Científica**

Promover el uso de las energías no convencionales. Esta tesis servirá como un antecedente para trabajos posteriores relacionados con el tema de sistema eléctricos aprovechando la energía eólica y solar.

## **1.5. Limitaciones de la TESIS**

Se ha considerado datos de la estación meteorológica del SENAMHI ubicado en Jayanca y datos de la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UNPRG.

El dato de radiación solar se ha limitado a los datos obtenidos del atlas solar del SENAMHI del 2003, y del software SOLARIUS PLUS, el atlas eólico y el uso del software METEONORM.

## **1.6. Objetivos de la TESIS**

### **1.6.1. Objetivo General**

Dimensionar un sistema eléctrico aprovechando la energía eólica y solar para electrificar el caserío Briceño en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la máxima demanda y la energía eléctrica promedio diaria requerida por el caserío Briceño.
- b) Evaluar el recurso eólico y solar para el aprovechamiento en la producción de energía eléctrica.
- c) Determinar los equipos para la generación eléctrica y red de distribución secundaria utilizando la energía eólica y solar.
- d) Realizar una evaluación de los costos para el sistema eléctrico utilizando energía eólica y solar para electrificar el caserío Briceño.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

#### Contexto Internacional

Según **Herbas Moreira y Moscoso Noroña** (2015) en su tesis titulado “ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN BASE AL USO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL PÁRAMO CHALUPAS, PERIODO 2015.” El presente proyecto se refiere al análisis de potencial eólico-solar, a los instrumentos utilizados para la obtención de datos y la selección de los elementos intervinientes para generar energía eléctrica y el funcionamiento independiente de cada uno de los elementos existentes. El sistema aprovecha los recursos naturales eólico-solar y demuestra los métodos de conversión la energía mecánica a eléctrica. El sistema consta de partes mecánicas, eléctricas, electrónicas y de almacenamiento, las cuales conforman un sistema de generación eléctrica. El beneficio de este proyecto está en la satisfacción del usuario en base al estudio y correcta selección de equipos, ya que de esta manera se podrán suplir las necesidades energéticas, y se logra de manera muy grata la Vinculación de la Universidad con el Pueblo. El análisis viene dado mediante la obtención previa de datos del viento y de radiación solar en el punto del proyecto mediante un anemómetro y un piranómetro, y la demostración matemática la cual nos indica que los recursos eólico-solares del Páramo de Chalupas son idóneos para la implementación de un sistema híbrido el cual consta de un aerogenerador y un panel solar para la

generación de energía, y así dotar de una red eléctrica constante a una familia del sector. (Herbas Moreira y Moscoso Noroña 2015)

Según **Natalia Steve Gómez** en su tesis titulada: “ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA”. En esta tesis nos expresa que investigan las alternativas de generación solar y eólica como soluciones de energización para centros poblados pequeños (menos de 500 habitantes) de 49 municipios que pertenecen a las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia. Primero, se realiza una revisión de la política y normatividad energética actual en Colombia, resaltando aquella relacionada con energías renovables o con las ZNI. Segundo, se analiza el potencial del recurso solar y eólico de los municipios considerados, se realizan cálculos de dimensionamiento de los sistemas de generación y, se calculan costos de generación y de capital aproximados. Finalmente, se diseña una metodología cuantitativa para evaluar las alternativas según criterios económicos; se evalúan las alternativas y se plantea una propuesta energética en donde se presentan las recomendaciones de energización para cada municipio, se plantean instrumentos económicos y se proponen fuentes de financiación.

En el proyecto se realiza un análisis de prefactibilidad económica de desarrollar proyectos de energización a partir de las alternativas solar y eólica en centros poblados pequeños de las ZNI, y de la conveniencia económica de plantear una u otra solución. En particular, se resalta la ventaja de plantear soluciones a partir de energía solar, la cual muestra ser favorable para la mayoría de los municipios. Por otro lado, la energía eólica no muestra

ser tan conveniente para los centros poblados analizados, solamente se recomienda tener en cuenta dicha alternativa en 3 de los 49 municipios. Sin embargo, se recomienda que esta alternativa sea considerada para centros poblados más grandes como cabeceras departamentales y municipales. En general la propuesta recomienda: implementar sistemas fotovoltaicos en 3 municipios, sistemas híbridos solar-eólica en 2 municipios; y analizar la conveniencia de implementar sistemas fotovoltaicos o sistemas híbridos solar-hídricos en 16 municipios, sistemas híbridos solar-hídricos o solar-Diesel en 27 municipios, y sistemas híbridos hídrico-Diesel u otra alternativa en 1 municipio<sup>11</sup>.

Así es que **Rodrigo Sebastián Topampa Agilar** y **Jorge Luis Hidalgo Guerrero** en su tesis “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO CENTRAL HÍBRIDA SOLAR EÓLICA PARA GENERAR 500 W EN LA HACIENDA “LA MERCED” UBICADA EN EL BARRIO SANTA ANA DEL PEDREGAL, PARQUE NACIONAL COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”, este trabajo estuvo encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema híbrido aprovechando los recursos eólicos y solares de la zona, como es el caso de la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, para la generación de energía eléctrica, el mismo que sirvió de apoyo para trabajos de investigación a futuro. La aplicación de tecnologías limpias renovables, están orientadas a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá que la asociación de productores pecuarios

---

<sup>11</sup> (Steve Gomez 2011)



Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país<sup>12</sup>.

### **Contexto Nacional**

Estudio de la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona (Jordan Arias 2009)

El panorama actual del Perú nos indica, según datos del Ministerio de Energía y Minas (MEM), que aproximadamente 6 millones de pobladores no cuentan con el servicio básico de energía eléctrica, lo cual resulta ser un importante impedimento en el crecimiento de cualquier país; ya que lo limita de muchos beneficios y perjudica su calidad de vida al no tener acceso a las telecomunicaciones y a otros servicios que podrían perjudicar su salud. Dentro de este universo de peruanos se encuentran los pobladores de Ruta del Sol, ubicados en el Distrito de San Juan de Marcona, al sur del departamento de Ica, un asentamiento humano cuyos habitantes se dedican principalmente a la pesca y comercio, los cuales ven complicadas sus posibilidades de desarrollo por no contar con energía eléctrica.

Para encontrar la mejor solución a este problema se analizó el aprovechamiento del recurso más abundante con el que cuenta la localidad, el cual según estudios hechos por el MEM resulta ser el eólico. El asentamiento humano "Ruta del Sol", zona que fue motivo del presente estudio, tiene una población de 300 familias, con un promedio de 5

---

<sup>12</sup> Toapanta Agular, Rodrigo Sebastian, y Jorge Lius Hidalgo Guerrero. «Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014.» Ecuador, 2016

habitantes por familia (según el INEI); cada poblador requiere una potencia instalada de 60 W aproximadamente (datos de la MEM). El potencial eólico en la zona de San Juan de Marcona es aproximadamente de 100 MW, con lo cual es capaz de abastecer a todo el Departamento de Ica, cuyo consumo aproximado es de 104 MW. Estos datos, así como la frecuencia de utilización de la electricidad, permitieron dimensionar los sistemas a estudiar, los cuales resultaron de las combinaciones de dos recursos de distinto origen:

El eólico y el fósil (diésel). Se estudiaron tres distintos escenarios: Sistema eólico, híbrido (eólico-diésel) y diésel, cada uno con sus ventajas y desventajas; al analizar el aporte de cada fuente energética en el cómputo global de la energía requerida en la comunidad, se ha elaborado un análisis que contempla los costos asociados a los tres distintos escenarios. El estudio de las alternativas se basa en calcular el coste normalizado (\$/ kWh) de cada sistema, valor que facilitará la elección de la configuración más adecuada. Este proceso incluye todos los gastos asociados a un proyecto durante todo su ciclo de vida, dando por resultado el coste normalizado, (\$/ kWh). Dentro de los costos tomados para este cálculo se consideró la inversión inicial, la vida útil de los distintos componentes, los costos de operación y mantenimiento y el costo asociado al consumo del combustible<sup>13</sup>.

Es así que **Chercca** (2014) en su tesis titulada “APROVECHAMIENTO DEL RECURSO EÓLICO Y SOLAR EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL POBLADO RURAL LA GRAMITA DE CASMA” (Chercca Ramirez 2014) en el resumen nos explica

---

<sup>13</sup> (Jordan Arias 2009)

que la investigación y desarrollo en tecnología de Aerogeneración de baja potencia (2 kW), y la implementación de Sistemas Fotovoltaicos es limitada en el país y en el mercado internacional, no obstante que se presenta como una solución energética estratégica para zonas rurales que disponen del recurso eólico y solar en lugares en donde no se tiene el acceso al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y en donde no existe redes de Transmisión y Distribución Eléctrica de dicho sistema, entonces en dicha zona la única alternativa es la generación aislada, por ello la energía renovable es una buena opción y se plantea el uso de aerogeneradores de pequeña potencia para satisfacer la demanda de energía eléctrica doméstica y comunitarias en zonas rurales (Chercca Ramirez 2014).

La presente Tesis de Maestría 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/m<sup>2</sup>.

Existe otra alternativa para el suministro de energía eléctrica la cual es la ampliación de redes de transmisión y/o distribución de energía eléctrica desde el norte de la ciudad de Casma hasta la zona de la Caleta “La Gramita” que se encuentra a una distancia de 21 km, haciendo inviable esta alternativa de solución por alto costo del proyecto, que supera los US\$ 840 000 (solo la red primaria de MT).<sup>14</sup>

Para la realización de este estudio se ha calculado la demanda energética a partir de la demanda máxima de los consumidores, teniendo en cuenta la potencia instalada, así como los factores de demanda de simultaneidad y de utilización. Además, se distingue las cargas de uso residencial, que considera el consumo doméstico, y el de uso comunitario, en el que se incluye una Posta Médica, Local Comunal, Local de Pescadores, una pequeña escuela y el alumbrado público. Es decir, la energía utilizada en viviendas no solamente es usada para la iluminación y artefactos eléctricos; si no también para cargas especiales para los locales de uso comunitario

En los criterios de optimización del sistema se ha considerado la mayor confiabilidad del sistema de tal forma de no afectar las cargas críticas de uso comunitario para esta localidad; no obstante, el sistema tiene capacidad de suministrar energía para todas las viviendas de dicha caleta.

Este material se brinda como herramienta de consulta, esperando contribuir con la implementación de futuros proyectos similares en zonas de similar

---

<sup>14</sup> (Chercca Ramirez 2014)

característica a “La Gramita” como son nuestras caletas ubicadas en el litoral peruano como son: “La Isilla”, “Los Lobos” y “La Tortuga” en Paita, “La Planchada” en Paracas, “Los Órganos” en el Alto, “La sorda” en Camaná, “Matacaballos” en Castilla, “Lobitos” en Talara. Todas ellas ubicadas a más de 20 km de las redes eléctricas de energía convencional. (Chercca Ramirez 2014).

### **Contexto Local**

Según **Llauce Chozo Anthony Joel** en su tesis titulado “IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL RESTAURANT EL CRUCEÑITO, UBICADO EN EL KM 90, CARRETERA A LAMBAYEQUE-PIURA” Nos dice que el restaurant está en un lugar donde no hay el servicio eléctrico en redes de baja tensión, se optó por la implementación de un sistema fotovoltaico comercial, remplazando la generación eléctrica de un motor diésel. El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) autónomo en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados a comunidades de nuestra región que aún no cuentan con el suministro eléctrico, además de contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, así mismo capacitar a la población sobre la gran importancia que tiene la energía solar y sus diferentes aplicaciones. Por otra parte este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

Para el desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la máxima demanda de energía eléctrica en el restaurant “El Cruceñito” propiedad del Sr. Orlando Santamaría Baldera y así aplicarla al diseño. Se tuvo en cuenta la radiación solar existe en la región de Piura usando datos estadísticos de NASTEC y de esta manera poder seleccionar los componentes a utilizar. La orientación del panel fotovoltaico tendrá la inclinación adecuada para captar la mayor radiación posible y nuestro sistema sea lo más eficiente posible. La potencia requerida para el sistema es de 870 Wp, que se obtuvo según cálculos realizados, y cada panel tendrá una potencia de 145 Wp para que su funcionamiento sea con total eficiencia.

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir el consumo de combustible diésel en 912 galones/año. Se recomienda difundir y apoyar la investigación sobre este tipo de tecnología y así desarrollar proyectos en beneficio de comunidades que aún no tienen el servicio de electricidad en sus domicilios<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Llauce Chozo , Anthony Joel. «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, 2016.

## 2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

### 2.2.1. Energía solar

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100%. Según el Instituto Geofísico del Perú, en términos generales, el 24% de la radiación llega directamente, el 21% de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29% se pierde en el espacio (Valdiviezo Salas 2014).

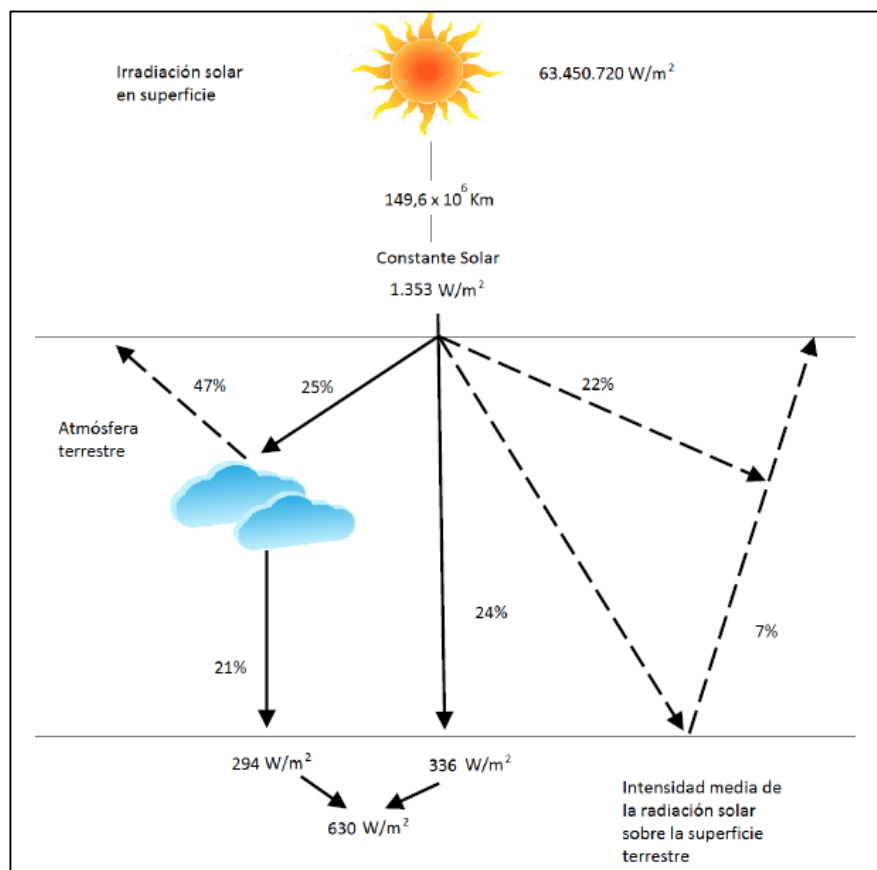


Figura N° 5: Distribución de la radiación solar<sup>16</sup>

<sup>16</sup> (Valdiviezo Salas 2014)

Existen tres componentes de la radiación solar:

**Directa:** Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.

**Difusa:** Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.

**Albedo:** Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

#### 2.2.1.1. Horas Solar pico.

La hora solar pico nos indica el número de horas al día en las que se recibe una irradiación solar de  $1\,000\text{ W/m}^2$ . Si se cumplieran el resto de condiciones estándar, sería el número de horas al día en las que un panel fotovoltaico proporcionaría su potencia pico. Multiplicando HSP por potencia pico, obtendríamos la energía que proporciona un panel fotovoltaico (sin considerar las pérdidas que suelen ser de un 20 %).



Figura N° 6: Curva de irradiación diaria y horas sol pico<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Fuente: [http://www.ecoefecto.com/tecnologia\\_fv.htm](http://www.ecoefecto.com/tecnologia_fv.htm)



### 2.2.1.2. Componentes del sistema solar fotovoltaico

#### 2.2.1.3. Paneles fotovoltaicos

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajusta al valor requerido.

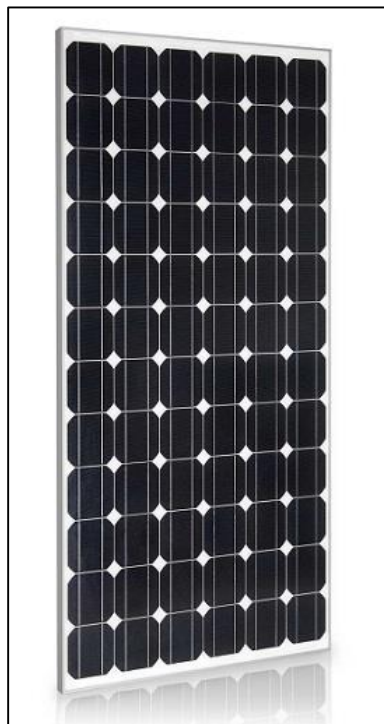


Figura N° 7: Panel solar fotovoltaico<sup>18</sup>

La conexión entre células puede ir en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente requeridos. Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los 3 vatios, aunque este valor dependerá

---

<sup>18</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

de la superficie que mida la célula. De esta manera la potencia que pueda ofrecer un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (directa, DC), a un determinado voltaje (normalmente 12 V ó 24 V).

La tensión e intensidad de corriente que es capaz de ofrecer un panel fotovoltaico dependerá del número de células que disponga y el tipo de conexión entre células. Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias en serie hasta que se alcance la tensión que se desee a la salida del panel, y a continuación, estos ramales de células se asocian en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado.

Por otro lado, al sistema completo formado por el conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos dispuestos o conexiados en serie y/o en paralelo se le suele denominar generador fotovoltaico. Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos en serie y/o en paralelo, según convenga.

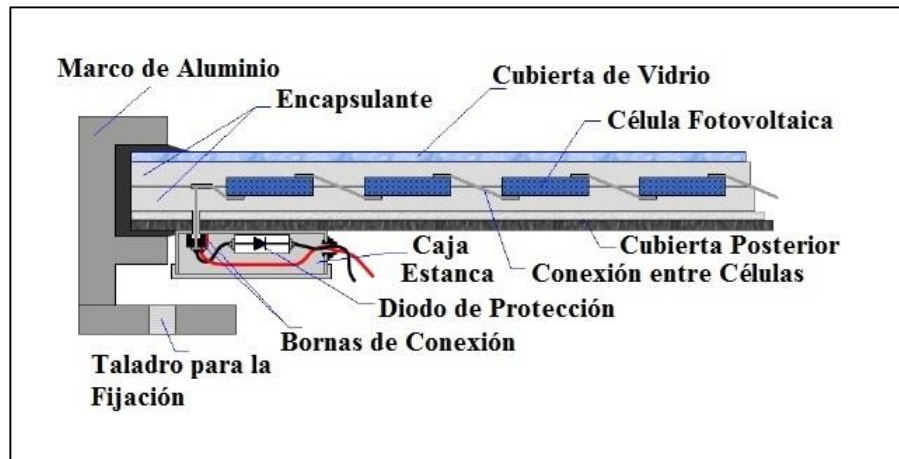


Figura N° 8: Partes de un panel fotovoltaico<sup>19</sup>

Para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conformando el llamado módulo fotovoltaico.

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes:

Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 ó 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.

Un material de relleno interior, que funciona de encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo,

<sup>19</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar.

Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulante interior.

Las propias células fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.

Elementos de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.

Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Ello es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo

que produciría un recalentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo.

El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen.

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes:

Irradiancia solar:  $1000 \text{ W/m}^2$ ;

Distribución espectral: AM 1,5 G;

Temperatura de célula:  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintos a los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen.

Según se indican en las siguientes gráficas de la figura 9, donde se define el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, el valor de corriente generado por el módulo crece con la intensidad de radiación solar, mientras que la tensión que ofrece cae conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo.

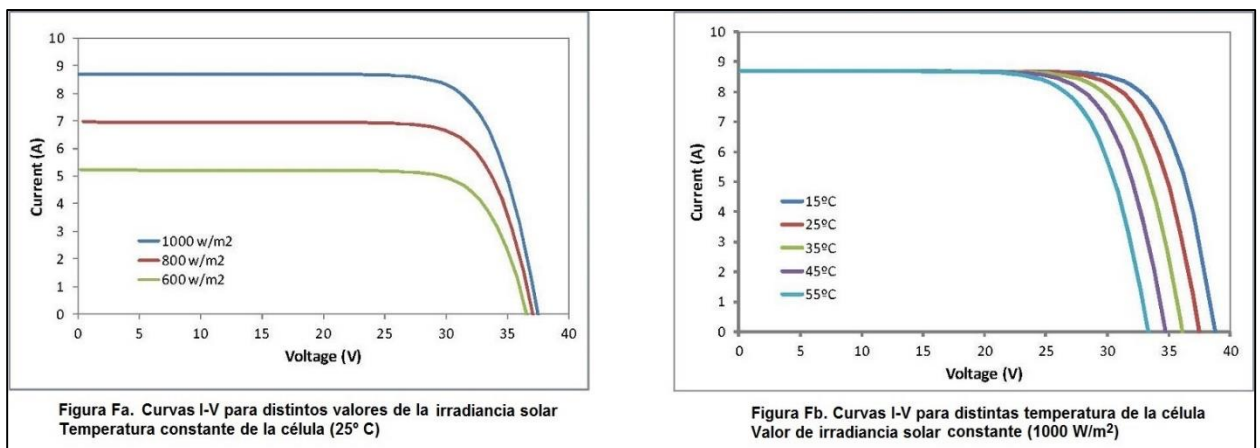


Figura N° 9: Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos<sup>20</sup>

Cuando se habla de temperatura alcanzada en las células del módulo, se entiende que es la temperatura que tiene la superficie del panel fotovoltaico, que evidentemente no tiene que ser igual a la de la temperatura ambiente, puesto que la superficie del módulo se calienta por la radiación solar que recibe.

Un módulo fotovoltaico suele trabajar dentro de un rango determinado de valores de intensidad y voltaje, dependiendo de la intensidad de radiación solar recibida, de la temperatura alcanzada en su superficie o el valor de la carga eléctrica que alimenta.

<sup>20</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

En la siguiente figura se representa esquemáticamente en línea continua la curva intensidad-tensión ( $I$ - $V$ ) de un módulo fotovoltaico cualquiera, mientras que en línea discontinua se representa la potencia entregada por el módulo, para dos situaciones de trabajo ( $A$  y  $B$ ) distintas.

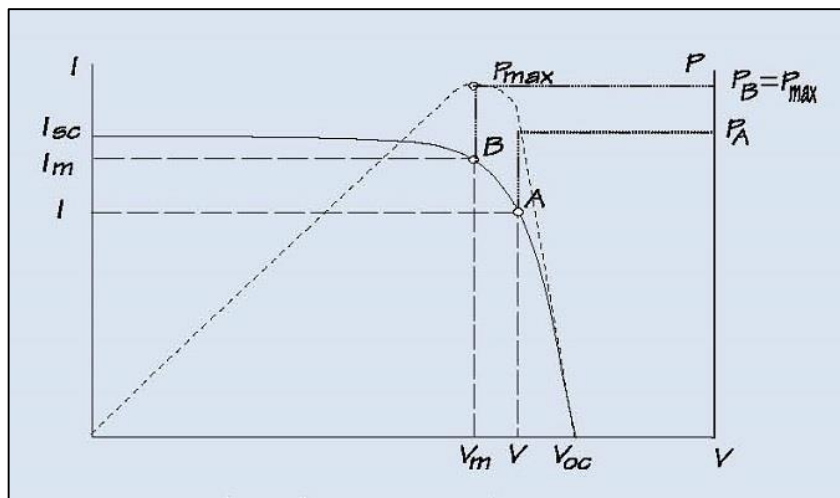


Figura N° 10: Curvas IV y de potencia<sup>21</sup>

De la anterior figura se observa que se debe hacer trabajar al módulo fotovoltaico en el rango de la tensión de máxima potencia, para sí obtener su mejor rendimiento.

En resumen, en función de la radiación solar, la temperatura de las células del módulo (que dependerá a su vez de la temperatura ambiente, humedad, velocidad del viento, material de fabricación del módulo, etc.) y de la carga eléctrica que alimente, el módulo fotovoltaico generará una determinada intensidad de corriente ( $I$ )

<sup>21</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.htmlb>

a una determinada tensión ( $V$ ), y cuyo producto marcará la potencia eléctrica ( $P$ ) generada por el módulo.

#### **2.2.1.4. Baterías<sup>22</sup>**

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Normalmente el banco de baterías y los módulos fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas. La siguiente figura muestra cómo se distribuye la entrega de energía a la carga a lo largo del día. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte. A partir de una determinada hora de la mañana la energía generada por los módulos fotovoltaicos superada la energía promedio demandada. Los módulos no solo atenderán la

---

<sup>22</sup> [http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/la-bateria\\_29.html](http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/la-bateria_29.html)



demanda sino que además, todo exceso se almacenara en la batería que empezara a cargarse y a recuperarse de su descarga de la noche anterior. Finalmente durante la tarde, la corriente generada decrece y cualquier diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche, la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería.

**Las baterías de plomo - ácido** se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos dentro de la categoría plomo - ácido, las de plomo - antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 V. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto.

En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 V y 2,5 V, siendo el promedio alrededor de 2 V, tensión que se suele llamar nominal de la celda. Cuando las celdas de 2 V se conectan en serie (POSITIVO A NEGATIVO) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4, 6, 12 V, etc. Si las baterías están conectadas en paralelo (POSITIVO A POSITIVO Y NEGATIVO A NEGATIVO) las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad. Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía (medido en Ah a la tensión nominal) y a

su ciclo de vida (número de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil). La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 h. Por ejemplo, una batería que posee una capacidad de 80 Ah en 10 h (capacidad nominal) tendrá 100 Ah de capacidad en 100 h. Dentro de las baterías de plomo - ácido, las denominadas estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción en sistemas fotovoltaicos. Ellas poseen unos 2500 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20 % (es decir que la batería estará con un 80 % de su carga) y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50 % (batería con 50 % de su carga).

Las baterías estacionarias poseen además, una baja auto-descarga (3 % mensual aproximadamente contra un 20 % de una batería de plomo - ácido convencional) y un reducido mantenimiento. Dentro de estas características se encuadran también las baterías de plomo - calcio y plomo- selenio, que poseen una baja resistencia interna, valores despreciables de gasificación y una baja autodescarga. Baterías selladas Gelificadas Estas baterías incorporan un electrolito del tipo gel con consistencia que puede variar desde un estado muy denso al de consistencia similar a una jalea. No se derraman,

pueden montarse en casi cualquier posición y no admiten descargas profundas.

**Electrolito absorbido** El electrolito se encuentra absorbido en una fibra de vidrio microporoso o en un entramado de fibra polimérica. Al igual que las anteriores no se derraman, admiten cualquier posición y admiten descargas moderadas. Tanto estas baterías como las Gelificadas no requieren mantenimiento en forma de agregado de agua, no desarrollan gases evitando el riesgo de explosión, pero ambas requieren descargas poco profundas durante su vida de servicio.

#### 2.2.1.5. Controlador solar<sup>23</sup>

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

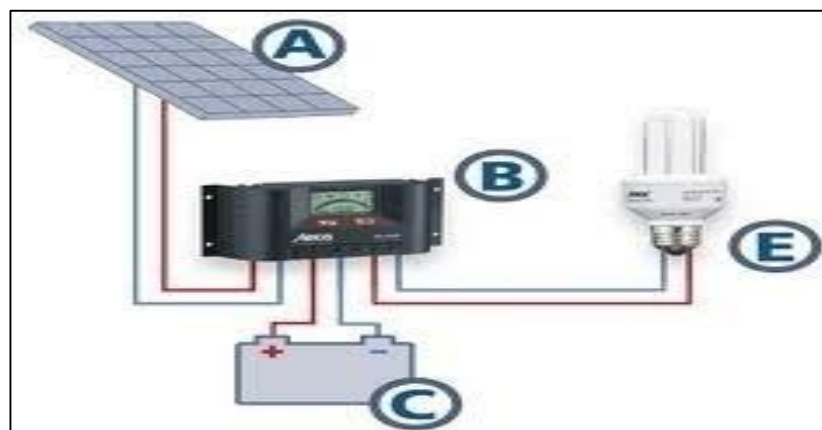


Figura N° 11: Ubicación del controlador solar<sup>24</sup>

<sup>23</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

<sup>24</sup> Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

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

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

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

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de

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

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

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

- Tensión nominal (V)
- Corriente máxima (A)
- Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie
- Polaridad de terminales y conexiones

#### **2.2.1.6. Inversores<sup>25</sup>**

El generador FV produce corriente continua. En sistemas fotovoltaicos autónomos para poder utilizar cargas en corriente alterna se necesita un dispositivo electrónico, denominado inversor, que convierta la corriente continua en corriente alterna. Habitualmente en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor está conectado a una batería, mientras en un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica el inversor está conectado directamente al generador fotovoltaico.

Las funciones principales de los inversores son: inversión DC/AC, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. Los inversores que se pueden encontrar normalmente pueden ser monofásicos o trifásicos a 50 Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponibles, de unos pocos vatios hasta varios megavatios. Pueden operar conectados a baterías o directamente al generador FV y pueden estar conectados a diferentes consumos o inyectar energía en la red eléctrica. Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

De onda cuadrada.

De onda modificada o quasisenoidal.

De onda senoidal (muy parecida a la onda de la red eléctrica).

---

<sup>25</sup> [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)



Los inversores de onda cuadrada son los más económicos. Se basan en un simple “chopeado” de la potencia DC de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40%, y su rendimiento está en torno al 50- 60%. La potencia de sobrecarga es baja, del 10-20% de la potencia nominal. Su regulación de voltaje también es muy baja. Se suelen utilizar con pequeñas cargas inductivas o resistivas, aunque algunos tipos de cargas pueden no operar satisfactoriamente.

Los inversores de onda semisenoidal o quasisenoidal presentan una THD del 20% y sus rendimientos son mayores del 90%. Son utilizados en electrificación rural para alimentar los electrodomésticos más habituales, incluyendo ordenadores y equipos musicales. Algunas cargas como las impresoras láser, los microondas y los relojes (que pueden adelantar un 50%) pueden presentar problemas de operación con este tipo de inversores.

Los inversores senoidales tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada. En general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC, no presentando ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión. Algunos tipos de consumos electrónicos como los equipos de telecomunicaciones o instrumentación delicada pueden requerir su utilización. Los inversores que producen ondas senoidales se están imponiendo sobre el resto de inversores que

están dejando de ser utilizados, incluso para las aplicaciones más simples.

Para cargas inductivas, como es el caso de los motores, la forma de la onda que llega al motor debe aproximarse lo más posible a una onda senoidal o a una onda PWM cuyos primeros armónicos se presenten a muy alta frecuencia, ya que el máximo rendimiento en el giro del motor se produce por el armónico fundamental a una frecuencia de 50 Hz. Cualquier otro armónico presente en la onda que llegue al motor no produce giro, sin embargo, disipa calor por efecto Joule como  $I^2R$ , lo que provoca calentamientos en las bobinas de cobre y cuerpo del motor y por tanto pérdidas de rendimiento. A menudo estos armónicos son los responsables de la degradación y destrucción de los aislamientos de las bobinas.

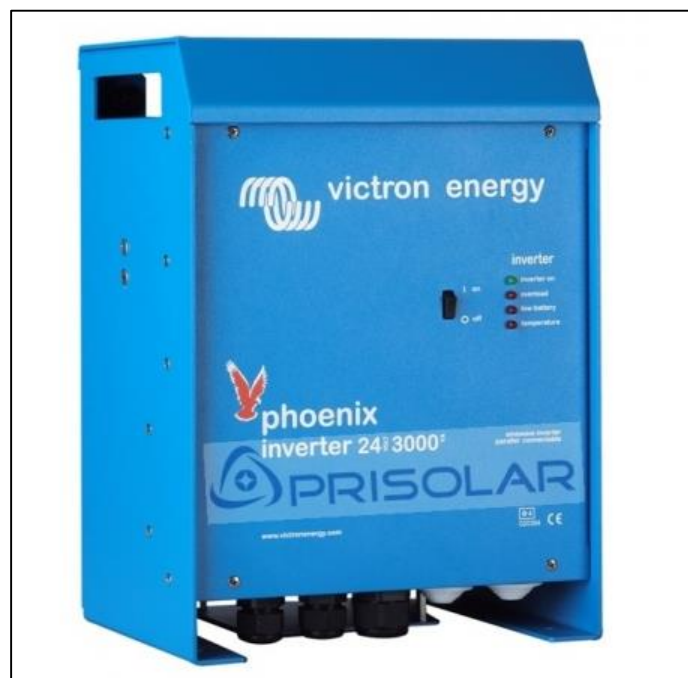


Figura N° 12: Inversor VICTRON ENERGY<sup>26</sup>

<sup>26</sup> <https://www.prisolar.com/onda-sinusoidal-pura/322-inversor-victron-phoenix-24-3000.html>

La regulación del valor eficaz de la tensión de salida en inversores autónomos suele realizarse mediante control PWM. Ya que la tensión DC de entrada al inversor varía, también lo hace la producción de corriente de carga y en consecuencia la tensión de apagado de los interruptores de los semiconductores que forman el inversor. Como consecuencia la duración de los pulsos de la onda de salida debe ser modulado (estrechándolo o ensanchándolo). En algunos inversores la regulación de la tensión de salida se realiza con ayuda de transformadores o regulando la tensión antes del inversor.

El funcionamiento general de un inversor está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia con un ciclo controlado de apertura y cierre generando ondas de pulsos variables (cuantos más pulsos menor distorsión armónica y mayor proximidad a la onda pura senoidal).

### **2.2.2. Energía eólica**

#### **Potencial eólico en el Perú**

Respecto a evaluaciones del recurso eólico en el Perú, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) elaboró un primer mapa eólico en 1983, en base a información recogida por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el propio ITINTEC.(ver figura N° 13)

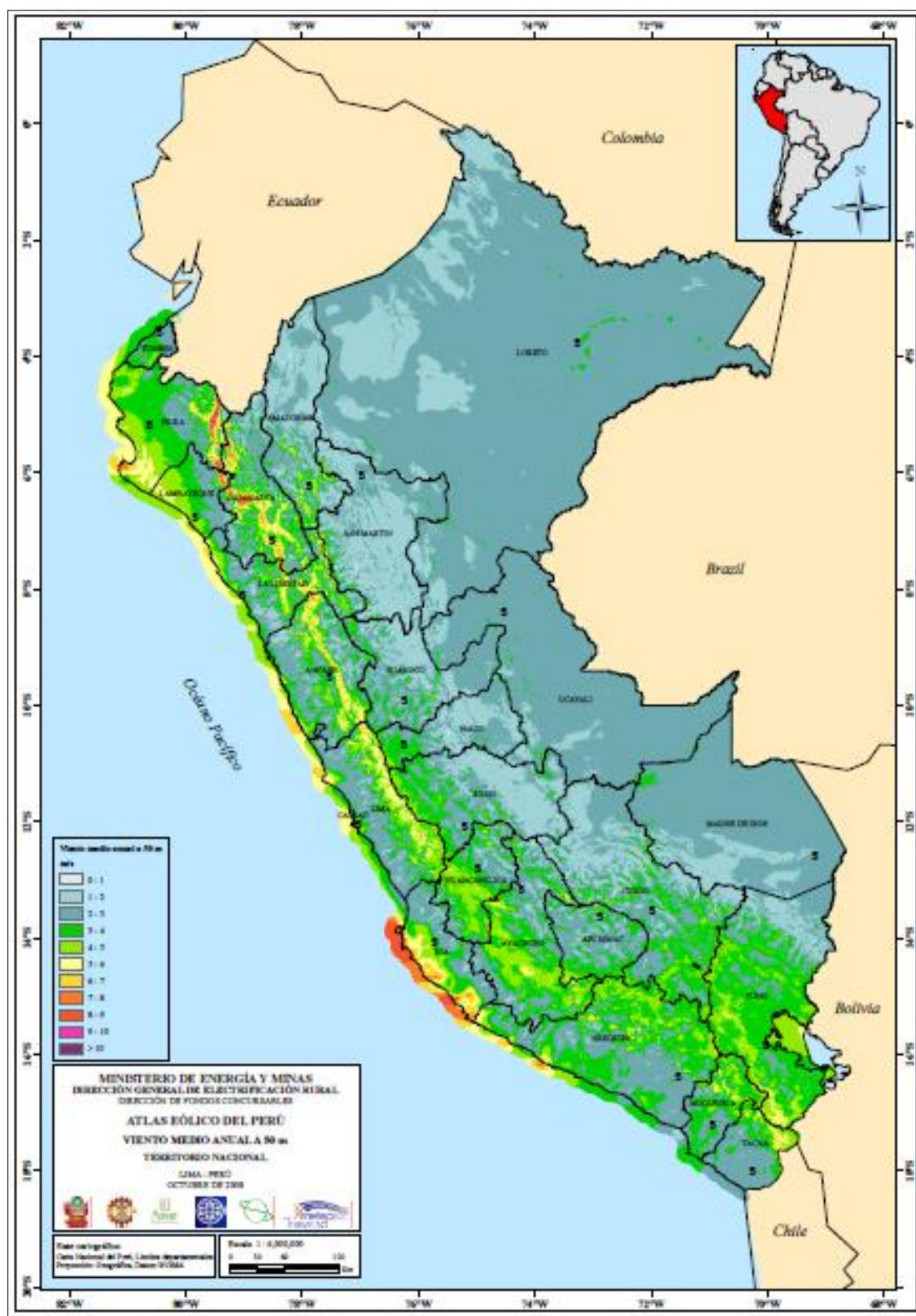


Figura N° 13: Mapa del viento a 80 m promedio anual<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Atlas eólico

### 2.2.2.1. El viento<sup>28</sup>

La tierra recibe 174 petavatios de radiación solar, aproximadamente el 30% regresa al espacio mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante. Esta absorción de radiación solar provoca un calentamiento de la masa terrestre, dicho calentamiento no es homogéneo en toda la superficie, sino que las zonas a 0° de latitud se encuentran más calientes que las del resto del globo.

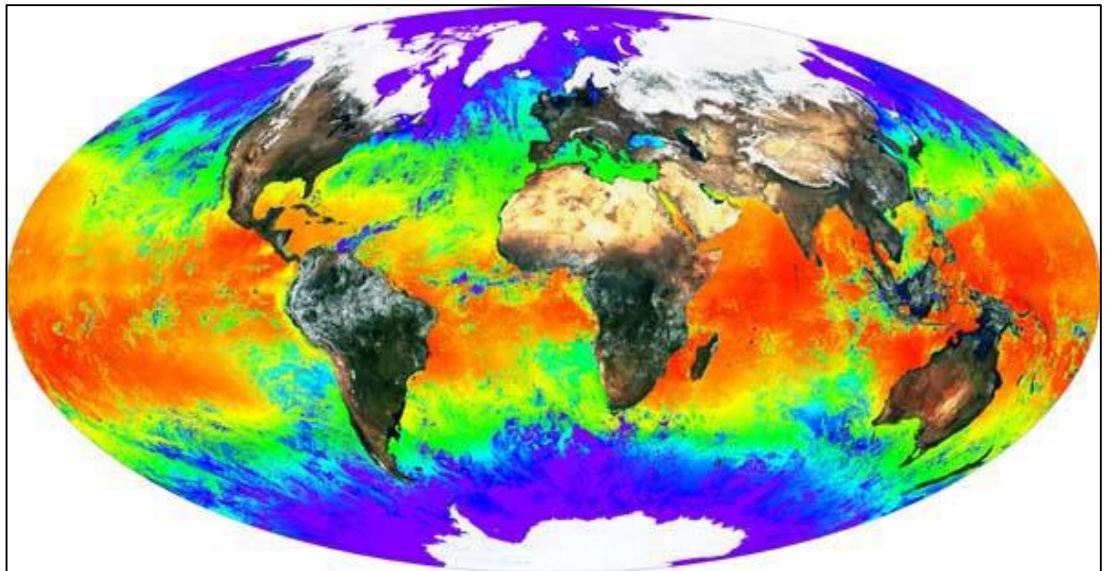


Figura N° 14: Temperatura de la superficie terrestre<sup>29</sup>

Esta diferencia de temperatura provoca que el viento ascienda desde el ecuador hacia los polos y vuelva a descender cuando se enfría, ya que el aire se desplaza desde las zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión. La rotación de la tierra genera que el viento sople en la dirección paralela a las isóbaras en las latitudes medias

<sup>28</sup> <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16217/02.-Memoria.pdf?sequence=50>

<sup>29</sup> <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16217/02.-Memoria.pdf?sequence=50>

y altas, en sentido contrario a las agujas del reloj en las zonas ciclónicas y directas en las anticiclónicas. En el hemisferio sur los sentidos son contrarios a los mencionados.

Además, hay que tener en cuenta que el agua y la tierra se calientan a diferentes velocidades, durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar provocando una baja presión relativa que favorece la entrada de aire del mar. Durante la noche sucede el fenómeno contrario.

Todas estas variaciones de la temperatura y por consiguiente de la presión son las que originan las corrientes de aire, siendo de gran importancia su comprensión y conocimiento a la hora de elegir el mejor emplazamiento para un parque eólico.

La dirección del viento se designa por la dirección desde donde sopla el viento, proporcionada por la veleta, la velocidad de este se mide con el anemómetro estableciéndose una escala llamada “escala de Beaufort” que clasifica el viento en función de su velocidad.



Tabla N° 2: escala de Beaufort

Número de Beaufort	Denominación	Velocidad viento Km/h	Efectos en tierra
0	Calma	0 a 1	Calma, el humo asciende verticalmente
1	Ventolina	2 a 5	El humo indica la dirección del viento
2	Brisa muy débil	6 a 11	El humo indica la dirección del viento
3	Brisa débil	12 a 19	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	Brisa moderada	20 a 28	Se levantan polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	Brisa fuerte	29 a 38	Oscilan árboles pequeños
6	Viento	39 a 49	Se agitan ramas gruesas, dificultad para mantener el paraguas abierto
7	Viento fuerte	50 a 61	Los árboles gruesos oscilan
8	Temporal	62 a 74	Se rompen las ramas de los árboles, dificultad para caminar
9	Temporal fuerte	75 a 88	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	Temporal duro	89 a 102	Árboles arrancados, daños en construcciones
11	Temporal muy duro	103 a 117	Estragos abundantes en construcciones
12	Temporal huracanado	> 118	Destrucción total

Fuente: <http://tprlconstruccion.blogspot.com/2009/05/escala-de-beaufort.html>

### 2.2.2.2. Variación vertical del viento

La forma en que la velocidad del viento varía con la altura depende del transporte vertical de cantidad de movimiento de las capas altas de la atmósfera hacia las bajas, éste se produce por medio de la turbulencia atmosférica. A su vez, la turbulencia atmosférica depende de la estabilidad de la atmósfera y de la superficie del terreno. Empíricamente se han determinado expresiones que describen esta variación del viento con la altura, las cuales van desde las más simples, como la conocida ley potencial. (MINEM 2016)

$$V(h) = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \dots (1)$$

**Dónde:**

**V (h)** = Velocidad promedio del viento no conocida a una altura (m/s)

**Vref.** = Velocidad promedio del viento conocida a una altura (m/s)

**H** = Altura a la que se desea conocer V (h) (m)

**Href.** = Altura a la que se midió Vref. (m)

**α** = Coeficiente de rugosidad.

Tabla N° 3: valores para algunos tipos de terreno

TIPO DE TERRENO	EXPONENTE $\alpha$
Lugares llanos con hielo o hierba.	0,08 – 0,12
Lugares llanos (mar, costa).	0,14
Terrenos poco accidentados.	0,13 – 0,16
Zonas rústicas.	0,2
Terrenos accidentados o bosques.	0,2 – 0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades.	0,25 – 0,4

Fuente: (Hualpa Mamani 2006, pag. 27)



### 2.2.2.3. Ley de Betz

La función de los aerogeneradores es interceptar la energía del viento que pasa a través de la zona de barrido del rotor para transformarla así en electricidad (Fernandez zayas 2010).

El viento con una masa “m” que se mueve a una velocidad V genera energía cinética  $E_c$  que es calculada mediante la fórmula:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \dots (2)$$

Así, la energía cinética del viento es directamente proporcional a la densidad del aire. A presión atmosférica normal y a 15° C el aire pesa unos 1,225 kg/m<sup>3</sup>, aunque la humedad, el calor y las bajas presiones resultan en menores densidades.

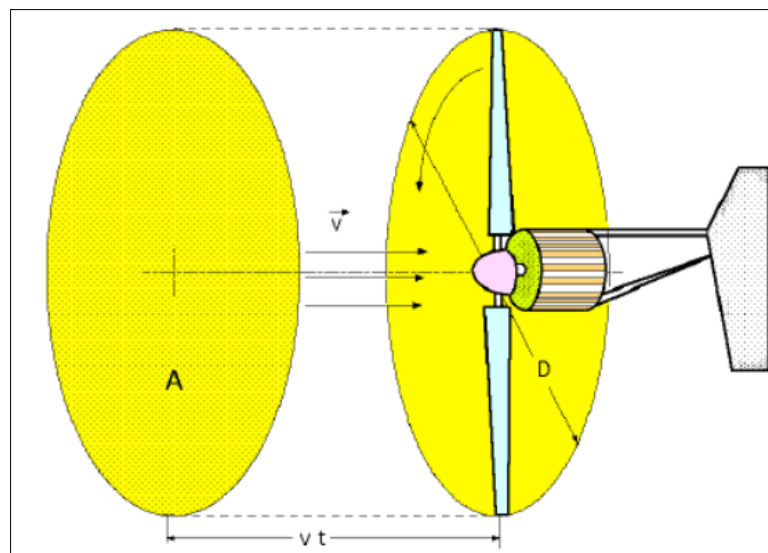


Figura N° 15: Energía útil del viento<sup>30</sup>

<sup>30</sup> [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/eolica\\_2014u1\\_1.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/eolica_2014u1_1.pdf)

Al expresar la energía cinética del viento que pasa por el área transversal **A** por unidad de tiempo obtenemos la ecuación para calcular la potencia eólica (**P**) mostrada en la siguiente expresión:

$$P = \frac{\rho AV^2}{2} \dots (3)$$

Donde:

**P** = Potencia (W)

**ρ**= Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

**A** = Área del barrido del rotor (m<sup>2</sup>)

**V** = Velocidad del viento (m/s)

La ecuación nos indica que es necesario tener en cuenta las características del aire donde se va a ubicar un aerogenerador puesto que a bajas temperaturas el aire es más denso, a humedades altas la densidad baja y a grandes altitudes sobre el nivel del mar la densidad también es menor, estos aspectos son importantes a tomar en cuenta para poder aprovechar al máximo el potencial eólico.

El área del rotor de un aerogenerador es importante pues determina cuanta energía del viento va a ser capturada, son directamente proporcionales. Ya que el área de un aerogenerador depende del cuadrado de su diámetro, entonces al duplicar el diámetro estaríamos obteniendo 4 veces más energía. La cantidad de energía que posee el viento varía con la tercera potencia de su velocidad media, por ejemplo: si la velocidad del viento se duplica, la energía del viento aumentaría en 8 veces (2<sup>3</sup>).

La fórmula (3), muestra la potencia disponible a partir del viento. Sin embargo, no toda esta potencia puede ser extraída por un aerogenerador.

El porcentaje teórico máximo de extracción de potencia que un aerogenerador puede obtener a partir de una masa de aire en movimiento es un 59,3 %. Este valor fue calculado en 1919 por el científico alemán Albert Betz, por lo que se le conoce como Límite de Betz; varía para distintas familias y tipos de turbinas eólicas.

Si bien el Límite de Betz está en torno al 60 %, solo las turbinas con dos o tres aspas se aproximan a ese valor, llegando a un límite máximo real cercano al 50%. Esta razón explica en parte porque la industria eólica ha preferido utilizar tres aspas por sobre dos, en parte debido a que las velocidades de vientos aprovechables por la turbina de tres aspas poseen mayor frecuencia. Además, las turbinas de dos aspas presentan mayores grados de inestabilidad aerodinámica que las turbinas de tres aspas, lo que impone una mayor complejidad a la operación y control de estas, implicando esfuerzos mecánicos cíclicos inconvenientes sobre la torre de sujeción.

Dado que el proceso de conversión de energía eólica a energía mecánica tiene una eficiencia asociada al coeficiente de potencia ( $C_p$ ), de la fórmula 3, se desprende que la potencia generable viene dada por la expresión:

$$P = \frac{C_D \rho A V^3}{2} \dots (4)$$

Cada tipo de aerogenerador presenta distintos rendimientos para regímenes de vientos dados, lo que se muestra en los distintos valores para coeficientes potencia.

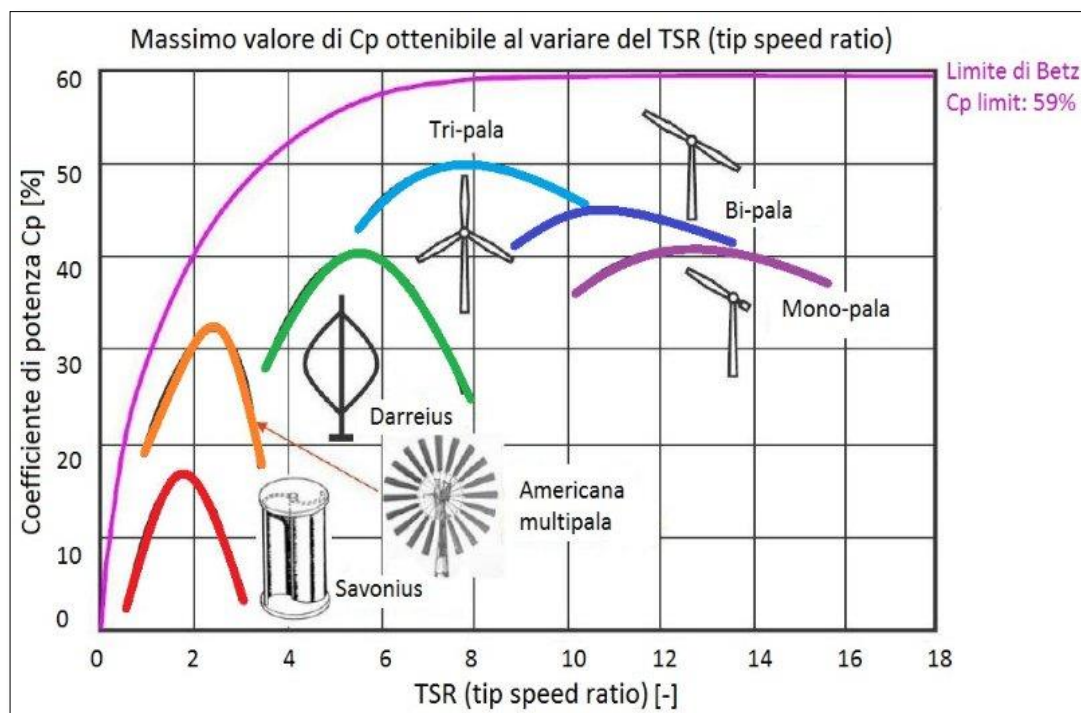


Figura N° 16: Limite Bets<sup>31</sup>

#### 2.2.2.4. Componentes de un sistema de generación eólica<sup>32</sup>

Un Sistema Eólico, consiste en la integración de varios componentes que, con una o más funciones específicas, pueden suplir la demanda eléctrica impuesta por la carga, usando como combustible la energía eólica.

Los sistemas eólicos están conformados de los siguientes componentes (ver figura N° 17)

<sup>31</sup> <https://www.linkedin.com/pulse/le-turbine-eoliche-il-vento-la-legge-di-betz-e-i-venditori-fina>

<sup>32</sup> (Santa Cruz Santa Cruz 2017)

**El aerogenerador o parque eólico:** son las maquinas que se encargan de capturar la energía del viento y transformarla en energía eléctrica. a. Está formado por las palas, el buje, el equipo multiplicador de potencia, los ejes de alta y baja velocidad, el generador, que deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

**El regulador de carga:** el regulador de carga asegura que la batería funcione en condiciones apropiadas, evitando la sobrecarga y sobre descarga de la misma, fenómenos ambos muy perjudiciales para la vida de la batería.

**La batería:** se encarga de almacenar parte de la energía producida por los aerogeneradores (la que no se consume inmediatamente) para disponer de ella en periodos de baja o nula irradiación solar.

**El inversor:** es el encargado de convertir la electricidad continua que produce el conjunto aerogeneradores-baterías en tensión de alimentación acta para la carga. Existen dos tipos de inversores: los de continua-alterna (DC/AC) y los inversores continuos- continua (CC/CC).

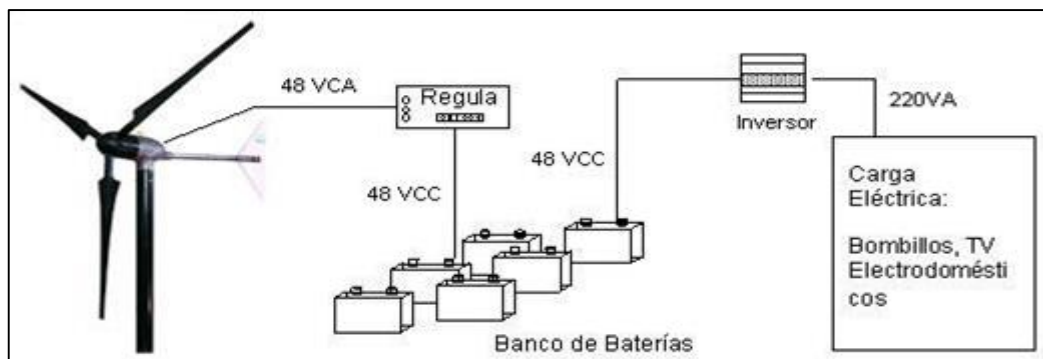


Figura N° 17: Componentes un sistema eólico<sup>33</sup>

<sup>33</sup> <https://www.monografias.com/trabajos94/sistema-fotovoltaico-y-aerogenerador/sistema-fotovoltaico-y-aerogenerador.shtml>

### **PRINCIPALES VENTAJAS.**

- a) Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la tierra procedente del sol.
- b) Nunca se acabará.
- c) Es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- d) Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo, en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

### **PRINCIPALES APLICACIONES.**

Las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizar en los siguientes puntos:

- a) En la electrificación rural y viviendas aisladas donde llevar energía eléctrica por medio de la red general sería demasiado costosa y por lo tanto no cuentan con este servicio. En este caso, la instalación de un aerogenerador es ampliamente rentable.
- b) Bombeo de agua y riego.
- c) Acondicionamiento y refrigeración de almacenes.
- d) Refrigeración de productos agrarios.
- e) Secado de cosechas.
- f) Calentamiento de agua.
- g) Alumbrado y usos eléctricos diversos.

### **2.2.3. Sistema eólico solar**

En muchas ocasiones el dimensionado de la instalación fotovoltaica por sí sola se encuentra por debajo del margen de seguridad que garantiza la cobertura del suministro eléctrico todo el año, ya sea por motivos económicos o bien porque se dispone de otra fuente de generación eléctrica que completará la generada por la instalación.

Incluso aunque el dimensionado sea el correcto se pueden producir puntas de consumo muy por encima del habitual, o simplemente, tener periodos anormalmente largos de tiempo nublado y que por diferentes necesidades se deba garantizar en cualquier situación. Por tanto, en estos casos se recomienda disponer de algún sistema de generación auxiliar que permita hacer frente con seguridad ante las circunstancias mencionadas, garantizando así un estado de carga aceptable en los acumuladores y una prolongación de su vida útil. Estos sistemas son una combinación entre un sistema fotovoltaico y otra fuente de suministro de energía eléctrica complementaria que no se trate de la red eléctrica, como son los generadores diésel o eólicos, pequeñas plantas hidroeléctricas y, en general, cualquier otro tipo de fuente energética.

Uno de los sistemas de generación está formado por un módulo de paneles fotovoltaicos que mediante su regulador de carga está conectado a los acumuladores, mediante un rectificador, se conectan a las baterías para, en casos extremos, poder cargar los acumuladores. No obstante, el diseño óptimo de sistemas híbridos es muy complicado, debido a la variabilidad de la energía solar y la demanda de carga, así como las

características no lineales de algunos componentes. Aunque son muchos los resultados que muestran las ventajas de un sistema híbrido frente a un sistema que sólo utiliza paneles fotovoltaicos o aerogeneradores como fuente de energía. Y tiene las siguientes ventajas

La generación eólica no produce gases ni residuos.

Cada Kwh de electricidad generada por el viento evita que se contamine 1Kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera.

Es inagotable mientras exista el sol y la atmósfera, continuará existiendo el viento.

La instalación es rápida no mayor a 3 meses.

No destruye la naturaleza y el suelo para la agricultura.



Figura N° 18: Sistema eólico solar<sup>34</sup>

<sup>34</sup> <https://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml>



#### 2.2.4. Distribución de Weibull

Matemáticamente se puede expresar la caracterización del viento, obtenida a lo largo de los años, a partir de datos empíricos de diferentes estudios de implantación de parques eólicos. Se trata de la ley de distribución de Weibull de la velocidad del viento. Se ha comprobado que la velocidad del viento sigue aproximadamente una densidad de distribución de este tipo.

$$f(v) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right]} \dots (5)$$

Donde:

K: parámetro de forma

C: Parámetro de escala

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right) = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(C) \dots (6)$$

La ecuación anterior responde a la ecuación de una recta de la forma:

$$y = kx + b \dots (7)$$

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right) \dots (8)$$

$$x = \ln(v) \dots (9)$$

$$b = -k \cdot \ln(C) \dots (10)$$

Identificados K y C, reemplazamos en la ecuación de Weibull (Formula N° 5)

### **2.2.5. Aerogenerador**

Los aerogeneradores son las máquinas que se encargan de capturar la energía del viento y transformarla en energía eléctrica.

### **2.2.6. Tipos de aerogeneradores**

Una primera clasificación de aerogeneradores se basa en la posición de su eje principal. Existen dos tipos de aerogeneradores: los de eje horizontal y los de eje vertical.

Los aerogeneradores de eje horizontal deben su nombre al hecho que poseen los ejes principales situados paralelos al suelo. Este tipo de aerogeneradores necesitan un sistema de control de orientación al viento (normalmente un pequeño motor eléctrico para aerogeneradores de más de 50 kW). Los elementos de conexión (multiplicador y generador) se encuentran alojados a la altura del rotor en la góndola situado en lo alto de la torre. En este tipo de aerogeneradores las palas pueden estar en barlovento (situadas frente al viento) o bien en sotavento (situadas detrás del viento). La ventaja de poseer las palas en barlovento es que evita el abrigo tras la torre pero su desventaja es que el rotor ha de ser lo más rígido posible. Por otra parte si las palas están situadas en sotavento el flujo del viento se distorsiona por entrar en contacto con la góndola antes de incidir sobre las palas. En los aerogeneradores con palas situadas en sotavento las se producen fluctuaciones de la potencia eólica, lo cual puede crear cargas de fatiga. Otra posible clasificación dentro de los aerogeneradores de eje horizontal es función del número de palas. Se

diferencian las eólicas compuestas por palas con perfil de ala (ver Fig. 19) y las eólicas multipalas (ver Fig. 20)

Las primeras se les denomina turbinas rápidas y generalmente son bipalas o tripalas; el número de palas no tiene influencia en la potencia proporcionada, sino que es función de la superficie barrida por el rotor y cuya aplicación es la generación de energía eléctrica. En cambio, las eólicas multipalas están compuestas por múltiples placas metálicas de perfil no aerodinámico y poseen un par de arranque proporcional al número de palas y al diámetro. Estas últimas destacan en aplicaciones mecánicas de baja potencia como por ejemplo el bombeo de agua.



Figura N° 19: Aerogenerador de tres palas<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2763/40843-1.pdf?sequence=1>



Figura N° 20: Turbina multipala<sup>36</sup>

### 2.2.7. Ecuaciones para el dimensionamiento del sistema voltaico

a) Proyección de la población

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (11)$$

Donde:

Po: Población actual

P<sub>20</sub>: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional

b) Para calcular la energía que debe suministrar el sistema eólico fotovoltaico. a la carga que satisface la energía demandada por los

<sup>36</sup> <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2763/40843-1.pdf?sequence=1>

usuarios, depende de un factor de pérdidas el cual es función de los factores de pérdida de los equipos que componen el sistema.

$$E_{sistema} = E_{carga}/F \dots (12)$$

Donde F

$$F = 1 - \left[ \frac{f_a x N}{p_d} \right] - f_b - f_i - f_j \dots (13)$$

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

$f_a$ : Fracción de energía perdida por autodescarga

$f_b$ : Factor de pérdidas debido a la eficiencia de la batería

$f_i$ : Factor de pérdidas debido a la eficiencia del inversor

$f_j$ : Factor de pérdidas global debido al calentamiento conexiones,

etc.

$p_d$ : Profundidad de descarga máxima de las baterías

c) Para hallar los parámetros “K” y “C” de la distribución de WEIBULL

Recta expresada en la ecuación N° 7:

$$Y = K.x + B \dots (7)$$

Hacemos uso de las Formulas N° 8, 9 y 10:

$$Y = \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right) \dots (8)$$

$$X = \ln(v) \dots (9)$$

$$B = -k. \ln(C) \dots (10)$$

d) Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Paneles fotovoltaicos conectados en serie es de:

$$\text{Numero de modulos en serie } (N_{mserie}) = \text{voltaje de trabajo } (V_T) / \text{Tension del modulo } (V_{panel}) \dots (14)$$

Número de ramas conectadas en paralelo

$$\text{Numero de ramas en paralelo } (N_{rparalelo}) = \text{Total de modulos } (N_{panles}) / \text{Numero de modulos en serie } (N_{mserie}) \dots (15)$$

e) Para el dimensionamiento de baterías utilizaremos las siguientes ecuaciones

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{Dmax} \times V_T) \dots (16)$$

Donde:

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

$N_D$  = Número de días de autonomía.

$E_{elec}$  = Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

$P_{Dmax}$  = Profundidad máxima de descarga:

$V_T$  = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico

El número de baterías a conectarse en serie se obtiene de la siguiente ecuación.

$$N_{baterias\ en\ serie} = V_{tension\ de\ trabajo} / V_{Tension\ de\ la\ bateria} \dots (17)$$

Para calcular el número de ramas de baterías en paralelo en paralelo

$$N_{\text{ramas de baterías paralelo}} = C_{\text{banco}} / C_{\text{de la batería seleccionada}} \dots (18)$$

- f) Para el dimensionamiento del regulador calcularemos la corriente eléctrica mínima que debe tener el regulador con la siguiente ecuación

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{Pmf} \dots (19)$$

El número de reguladores para la instalación con la siguiente ecuación

$$N_{\text{reguladores}} = I_{\text{minimo del regulador}} / I_{\text{regulador seleccionado}} \dots (20)$$

- g) Para el cálculo de los inversores se considerará las siguientes ecuaciones

$$Potencia \text{ de entrada al inversor} = \frac{Potencia \text{ de la carga}}{Rendimiento \text{ del inversor}} \dots (21)$$

Para calcular el número de inversores

$$N_{\text{inversores}} = \frac{Potencia \text{ de entrada del inversor}}{Potencia \text{ del inversor seleccionado}} \dots (22)$$

- h) Para el cálculo de los conductores eléctricos se tendrá en cuenta la corriente eléctrica de diseño para cada tramo con las siguientes ecuaciones

Para el tramo generador fotovoltaico – controlador, la corriente está dado por ( $I_{MAX\ mf}$ ):

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{Cortocircuito\ del\ panel} \times N_{ramas\ en\ paral.} \times regulador \dots (23)$$

Para el tramo controlador- inversor, la corriente eléctrica está dado por:

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{inversor} / (V_{tension\ de\ trabajo} \times \eta_{inversor}) \dots (24)$$

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

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots (25)$$

Donde:

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

$L$  = Longitud tramo [m].

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

$\Delta V$  = Caída máxima permitida para cada tramo [V].

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

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \dots (26)$$

donde:

$\beta_{opt}$ : Angulo de inclinación optimo

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



La fórmula para calcular la caída de tensión en redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3} \dots (27)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Para los cálculos mecánicos de la red de distribución secundaria usaremos la ecuación de cambio de estado TRUXA

$$\sigma_F^2 \left[ \sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \dots (28)$$

Donde:

$\sigma_i$  : Esfuerzo admisible en la hipótesis inicial (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_F$  : Esfuerzo admisible en la hipótesis final (kg/mm<sup>2</sup>)

$W_{ri}$  : Peso resultante en la hipótesis inicial (kg/m)

$W_{rF}$  : Peso resultante en la hipótesis final (kg/m)

$t_i$  : Temperatura en la hipótesis inicial (°C)

$t_F$  : Temperatura en la hipótesis final (°C)

$\sigma$  : Coeficiente de dilatación lineal (°C<sup>-1</sup>)

E : Módulo de elasticidad (kg/mm<sup>2</sup>)

A : Sección (mm<sup>2</sup>)

L : Vano (m)

Para calcular el vano básico usaremos la siguiente ecuación

$$Vano\ Basico = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \dots (29)$$

### 2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

**Aerogenerador:** Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

**Amperio o ampere:** Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica. Es la cantidad de electricidad que pasa por un conductor por un segundo. La corriente está relacionada con la potencia expresada en watts o vatios de la siguiente forma  $P (W) = I (A) \times V (V)$ .

**Anemómetro:** instrumento que se utiliza para medir la velocidad del viento. Sus señales son empleadas por el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando el viento alcance la velocidad de arranque. Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar desperfectos en el mismo.

**Bridas:** Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, soldada a los extremos de cada sección de la torre.

**Buje:** Centro del rotor donde se acoplan las palas.

**Coeficiente de potencia:** El coeficiente de potencia mide la eficiencia con la que el aerogenerador convierte la energía eólica en electricidad. Se obtiene dividiendo la potencia eléctrica disponible entre la potencia eólica de entrada.

**Combustible fósil:** Se considera combustible fósil al carbón, petróleo y el gas natural o sus derivados de ellos

**Conexión directa a red:** En la conexión directa a red el generador está directamente conectado a la red de corriente alterna, generalmente trifásica.

**Contaminación:** Cualquier alteración física, química o biológica del aire. El agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.

**Curva de potencia:** Es un gráfico que indica cual será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades de viento.

**Densidad de potencia:** La densidad de potencia calcula la distribución de energía eólica a diferentes velocidades del viento. Se obtiene multiplicando la potencia de cada velocidad del viento por la probabilidad del viento de la gráfica de Weibull.

**Densidad del aire:** La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, esto es, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

**Disponibilidad:** Relación entre el número de horas en las que un aerogenerador produce energía y el número de horas en que han existido velocidades de viento dentro del rango de funcionamiento del aerogenerador.

**Energía Cinética:** La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada.

**Gases invernadero:** Son los gases que permiten pasar las radiaciones solares, pero no permiten pasar hacia el exterior de la atmosfera la radiación

infrarroja emitida por la tierra. Esto modifica el equilibrio térmico de la tierra y puede originar incrementos en la temperatura de la tierra.

**Góndola:** Es donde se encuentran el multiplicador y el generador eléctrico, dos de los componentes claves del aerogenerador. Para acceder al interior de la góndola ha de hacerse desde la torre de la turbina. El rotor del aerogenerador, formado por las palas y el buje, está situado a la izquierda de la góndola.

**Hertzio o Hz:** Medida de frecuencia o Número de ciclos de onda por segundo.

**Isoventas:** Líneas de un mapa eólico que unen puntos de igual velocidad media de viento, debiendo ser especificadas previamente las condiciones de determinación de la velocidad media.

**Mapa eólico:** Mapa en donde se consignan diversos datos de tipo eólico, tales como velocidades medias de viento, direcciones predominantes, regularidad.

**Multiplicador:** Sistema mecánico inverso al reductor de velocidad que mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada.

**Mecanismo de orientación:** es utilizado en el aerogenerador para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del roto la mayor proporción de viento.

**Multiplicador:** es el sistema mecánico que mediante un conjunto de engranes comunica al eje de salida una velocidad de giro mayor que al eje de entrada.

**Número de horas equivalentes:** Parámetro usado en la caracterización del aprovechamiento de la energía eólica que es igual a la razón entre la energía generada durante un año y la potencia nominal de la máquina.

**Pala:** Elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico transforma la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

**Parque eólico:** Instalación eólica que comprende varios aerogeneradores y su infraestructura eléctrica, de medición y control correspondiente.

**Potencia:** Cantidad de energía consumida por unidad de tiempo. Unidad de potencia W (watt), un Kilowatt (kW) son 1 000 Watts, un Mega watt (MW) son 1 000 000 watts

**Red eléctrica:** Conjunto de líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y obras conectadas entre sí para la conducción de energía eléctrica

**Rosa de vientos:** Gráfico que representa la frecuencia con la que se produce la velocidad de viento en las distintas direcciones.

**Sistema hidráulico:** El sistema hidráulico restaura los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

**Torre:** Soporta la góndola y el rotor. Es mejor cuanto más alta ya que a mayor altura mayores velocidades de viento. Las torres pueden ser tubulares, de celosía o concreto.

**Unidad de refrigeración:** La unidad de refrigeración está compuesta por un ventilador eléctrico y una unidad de refrigeración de aceite. El primero se utiliza para enfriar el generador eléctrico y el segundo para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores enfriados por agua.

**Veleta:** Es un accesorio utilizada para medir la dirección del viento, envía sus señales al controlador electrónico de forma que éste pueda girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación.

**Velocidad de arranque:** Velocidad mínima de viento por encima de la cual el rotor comienza a girar.

**Velocidad de corte:** Velocidad máxima de viento por encima de la cual rotor deja de suministrar potencia al eje motor.

**Velocidad de diseño nominal:** Velocidad del viento incidente para la cual se obtiene la potencia máxima.

**Velocidad máxima crítica:** Velocidad del viento a la que se pone en funcionamiento los sistemas de parada de emergencia en previsión sobre cargas mecánicas peligrosas.

**Velocidad media anual del viento:** Valor medio del módulo de la velocidad del viento en un emplazamiento y altura dados a lo largo de un año.

### **Inversor**

Equipo que transforme la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna para alimentar las cargas

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

**Regulador:** Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas

**Condiciones de prueba estándar:** Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m<sup>2</sup> de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).

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

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

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

**Masa de aire:** Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

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

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

**Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y 1,5 de masa de aire).

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Las técnicas principales empleadas son las siguientes:

Técnicas de investigación:

#### a) Análisis documental

Esta técnica se utilizó para registrar la información de diferentes bibliografías sobre sistemas de generación eléctrica utilizando energía eólica y solar.

#### b) La Entrevista<sup>37</sup>

Es un interrogatorio dirigido por un investigador (entrevistador), con el propósito de obtener información de un sujeto (entrevistado), en relación con uno o varios temas o aspecto específicos. Según la naturaleza de las preguntas y el control que ejerza el entrevistador, puede ser: entrevista dirigida el entrevistador plantea una serie de preguntas que requieren respuestas breves. Estas preguntas se elaboran previamente y es común que el entrevistador registre las respuestas por escrito, junto a cada una de las cuestiones. La entrevista semidirigida incluye preguntas de carácter más amplio que las usadas en las de tipo dirigido, con lo cual se espera recabar más datos y obtener mayor participación del entrevistado. En la entrevista abierta de hecho se plantean sólo algunos temas o aspectos a acerca de los cuales el sujeto puede dar amplia información, de modo que éste habla la mayor parte de la sesión,

---

<sup>37</sup> <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>



en tanto que el entrevistador se limita a hacer alguna observación o a plantear otro aspecto.

**c) Observación directa<sup>38</sup>**

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

Es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar.

A partir de las visitas técnicas al Caserío Briceño se obtienen los datos del número de habitantes, número de viviendas y medios alternativos para iluminarse en la noche, para lo cual se utilizará como instrumentos fichas de observación y lista de chequeo.

**Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizaran en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado.

Este instrumento se utilizó para obtener información de diferentes bibliografías sobre sistemas eléctricos utilizando energía eólica y solar.

---

<sup>38</sup> <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

## Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 4: Técnicas e instrumentos<sup>39</sup>

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación directa	Cuaderno de apuntes, lapicero, fotografías.
Entrevista	Cuaderno y lapicero
Análisis de contenido	Libros, tesis, revistas, páginas web de internet

### 3.2. Población y muestra

**La población** es igual a la muestra es el Caserío Briceño en el distrito de Motupe perteneciente al departamento de Lambayeque.

**La Muestra** es el Caserío Briceño en el distrito de Motupe perteneciente al departamento de Lambayeque.

### 3.3. Hipótesis

Si dimensionamos un sistema eléctrico aprovechando la energía eólica y solar entonces lograremos electrificar el caserío Briceño en el distrito Motupe departamento de Lambayeque.

### 3.4. Operacionalización de variables

X: Variable independiente

Energía eólica y solar

Y: Variable dependiente

Energía Eléctrica.

---

<sup>39</sup> Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 5: Operacionalización de Variables<sup>40</sup>

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<b>Variable independiente</b>  Energía eólica y solar	Eólica: Transformar la energía cinética que genera el viento en electricidad  Solar: Transformar la energía Solar En electricidad.	Sistema de generación:  Dimensionamiento del sistema eólico y el sistema fotovoltaico.	Data de la radiación solar de diferentes fuentes.  Data de velocidad y dirección del viento.
<b>Variable dependiente</b>  Energía eléctrica	Hacer que algo funcione por medio de la electricidad.  Proveer de electricidad a un lugar.	Determinar la energía promedio diaria, la tensión de salida	Energía promedio diaria. (W.h)  Tensión de suministro (V)  Potencia (W)

<sup>40</sup> Fuente: elaboración propia

### 3.5. Métodos y Técnicas de investigación.

Utilizamos el método deductivo por que se han considerado características generales del uso de energías renovables, para llegar a conocer hechos particulares como es la energía solar y la energía eólica en la generación de energía eléctrica, que han permitido cumplir con los objetivos de la investigación.

**Las técnicas** empleadas son las siguientes:

**a) Observación:**

Que consistió en observar y registrar al detalle las características eléctricas de las cargas existentes; estos datos fueron registrados por el investigador.

**b) La Entrevista<sup>41</sup>**

Es un interrogatorio dirigido por un investigador (entrevistador), con el propósito de obtener información de un sujeto (entrevistado), en relación con uno o varios temas o aspecto específicos. Según la naturaleza de las preguntas y el control que ejerza el entrevistador, puede ser: entrevista dirigida el entrevistador plantea una serie de preguntas que requieren respuestas breves. Estas preguntas se elaboran previamente y es común que el entrevistador registre las respuestas por escrito, junto a cada una de las cuestiones. La entrevista semi dirigida incluye preguntas de carácter más amplio que las usadas en las de tipo dirigido, con lo cual se espera recabar más datos y obtener mayor participación del entrevistado. En la entrevista abierta de hecho se plantean sólo algunos temas o aspectos a acerca de los cuales el sujeto puede dar amplia información,

---

<sup>41</sup> <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

de modo que éste habla la mayor parte de la sesión, en tanto que el entrevistador se limita a hacer alguna observación o a plantear otro aspecto.

### **c) El análisis documental**

Este instrumento de medición se utilizará para registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas.

## **3.6. Descripción de los instrumentos utilizados**

**Los instrumentos utilizados** en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado.

**En la técnica de la observación** el instrumento es la guía de observación nos permiten cerciorar la realidad del trabajo de los equipos, esto se comprueba mediante panel fotográfico y lo más importante por las visitas que se realizan a las incubadoras artificiales que trabajan con energía convencional.

**En la técnica del análisis documental la guía de Análisis de Documentos:** Se han revisado las diversas normas técnicas peruanas e internacionales relacionadas con la línea de investigación, tesis, libros convenientes para la investigación.

**En la técnica de la entrevista se usó un cuaderno y lapicero,** La entrevista, es la comunicación interpersonal establecida entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a los interrogantes planteados sobre el problema propuesto. Se considera que este método es más eficaz que el cuestionario, ya que permite obtener una información más completa.

A través de ella el investigador puede explicar el propósito del estudio y especificar claramente la información que necesite; si hay interpretación errónea de las preguntas permite aclararla, asegurando una mejor respuesta<sup>42</sup>.

### **3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos**

El tratamiento que se le dará a los datos obtenidos de diferentes fuentes de la radiación solar será utilizando la estadística descriptiva, específicamente utilizaremos el valor de tendencia central como el promedio y también el valor mínimo de un conjunto de datos, con la finalidad de asegurarnos que aun en las peores condiciones nuestro sistema sea capaz de suministrar energía eléctrica al caserío Briceño.

Con respecto de la tasa de crecimiento poblacional calcularemos el valor promedio de las diferentes tasas de crecimiento a lo largo de un periodo de tiempo brindado por el INEI.

Con respecto de la velocidad del viento utilizaremos la distribución de Weibull. Los datos serán debidamente organizados en tablas y gráficas de barras utilizando el MS Excel 2016.

---

<sup>42</sup> <http://manuelgalan.blogspot.com/2009/05/la-entrevista-en-investigacion.html>

## CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. Propuesta de la investigación

Para lograr electrificar el caserío Briceño que se encuentra ubicado en el Distrito de Motupe, departamento de Lambayeque.

Se propone el dimensionamiento de un sistema eléctrico utilizando eólico y solar en el caserío Briceño.

Para lo cual se propone lo siguiente:

**a) Aerogenerador.** En este se considerará un aerogenerador de acuerdo a la velocidad del viento en el lugar que se está implementado con su controlador de carga.

**b) Generador Fotovoltaico:** Que estará formado por un conjunto de paneles fotovoltaicos, se tendrá en cuenta una marca reconocida y la potencia que sea comercializable es decir fácil de poder adquirirlo. El número de paneles fotovoltaicos se determinará en función de la máxima demanda de la carga.

**b) Controlador de carga solar:** De marca reconocida con la capacidad de corriente eléctrica de tal manera que pueda soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico y la potencia suficiente para que no se produzcan sobrecargas.

**c) Banco de batería:** Se considerará baterías de marca reconocida por ejemplo RITAR o ROLLS y la capacidad se seleccionará en función de la energía de la carga y los días de autonomía.

**d) El inversor:** Con la finalidad de transformar la corriente eléctrica en CD a AC y poder suministrarle a la carga los 220 V y a una frecuencia de 60 Hz.

**e) Red de distribución en 220 V:**

Con la finalidad de poder llevar la energía desde el sistema eólico fotovoltaico a cada uno de las viviendas y así lograr su aprovechamiento por parte de los habitantes.



## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Consumo de energía en el caserío Briceño.

El caserío Briceño está constituido por 59 viviendas 01 local comunal, 01 iglesia, 01 colegio y 01 comedor; con un total de 63 lotes.

La información sobre los electrodomésticos que se utilizaran en las viviendas del caserío Briceño.

#### 5.1.1. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día)

Para determinar la energía total promedio diaria necesitamos proyectar la población para 20 años.

La tasa de crecimiento del departamento de Lambayeque.

Tabla N° 6: tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque<sup>43</sup>

DEPARTAMENTOS	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
PERU	1.7	1.6	1.5	1.3
COSTA				
Callao	2.6	2.3	2.1	1.8
Ica	1.7	1.5	1.3	1.2
La Libertad	1.8	1.7	1.5	1.3
Lambayeque	2.0	1.9	1.7	1.5
Lima	1.9	1.7	1.5	1.3
Moquegua	1.7	1.6	1.4	1.3
Piura	1.3	1.2	1.1	0.9
Tacna	3.0	2.7	2.4	2.1
Tumbes	2.8	2.6	2.3	2.0

<sup>43</sup> [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm)

El valor promedio de las tasas de crecimiento de la Tabla N° 6 es de: 1,78 %

Utilizando la ecuación N° 11

Donde:

Po: Población actual (185 habitantes)

P<sub>20</sub>: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,78%)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$P_{20} = 185(1 + 0,0178)^{20} \approx 264 \text{ personas}$$

Usaremos la siguiente relación para calcular el número de viviendas proyectadas

Para el cálculo del número de viviendas consideraremos la hipótesis de que el número de personas por unidad de viviendas permanece en el tiempo, por lo que el número de viviendas es de 85

Para proyectar el número de viviendas trabajaremos bajo la hipótesis de que la relación del número de habitantes por vivienda es constante

$$\frac{Poblacion_0}{Viviendas_0} = \frac{Poblacion_{20}}{Vivienda_{20}} \dots (30)$$

$$Vivivenda_{20} = Vivienda_0 x \left( \frac{Poblacion_{20}}{Poblacion_0} \right)$$

Reemplazando los resultados anteriores:

$$Vivivenda_{20} = 59x \left( \frac{264}{185} \right) = 84,19 \approx 85 \text{ viviendas}$$

## **Alumbrado de vías Públicas**

El número de puntos de iluminación (PI), se calculó según lo establecido en la norma DGE Alumbrado de vías públicas en áreas rurales<sup>44</sup>, el mismo que se presenta a continuación.

### **a. Determinación del consumo de energía mensual por alumbrado público (CMAP):**

$$CMAP = KALPxUN \dots (31)$$

Donde:

**CMAP** = Consumo mensual de alumbrado público en kW-h.

**KALP** = Factor de AP en kW-h / usuario – mes. Dicho factor es el correspondiente al sector típico 4: KALP=3,3

**NU** = Número de usuarios de la localidad (59)

$$CMAP = 194,7 \text{ kW.h}$$

### **b. Cálculo del número de punto de iluminación (PI):**

$$PI = \frac{CMAPx1000}{NHMAPxPPL} \dots (32)$$

Donde:

**PI** = Puntos de iluminación.

**CMAP** = Consumo mensual de alumbrado público en kW-h.

**NHMAP** = Número de horas mensuales del servicio alumbrado público (horas/mes).

**PPL** = Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watts (60 W).

---

<sup>44</sup> (RD017-2003-EM 2003)

La cantidad de Puntos de iluminación (PI) en caso de ser decimal se debe redondear al número inferior.

El número de horas diarias de alumbrado público considerado debe estar comprendido entre 8 y 12 horas; mayormente 12 horas. (NHMAP = 12 x 30 = 360)

Reemplazando los datos en la siguiente formula obtenemos:

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{NHMAP \times PPL} = \frac{194,7 \times 1000}{360 \times 60} \approx 9$$

*Energia diaria por alumbrado publico: (0,54 kW)x(12 h) = 6,48 kW.h*

Tabla N° 7: Consumo de energía promedio diario del caserío Briceño<sup>45</sup>

Demanda de energía eléctrica promedio diaria en el Caserío Briceño					
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso diario (h)	Consumo diario promedio (Wh)	potencia (W)
<b>1. Unidad de vivienda: 85</b>					
Lamparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	5	50	10
Carga de celular	5	3	1	15	15
Televisor	60	1	3	180	60
<b>Sub total</b>				<b>317,00</b>	109
<b>2. Local comunal: 1</b>					
Lamparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	4	40	10
Televisor	60	1	3	180	60
Equipo de sonido	200	1	2	400	200
Carga de celular	5	1	2	10	5
<b>Sub total</b>				<b>702,00</b>	299
<b>3. Comedor: 1</b>					
Lamparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	4	40	10
Televisor	60	1	3	180	60
Carga de celular	5	1	2	10	5
<b>Sub total</b>				<b>302,00</b>	99
<b>4. Colegio:</b>					
Lamparas	8	4	3	96	32
Radio	10	1	4	40	10
Equipo de sonido	200	1	1	200	200
Televisor	60	1	3	180	60
Carga de celular	5	1	2	10	5
<b>Sub total</b>				<b>526,00</b>	307
<b>5. Iglesia: 1</b>					
Lamparas	8	2	3	48	16
Radio	10	1	4	40	10
Equipo de sonido	200	1	2	400	200
Carga de celular	5	1	2	10	5
<b>Sub total</b>				<b>498,00</b>	231
<b>Total</b>				<b>28973,00</b>	<b>6386</b>

<sup>45</sup> Fuente: elaboración propia del autor

Entonces la energía promedio diaria para el caserío Briceño es de:

$$\begin{aligned} \text{Energía promedio diaria para el caserío Briceño} &= 28,973 \text{ kW.h} + 6,48 \text{ kW.h} \\ &= 35,45 \text{ kW.h} \end{aligned}$$

Con respecto de la máxima demanda se considerará la potencia instalada de la carga, es decir:

$$\text{Máxima demanda para el caserío Briceño} = 6,387 \text{ kW} + 0,54 \text{ kW} = 6,93 \text{ kW}$$

## 5.2. Evaluación del recurso solar y eólico

**Atlas de energía solar del Perú**, del cual podemos obtener la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Lambayeque<sup>46</sup>, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día y 5 kWh/m<sup>2</sup>/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día.

---

<sup>46</sup> SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.

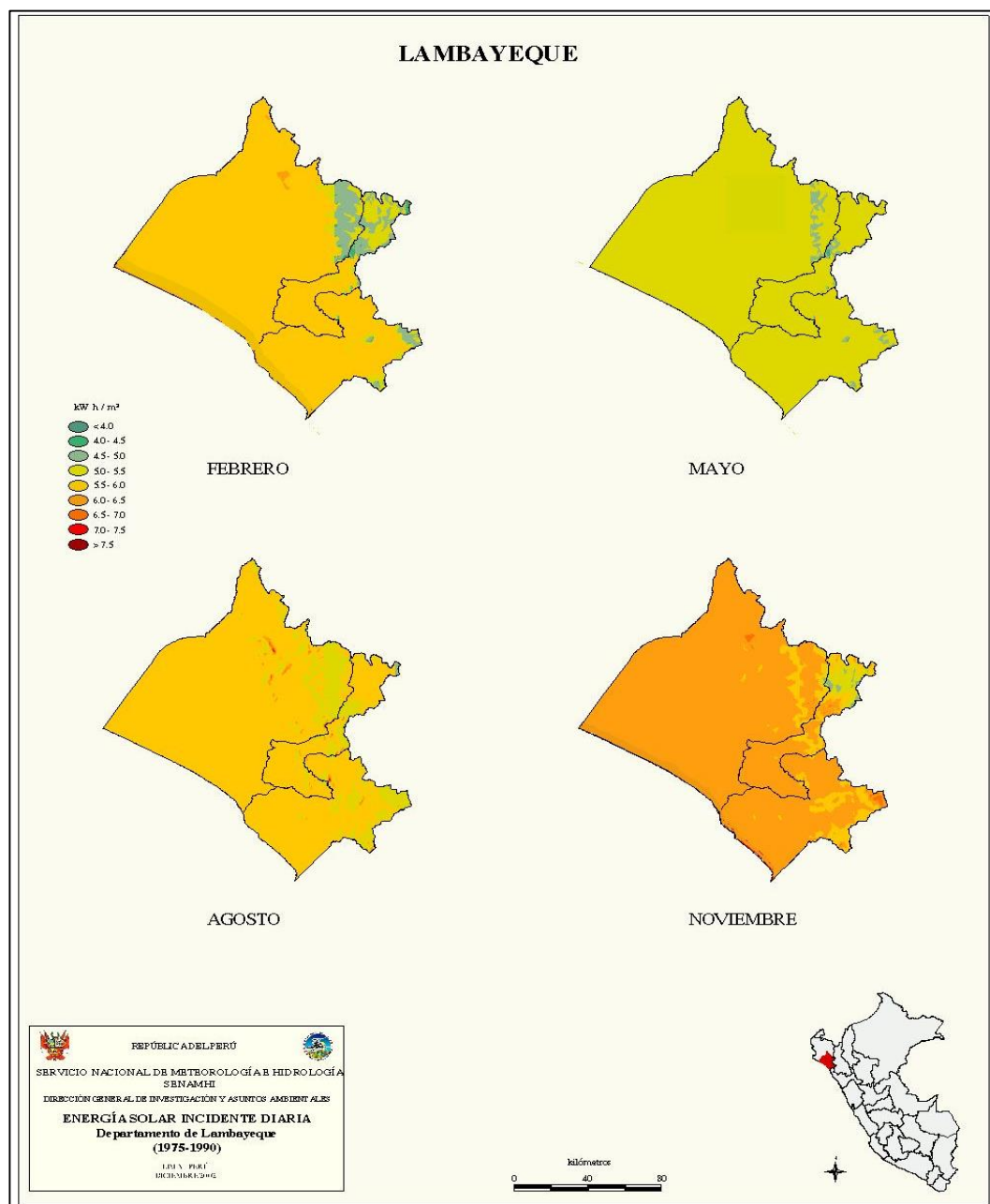


Figura N° 21: Irradiación solar en el departamento Lambayeque<sup>47</sup>

<sup>47</sup> <https://deltavolt.pe/phocadownload/Lambayeque.jpg>

## **Software METEONORM**

Consultando el software METEONORM, obtenemos los datos de radiación solar a nivel de departamento tal como se muestra en la siguiente tabla N° 8.

Tabla N° 8: Radiación solar en el Caserío Briceño con el software METEONORM<sup>48</sup>

Caserio Briceño

 Radiación	 Temperatura	 Precipitación	 Duración de la insolación				
 Radiación global diaria		 Temperatura diaria		 Tabla de datos			
	Gh kWh/m <sup>2</sup>	Dh kWh/m <sup>2</sup>	Bn kWh/m <sup>2</sup>	Ta °C	Td °C	FF m/s	
Enero	182	73	155	24.4	18.7	5	
Febrero	170	77	129	25.8	19.6	4.3	
Marzo	195	75	168	25.8	19.7	4.1	
Abril	183	68	166	23.8	18.1	4.8	
Mayo	167	65	156	21.4	16.3	5.3	
Junio	150	57	147	20	15.6	4.8	
Julio	152	68	131	19.7	15.2	4.6	
Agosto	170	71	147	19.4	14.9	4.7	
Setiembre	190	72	165	19.2	14.6	5.4	
Octubre	196	82	158	19.7	14.8	5.5	
Noviembre	186	74	163	20.7	15.6	5.4	
Diciembre	191	81	157	22.5	17.1	5.3	
Año	2132	865	1840	21.9	16.7	4.9	

<sup>48</sup> Fuente: software METEONORM



Tabla N° 9: Radiación solar promedio diario<sup>49</sup>

Mes	Gh(kWh/m <sup>2</sup> )	días del mes	Gh(kWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	182	31	5,87
febrero	170	28	6,07
Marzo	195	31	6,29
Abril	183	30	6,10
Mayo	167	31	5,39
Junio	150	30	5,00
Julio	152	31	4,90
Agosto	170	31	5,48
Septiembre	190	30	6,33
Octubre	196	31	6,32
Noviembre	186	30	6,20
Diciembre	191	31	6,16

De la figura N° 9 el menor valor de radiación solar es de: 4,90 kWh/m<sup>2</sup>/día

De los resultados anteriores se concluye que la radiación solar en el caserío

Briceño es de: 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día

### 5.2.1. Calculo del potencial eólico

Para la evaluación del recurso eólico se ha tomado los datos de la velocidad del viento promedio mensual de la estación meteorológica Lambayeque del SENAMHI para un periodo de un año tal como se muestra en la tabla siguiente:

<sup>49</sup> Fuente: elaboración propia

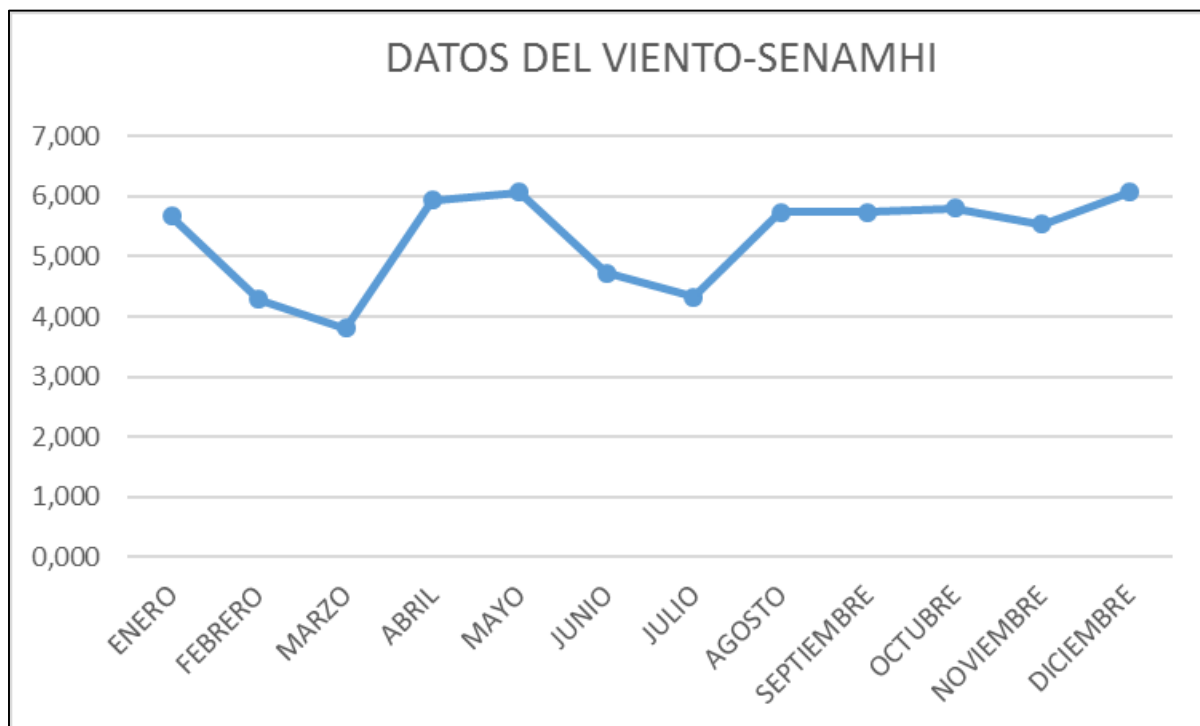


Figura N° 22: velocidad del viento Estación Meteorológica Lambayeque La - SENAMHI<sup>50</sup>

De donde se observa que uno de los meses críticos, es decir con menor velocidad promedio de viento mensual es el mes de julio.

De la estación meteorológica de la FIME obtenemos los datos de la velocidad del viento para el mes de Julio (ANEXO 01) datos cada 15 minutos.

Tenemos 2 255 datos, Los datos de la estación meteorológica de la FIME son a una altura de 20 m por lo que aplicando la ley exponencial (Hellman) los pasamos a 15 m que es la altura a la cual trabajaremos (ANEXO 02) y luego elaboramos la tabla N° 10 de frecuencias.

Tabla N° 10: Frecuencia de la velocidad<sup>51</sup>

V (m/s)	Distribución de frecuencias	Distribución acumulada	Distribución acumulada porcentual
1	58	58	0,026
2	100	158	0,070
3	672	830	0,368
4	600	1430	0,634
5	518	1948	0,864
6	172	2120	0,940
7	119	2239	0,993
8	13	2252	0,999
9	3	2255	1,000

Podemos decir de la tabla N° 10 que por ejemplo que la velocidad fue de 8 m/s para 13 h, durante el periodo de medición. Elaboramos el siguiente grafico

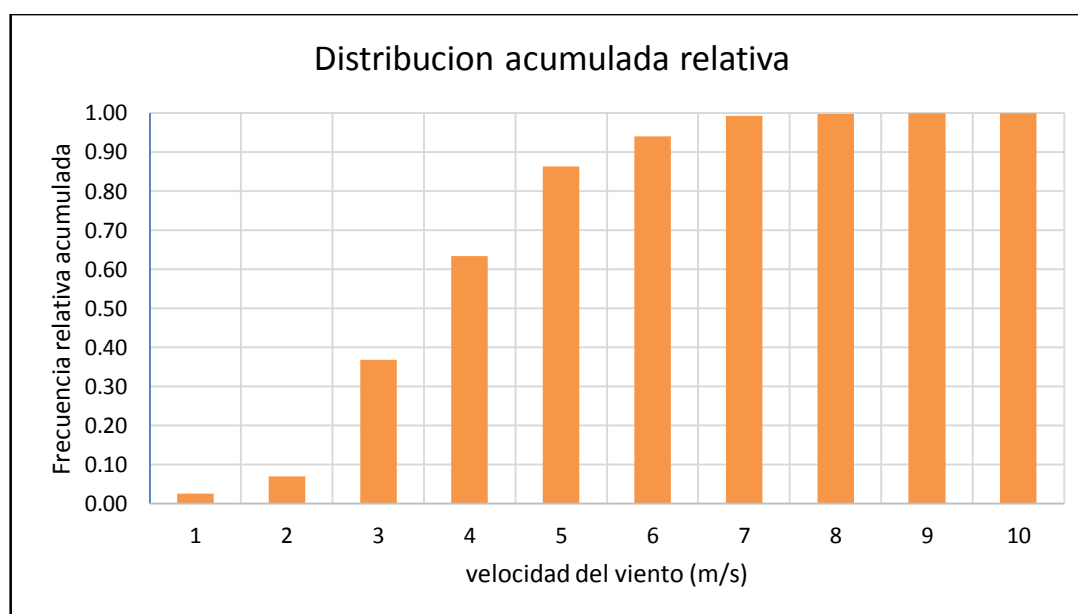


Figura N° 23 : Distribución acumulada de la velocidad<sup>52</sup>

<sup>51</sup> Fuente: elaboración propia

<sup>52</sup> Fuente: elaboración propia

Utilizaremos las fórmulas que:

$$Y = \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right) \dots de \text{ (8)}$$

$$X = \ln(v) \dots de \text{ (9)}$$

$$B = -k \cdot \ln(C) \dots de \text{ (10)}$$

Tabla N° 11: Cambio de variable<sup>53</sup>

Velocidad(m/s)	ln(v)	ln(ln(1/(1-F(v))))
1	0	-3,647462
2	0,69315	-2,622209
3	1,09861	-0,778753
4	1,38629	0,005507
5	1,60944	0,690172
6	1,79176	1,035186
7	1,94591	1,599047
8	2,07944	1,890442

Utilizaremos el método de los mínimos cuadrados para hacer un reajuste de los valores siguientes:

---

<sup>53</sup> Fuente: elaboración propia

Tabla N° 12: aplicando método de los mínimos cuadrados<sup>54</sup>

$X_i$	$Y_i$	$X_i Y_i$	$X^2$
0	-3,647462	0	0
0,693147181	-2,622209	-1,817576754	0,480453014
1,098612289	-0,778753	-0,855547235	1,206948961
1,386294361	0,005507	0,007633874	1,921812056
1,609437912	0,690172	1,110788194	2,590290394
1,791759469	1,035186	1,854804687	3,210401996
1,945910149	1,599047	3,111602611	3,786566308
2,079441542	1,890442	3,93106296	4,324077125
0	-3,647462	0	0
$\sum X = 10,6046029$	$\sum Y$ $= -1,828070$	$\sum XY$ $= 7,34276834$	$\sum X^2$ $= 17,5205499$

<sup>54</sup> Fuente: elaboración propia

$$Y = K.x + B..(7)$$

Donde:

$$K = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = 2,8198$$

$$b = \frac{\sum y - K(\sum x)}{n} = -3,9664$$

De donde obtenemos los parámetros de la ecuación de Weibull

k= 2,8198

b= -3,9664 de donde obtenemos que C= 4,0821

Ahora basados en la fórmula de la distribución de Weibull elaboramos el siguiente cuadro.

Tabla N° 13: Horas de duración de las velocidades<sup>55</sup>

velocidad (m/s)	f(v)	# horas
0	0,000000	0,00
1	0,052409	29,55
2	0,164955	92,99
3	0,259228	146,14
4	0,258919	145,97
5	0,169908	95,79
6	0,071970	40,57
7	0,018989	10,71
8	0,002989	1,69
9	0,000268	0,15
10	0,000013	0,01

<sup>55</sup> Fuente: elaboración propia

### 5.3. Calculo del sistema eléctrico eólico - solar

#### 5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico

Se propone utilizar un aerogenerador ENAIR 70 PRO (ANEXO 03).

Figura N° 24: Aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW<sup>56</sup>

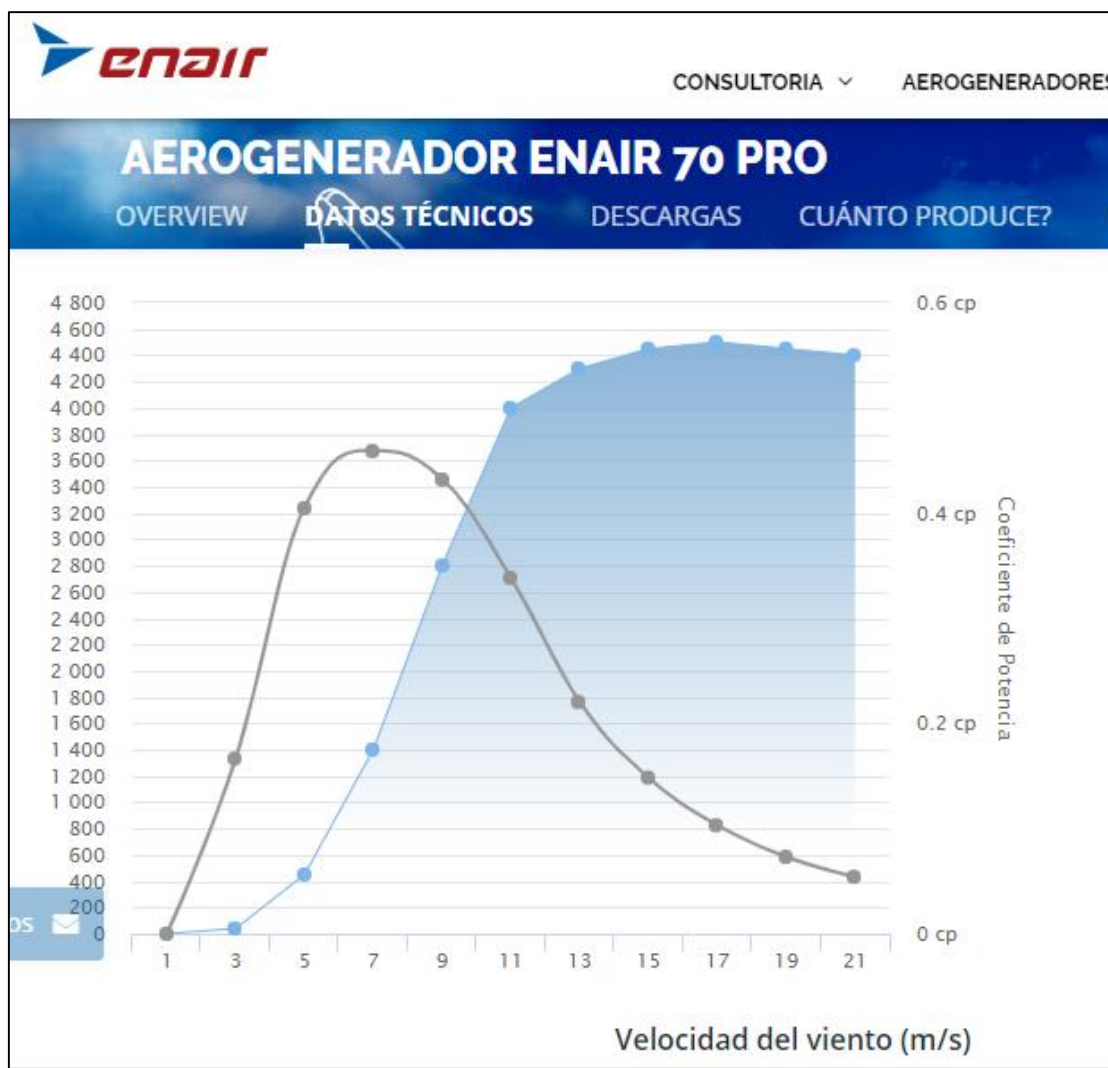


Figura N° 25: curva de potencia<sup>57</sup>

<sup>56</sup> <http://www.revosolar.com/tienda-online-solar/es/aerogeneradores/297-aerogenerador-air-50-3000.html>

<sup>57</sup> <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>

Figura N° 26: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW<sup>58</sup>

velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energía (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	29,55	0,00
2	0	92,99	0,00
3	40	146,14	5 845,60
4	200	145,97	29 193,10
5	450	95,79	43 103,61
6	950	40,57	38 544,63
7	1 400	10,71	14 987,14
8	1 600	1,69	2 696,05
9	2 800	0,15	422,88
10	4 000	0,0073	29,38
0	0	0,00	0,00
<b>ENERGÍA EN EL PERIODO DE MEDICIÓN</b>			<b>134 822,39</b>

La energía total suministrada por el aerogenerador es de 134 822,39 W.h y considerando los 24 días del mes, entonces la energía promedio diaria entregado por el aerogenerador es de: 5, 617,73 kW.h/día.

### 5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El rendimiento global de la instalación solar eólica se obtiene con la ecuación N° 12:

$$E_{entrega\ a\ la\ carga} = F \times E_{sistema}$$

Donde F, utilizaremos la ecuación N° 13:

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

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

<sup>58</sup> <http://www.revosolar.com/tienda-online-solar/es/aerogeneradores/297-aerogenerador-air-50-3000.html>



$f_a$ : Fracción de energía perdida por auto descarga =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, etc.=0,05

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

$N$ : Días de Autonomía: 2

Reemplazando en (13) obtenemos que  $F = 0,76$

$$\text{Energía del sistema} = \frac{E_{carga}}{0,76} = 46,64 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía del sistema} = \text{Energía eólica} + \text{energía fotovoltaica}$$

$$46,64 \text{ kWh} = 5,62 \text{ kWh} + \text{energía fotovoltaica}$$

$$\text{energía fotovoltaica} = 41,02 \text{ kWh}$$

Ahora proponemos el uso de paneles JINKO de 320 Wp

$$\text{energía fotovoltaica} = 40,76 \text{ kWh} = N_{\text{paneles}} \times P_{\text{panel}} \times HSP$$

De donde obtenemos que el número de paneles fotovoltaicos es de:

$$N_{\text{paneles}} = 26,81 \approx 28 \text{ paneles}$$

#### 5.3.2.1. Generador fotovoltaico

El generador fotovoltaico estará conformado por 28 paneles fotovoltaicos de 320 Wp de la marca JINKO (**ANEXO 04**), las características se pueden observar en la siguiente tabla N° 14

Tabla N° 14: Características eléctricas del panel fotovoltaico Jinko<sup>59</sup>

ESPECIFICACIONES								
Tipo de módulo	JKM310PP(Plus)		JKM315PP(Plus)		JKM320PP(Plus)		JKM325PP(Plus)	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A
Eficiencia del módulo (%)	15.98%		16.23%		16.49%		16.75%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C							
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)							
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A							
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%							
Coeficiente de temperatura de PMAX	-0.40%/°C							
Coeficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C							
Coeficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C							
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C							

Tabla N° 15: Características mecánicas<sup>60</sup> del panel fotovoltaico Jinko de 320 Wp

Características mecánicas	
Tipo de célula	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6×12)
Dimensiones	1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm², Longitud: 900mm

<sup>59</sup> <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jinko-325W-24V.pdf>

<sup>60</sup> <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-panel-Jinko-325W-24V.pdf>

De las ecuaciones (14) y (15) calculamos el número de paneles fotovoltaicos en serie y numero de ramas en paralelo:

De (14)

La tensión de trabajo será de 48 V

$$N_{mserie} = 48/24$$

$$N_{mserie} = 2$$

De (15)

$$\text{Numero de ramas en paralelo}(N_{rparalelo}) =$$

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

La energía diaria que entregara el generador fotovoltaico es de:

Tabla N° 16: características del generador fotovoltaico<sup>61</sup>

Radiación solar	Numero de paneles Jinko de 320 Wp	Potencia del generador fotovoltaico	Energía diaria entregada por el generador
4,75 kW/m <sup>2</sup> /día	28	8,96 kWp	42,560 kWh/día

Ahora la energía total diaria entregada por el aerogenerador y el generador fotovoltaico es de:

$$E_{sistema} = E_{aerogenerador} + E_{generador\ fotovoltaico}$$

$$E_{sistema} = 5,618\ kWh + 42,560\ kWh = 48,178\ kWh$$

Pero no toda esa energía llega a la carga debido a que una se pierde debido a la eficiencia de los componentes y equipos y el

---

<sup>61</sup> Fuente: elaboración propia

efecto Joule, obteniendo un rendimiento de 0,76; con lo cual la energía entregada a la carga es de: 36,62 kWh; que es mayor a lo que requiere la carga que es de: 35,45 kWh

***Se usaran 28 paneles fotovoltaicos de 320 Wp y***

***01 aerogenerador de 5 kW***

#### **5.3.2.2. Controlador para sistema fotovoltaico**

Tendremos en cuenta las ecuaciones (19) y (20) y la corriente del cortocircuito del panel fotovoltaico lo obtenemos de la tabla N° 14

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times 9,05 \times 14 = 158,38 \text{ A}$$

Proponemos el uso de controladores de la marca VICTRON ENERGY (ANEXO 05) con una capacidad de corriente de 85 A,

De la ecuación (14)

$$N_{\text{reguladores}} = 158,38 / 85 = 1,862 \approx 2$$

***Se usaran 02 controladores VICTRON ENERGY 150/85***

#### **5.3.2.3. Banco de baterías**

Para el dimensionamiento de baterías utilizaremos las ecuaciones (17), (18) y (20)

Con los siguientes datos:

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

$P_D = 0,7.$

$V_T = 48 \text{ V}.$

$$C_T = (2 \times 36\,620) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 2\,179,76 \text{ Ah}$$

Proponemos el uso de baterías RITAR de 200 Ah (ANEXO 06),



Figura N° 27: Batería RITAR<sup>62</sup> de 200 Ah

Tabla N° 17: Capacidad Vs Costo de las baterías RITAR<sup>63</sup>

Marca	Capacidad (A.h)	Costo de la batería (S/.)	Tensión de la batería	Total de baterías	Costo total (S/.)	Capacidad total (A.h)
RITAR	200	1393,06	12	44	61294,64	2200
RITAR	260	2540,28	12	36	91450,08	2340
ROLLS	503	3469,09	12	20	69381,80	2515

Por ser de marca reconocida y además de capacidad ampliamente comerciable

El número de baterías que deben conectarse en serie:

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

<sup>62</sup> <https://autosolar.pe/baterias-agm-12v/bateria-ritar-12v-200ah-ra-agm>

<sup>63</sup> Fuente: elaboración propia

$$N_{S\ bat.} = 4\ baterías$$

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

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

Donde:

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

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

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

$$N_{P\ bat.} = 2\ 179,76 / 200$$

$$N_{P\ bat.} = 10,90 \approx 11$$

Luego el número total de baterías es de 44

***Se usaran 44 baterías RITAR de 200 Ah***

#### 5.3.2.4. Inversor

Aquí calcularemos con la potencia instalada suponiendo el caso crítico en que la máxima demanda es igual a la potencia instalada:

6,93 kW. Entonces de las ecuaciones (21) y (22) tenemos lo siguiente

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{Potencia\ de\ la\ carga}{Rendimiento\ del\ inversor}$$

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{6,93}{0,94} = 7,37\ kW$$

Para calcular el número de inversores

$$N_{inversores} = \frac{Potencia\ de\ entrada\ del\ inversor}{Potencia\ del\ inversor\ seleccionado}$$

$$N_{inversores} = \frac{7.37}{10}$$

$$N_{inversores} = 0.737 \approx 1$$

Por lo tanto, se trabajará con un inversor de la marca Must Solar de 10 kW (ANEXO 07)



Figura N° 28: Inversor<sup>64</sup> Must Solar de 10 kW

#### 5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Utilizando las ecuaciones (23) (24) y (25) seleccionamos los conductores eléctricos tal como se muestra a continuación:

##### **Cálculo del conductor en el tramo campo fotovoltaico – regulador**

$$\Delta V \leq 3 \%$$

Haciendo uso de la Ecuación (17) tenemos:

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 9,05 \times 7 = 79,19\ A$$

Haciendo uso de la Ecuación (18) tenemos:

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

<sup>64</sup> <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-3003019.pdf>

$$S_{CABLE} = 2 \times 8 \times 79,19 / (56 \times 1,44)$$

$$S_{CABLE} = 15,71 \text{ mm}^2$$

De la Tabla N° 18, seleccionamos el conductor **16 mm<sup>2</sup> NYY**

### Cálculo del conductor en el tramo regulador – batería $\Delta V \leq 1 \%$

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 9,05 \times 14 = 158,38 \text{ A}$$


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

$$S_{CABLE} = 2 \times 2 \times 158,38 / (56 \times 0,48)$$

$$S_{CABLE} = 23,5 \text{ mm}^2$$

De la Tabla N° 18, seleccionamos el conductor **25 mm<sup>2</sup> NYY**

Tabla N° 18: Características eléctricas de los conductores NYY




empresa 

TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE	N° HILOS	ESPESORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
N° x mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

Fuente: Catalogo de INDECO<sup>65</sup> (ANEXO 08)

<sup>65</sup> <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>



#### 5.3.2.5. Angulo óptimo de inclinación:

El Angulo de inclinación óptima de una superficie fija se usa la ecuación (26)

Sabiendo que la latitud es de

Latitud: -6.26518666700

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,265|)$$

$$\beta_{opt} = 8,02^\circ$$

Luego el ángulo óptimo es de 8,02°, consideraremos 15° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo y humedad.

#### 5.3.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

De acuerdo con la norma: Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural. (RD031-2003-EM 2003) Donde estipula que la caída máxima de tensión en la red secundaria es de 7,0 % de la tensión nominal.

En la red de distribución secundaria se ha considerado usar el conductor 2x16/25 y 1x16/25

##### 5.3.3.1. Cálculos eléctricos

##### 5.3.3.2. Máxima caída de tensión permisible

El conductor eléctrico propuesto debe cumplir dos criterios, debe tener una capacidad de corriente mayor que la que requiere la carga y 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.

De la fórmula (27) para calcular la calidad de tensión 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

Los valores de K, se pueden observar en el **Anexo N° 12**.

#### **Por capacidad de corriente:**

Consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = 1\ 0000 / 220$$

$$I_{MAX\ carga} = 45,45\ A$$

Del anexo N° 9, la capacidad de corriente del conductor propuesto es de 64 A, por lo tanto

$$\text{Como: } 45,45\ A < 64\ A$$

#### **Por caída de tensión:**

Observamos de las tablas N° 19, Tabla N° 20 , Tabla N° 21, Tabla N° 22, que la caída de tensión está por debajo de 7 %, por lo cual el conductores eléctrico propuesto se acepta

Tabla N° 19: Caída de tensión<sup>66</sup> C-I

	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	Δ V	Σ Δ V	%
Punto	N° Lotes	CARGA	CORRIENTE	POT.	Σ I		Cond.		S.P.	Total	de
		ESPECIAL	[A]	[ W ]	[ A ]	[ m ]	[mm²]	[V/A-km]	[ V ]	[ V ]	Δ V
1	0	0	0,0	0,0	6,9	30,00	2x16+N15	3,272	0,7	0,7	0,31%
2	0	0	0,0	0,0	6,9	49,12	2x16+N16	3,272	1,1	1,8	0,82%
3	0	0	0,0	0,0	6,9	46,33	2x16+N17	3,272	1,1	2,8	1,29%
4	14	0	6,9	1526,0	6,9	46,33	2x16+N18	3,272	1,1	3,9	1,77%
5	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N19	3,272	0,0	3,9	1,77%
6	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N20	3,272	0,0	3,9	1,77%
7	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N21	3,272	0,0	3,9	1,77%
8	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N22	3,272	0,0	3,9	1,77%
9	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N23	3,272	0,0	3,9	1,77%
10	0	0	0,0	0,0	0,0	46,33	2x16+N24	3,272	0,0	3,9	1,77%
11	1	0	0,5	109,0	0,5	46,33	2x16+N25	3,272	0,1	4,0	1,81%
4.1	0	0	0,0	0,0	0,0	43,11	2x16+N26	3,272	0,0	1,1	0,48%
4.2	0	0	0,0	0,0	0,0	43,11	2x16+N27	3,272	0,0	1,1	0,48%
4.3	1	0	0,5	109,0	0,5	43,11	2x16+N28	3,272	0,1	1,1	0,51%
4.4	0	0	0,0	0,0	0,0	45,50	2x16+N29	3,272	0,0	1,1	0,51%
4.5	1	0	0,5	109,0	0,5	45,50	2x16+N30	3,272	0,1	1,2	0,54%
4.6	1	0	0,5	109,0	0,5	47,80	2x16+N31	3,272	0,1	1,3	0,58%
4.7	0	0	0,0	0,0	0,0	47,80	2x16+N32	3,272	0,0	1,3	0,58%
4.8	0	0	0,0	0,0	0,0	47,80	2x16+N33	3,272	0,0	1,3	0,58%
4.9	0	0	0,0	0,0	0,0	47,80	2x16+N34	3,272	0,0	1,3	0,58%
4.10	1	0	0,5	109,0	0,5	47,80	2x16+N35	3,272	0,1	1,4	0,61%
4.11	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N36	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.12	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N37	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.13	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N38	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.14	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N39	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.15	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N40	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.16	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N41	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.17	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N42	3,272	0,0	1,4	0,61%
4.18	1	0	0,5	109,0	0,5	48,86	2x16+N43	3,272	0,1	1,4	0,65%
4.19	0	0	0,0	0,0	0,0	48,86	2x16+N44	3,272	0,0	1,4	0,65%
4.20	0	0	0,0	0,0	0,0	42,47	2x16+N45	3,272	0,0	1,4	0,65%
4.21	8	0	4,0	872,0	4,0	42,47	2x16+N46	3,272	0,6	2,0	0,90%
4.22	0	0	0,0	0,0	0,0	42,47	2x16+N47	3,272	0,0	2,0	0,90%
4.23	1	0	0,5	109,0	0,5	42,47	2x16+N48	3,272	0,1	2,0	0,93%
4.21.1	1	0	0,5	109,0	0,5	49,63	2x16+N49	3,272	0,1	2,1	0,94%
4.21.2	2	0	1,0	218,0	1,0	49,63	2x16+N50	3,272	0,2	2,2	1,01%
4.21.3	0	0	0,0	0,0	0,0	46,01	2x16+N51	3,272	0,0	2,2	1,01%
4.21.4	1	0	0,5	109,0	0,5	46,01	2x16+N52	3,272	0,1	2,3	1,04%
4.21.5	0	0	0,0	0,0	0,0	46,01	2x16+N53	3,272	0,0	2,3	1,04%
4.21.6	2	0	1,0	218,0	1,0	46,01	2x16+N54	3,272	0,1	2,4	1,11%
4.21.7	1	0	0,5	109,0	0,5	46,01	2x16+N55	3,272	0,1	2,5	1,15%
4.21.8	1	0	0,5	109,0	0,5	46,01	2x16+N56	3,272	0,1	2,6	1,18%
4.21.9	1	0	0,5	109,0	0,5	46,01	2x16+N57	3,272	0,1	2,7	1,21%
4.6.1	1	0	0,5	109,0	0,5	43,94	2x16+N58	4,272	0,1	1,4	0,62%
4.6.2	1	0	0,5	109,0	0,5	43,94	2x16+N59	5,272	0,1	1,5	0,67%
4.6.3	1	0	0,5	109,0	0,5	43,94	2x16+N60	6,272	0,1	1,6	0,73%
4.6.4	1	0	0,5	109,0	0,5	43,94	2x16+N61	7,272	0,2	1,8	0,81%

<sup>66</sup> Fuente: elaboración propia

Tabla N° 20: caída de tensión<sup>67</sup> C-II

	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	Δ V	Σ Δ V	%
Punto	N° Lotes	CARGA	CORRIENTE	POT.	Σ I		Cond.		S.P.	Total	de
		ESPECIAL	[A]	[ W ]	[ A ]	[ m ]	[mm²]	[V/A-km]	[ V ]	[ V ]	Δ V
1	0	0	0,0	0,0	0,0	30,00	2x16+N15	3,272	0,0	0,0	0,00%
2	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
3	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
4	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
5	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
6	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
7	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
8	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	1x16+N25	3,272	0,0	0,0	0,00%
9	2	0	1,0	218,0	1,0	48,42	1x16+N25	3,272	0,2	0,2	0,07%
10	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	1x16+N25	3,272	0,0	0,2	0,07%
11	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	1x16+N25	3,272	0,0	0,2	0,07%
12	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	1x16+N25	3,272	0,0	0,2	0,07%
13	2	0	1,0	218,0	1,0	47,64	1x16+N25	3,272	0,2	0,3	0,14%
14	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,3	0,14%
15	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,3	0,14%
16	3	0	1,5	327,0	1,5	48,12	1x16+N25	3,272	0,2	0,5	0,25%
17	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
18	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
19	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
20	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
21	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
22	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
23	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
24	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
25	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
26	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
27	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
28	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	0,5	0,25%
29	1	0	0,5	109,0	0,5	48,12	1x16+N25	3,272	0,1	0,6	0,28%
30	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	0,6	0,28%
31	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	0,6	0,28%
32	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	0,6	0,28%
33	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	0,6	0,28%
34	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	0,6	0,28%
35	1	0	0,5	109,0	0,5	46,72	1x16+N25	3,272	0,1	0,7	0,32%
36	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
37	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
38	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
39	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
40	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
41	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
42	0	0	0,0	0,0	0,0	46,72	1x16+N25	3,272	0,0	0,7	0,32%
43	1	0	0,5	109,0	0,5	46,72	1x16+N25	3,272	0,1	0,8	0,35%
16.1	1	0	0,5	109,0	0,5	46,19	1x16+N25	3,272	0,1	1,3	0,60%
16.2	1	0	0,5	109,0	0,5	45,69	1x16+N25	3,272	0,1	1,4	0,63%
16.3	0	0	0,0	0,0	0,0	45,69	1x16+N25	3,272	0,0	1,4	0,63%
16.4	0	0	0,0	0,0	0,0	45,69	1x16+N25	3,272	0,0	1,4	0,63%
16.5	0	0	0,0	0,0	0,0	45,69	1x16+N25	3,272	0,0	1,4	0,63%
16.6	1	0	0,5	109,0	0,5	45,69	1x16+N25	3,272	0,1	1,5	0,67%
1.6.3.1	0	0	0,0	0,0	0,0	51,40	1x16+N25	3,272	0,0	1,4	0,63%
1.6.3.2	1	0	0,5	109,0	0,5	51,40	1x16+N25	3,272	0,1	1,5	0,67%

<sup>67</sup> Fuente: elaboración propia

Tabla N° 21: Caída de tensión<sup>68</sup> C-III

	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	Δ V	Σ Δ V	%
Punto	N° Lotes	CARGA	CORRIENTE	POT.	Σ I		Cond.		S.P.	Total	de
		ESPECIAL	[A]	[ W ]	[ A ]	[ m ]	[mm²]	[V/A-km]	[ V ]	[ V ]	Δ V
1	0	1	0,5	99,0	3,2	30,00	2X16+N25	3,272	0,3	0,3	0,14%
2	0	1	1,4	307,0	2,8	48,00	2X16+N25	3,272	0,4	0,7	0,34%
3	0	1	1,4	299,0	1,4	48,00	2X16+N25	3,272	0,2	1,0	0,44%
4	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	2X16+N25	3,272	0,0	1,0	0,44%
5	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	2X16+N25	3,272	0,0	1,0	0,44%
6	0	0	0,0	0,0	1,5	48,00	2X16+N25	3,272	0,2	1,2	0,54%
7	3	0	1,5	327,0	1,5	48,00	2X16+N25	3,272	0,2	1,4	0,65%
8	0	0	0,0	0,0	0,0	48,00	2X16+N25	3,272	0,0	1,4	0,65%
9	3	0	1,5	327,0	1,5	48,42	2X16+N25	3,272	0,2	1,7	0,76%
10	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
11	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
12	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
13	0	0	0,0	0,0	0,0	47,64	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
14	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
15	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
16	3	0	1,5	327,0	1,5	48,12	2X16+N25	3,272	0,2	1,9	0,86%
17	1	0	0,5	109,0	0,5	48,12	2X16+N25	3,272	0,1	2,0	0,90%
18	1	0	0,5	109,0	0,5	48,12	2X16+N25	3,272	0,1	2,1	0,93%
19	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	2,1	0,93%
20	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	2,1	0,93%
21	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	2,1	0,93%
22	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	2,1	0,93%
23	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	2X16+N25	3,272	0,0	2,1	0,93%
24	1	0	0,5	109,0	0,5	48,12	1x16+N25	3,272	0,1	2,1	0,97%
25	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
26	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
27	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
28	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
29	0	0	0,0	0,0	0,0	48,12	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
30	0	0	0,0	0,0	0,0	47,86	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,97%
31	1	0	0,5	109,0	0,5	47,86	1x16+N25	3,272	0,1	2,2	1,00%
9.1	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.2	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.3	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.4	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.5	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.6	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.7	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.8	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.9	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.10	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.11	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.12	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
9.13	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%
9.14	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%
9.15	0	0	0,0	0,0	0,0	48,13	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%
9.16	1	0	0,5	109,0	0,5	48,13	1x16+N25	3,272	0,1	3,6	1,65%
9.17	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,65%
9.18	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,65%
9.19	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%
9.20	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%

<sup>68</sup> Fuente: elaboración propia

Tabla N° 22: Continuación caída de tensión<sup>69</sup> C-III

	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	Δ V	Σ Δ V	%
Punto	N° Lotes	CARGA	CORRIENTE	POT.	Σ I		Cond.		S.P.	Total	de
		ESPECIAL	[A]	[ W ]	[ A ]	[ m ]	[mm²]	[V/A-km]	[ V ]	[ V ]	Δ V
9.21	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,62%
9.22	1	0	0,5	109,0	0,5	49,87	1x16+N25	3,272	0,1	3,6	1,65%
9.23	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,65%
9.24	0	0	0,0	0,0	0,0	49,87	1x16+N25	3,272	0,0	3,6	1,65%
9.25	1	0	0,5	109,0	0,5	49,87	1x16+N25	3,272	0,1	3,7	1,69%
16.1	1	0	0,5	109,0	0,5	46,99	1x16+N25	3,272	0,1	2,0	0,90%
16.2	1	0	0,5	109,0	0,5	46,99	1x16+N25	3,272	0,1	2,0	0,93%
16.3	1	0	0,5	109,0	0,5	46,99	1x16+N25	3,272	0,1	2,1	0,97%
16.4	1	0	0,5	109,0	0,5	52,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,2	1,00%
16.5	1	0	0,5	109,0	0,5	52,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,3	1,04%
16.6	1	0	0,5	109,0	0,5	52,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,4	1,08%
16.7	1	0	0,5	109,0	0,5	55,81	1x16+N25	3,272	0,1	2,5	1,12%
16.8	1	0	0,5	109,0	0,5	51,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,6	1,16%
16.9	1	0	0,5	109,0	0,5	51,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,6	1,20%
16.10	1	0	0,5	109,0	0,5	51,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,7	1,23%
16.11	1	0	0,5	109,0	0,5	51,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,8	1,27%
16.12	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	2,9	1,30%
16.13	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	2,9	1,34%
16.14	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	3,0	1,37%
16.15	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	3,1	1,40%
16.16	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	3,2	1,43%
16.17	1	0	0,5	109,0	0,5	43,29	1x16+N25	3,272	0,1	3,2	1,46%
16.18	1	0	0,5	109,0	0,5	47,53	1x16+N25	3,272	0,1	3,3	1,50%

<sup>69</sup> Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 23: Caída de tensión<sup>70</sup> C-IV

	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de	F.C.T.	Δ V	Σ Δ V	%
Punto	N° Lotes	CARGA	CORRIENTE	POT.	Σ I		Cond.		S.P.	Total	de
		ESPECIAL	[A]	[W]	[A]	[m]	[mm²]	[V/A-km]	[V]	[V]	Δ V
1	0	1	0,0	0,0	2,5	30,00	2X16+N25	3,272	0,2	0,2	0,11%
2	5	1	2,5	545,0	2,5	40,42	2X16+N25	3,272	0,3	0,6	0,26%
3	0	1	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
4	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
5	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
6	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
7	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
8	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,6	0,26%
9	1	0	0,5	109,0	0,5	48,96	2X16+N25	3,272	0,1	0,7	0,30%
10	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
11	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
12	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
13	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
14	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
15	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
16	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
17	0	0	0,0	0,0	0,0	48,96	2X16+N25	3,272	0,0	0,7	0,30%
18	12	0	5,9	1308,0	5,9	48,96	2X16+N25	3,272	1,0	1,6	0,73%
18.1	0	0	0,0	0,0	0,0	43,66	2X16+N25	3,272	0,0	1,6	0,73%
18.2	0	0	0,0	0,0	0,0	43,66	1x16+N25	3,272	0,0	1,6	0,73%
18.3	0	0	0,0	0,0	0,0	43,66	1x16+N25	3,272	0,0	1,6	0,73%
18.4	1	0	0,5	109,0	0,5	43,66	1x16+N25	3,272	0,1	1,7	0,76%
18.5	1	0	0,5	109,0	0,5	43,66	1x16+N25	3,272	0,1	1,7	0,79%
18.1.1	1	0	0,5	109,0	0,5	46,17	1x16+N25	3,272	0,1	1,7	0,76%
18.1.2	0	0	0,0	0,0	0,0	46,17	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
18.1.3	0	0	0,0	0,0	0,0	46,17	1x16+N25	3,272	0,0	1,7	0,76%
18.1.4	1	0	0,5	109,0	0,5	46,17	1x16+N25	3,272	0,1	1,8	0,80%
18.1.5	4	0	2,0	436,0	2,0	48,92	1x16+N25	3,272	0,3	2,1	0,94%
18.1.6	3	0	1,5	327,0	1,5	47,52	1x16+N25	3,272	0,2	2,3	1,05%
18.1.7	1	0	0,5	109,0	0,5	41,77	1x16+N25	3,272	0,1	2,4	1,08%
18.1.8	0	0	0,0	0,0	0,0	53,99	1x16+N25	3,272	0,0	2,4	1,08%
18.1.9	0	0	0,0	0,0	0,0	53,99	1x16+N25	3,272	0,0	2,4	1,08%
18.1.10	1	0	0,5	109,0	0,5	53,99	1x16+N25	3,272	0,1	2,5	1,12%
18.1.5.1	0	0	0,0	0,0	0,0	47,74	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,94%
18.1.5.2	0	0	0,0	0,0	0,0	44,66	1x16+N25	3,272	0,0	2,1	0,94%
18.1.5.3	1	0	0,5	109,0	0,5	44,66	1x16+N25	3,272	0,1	2,1	0,97%
18.1.5.4	1	0	0,5	109,0	0,5	44,66	1x16+N25	3,272	0,1	2,2	1,01%
18.1.5.5	1	0	0,5	109,0	0,5	50,00	1x16+N25	3,272	0,1	2,3	1,04%
18.1.5.6	0	0	0,0	0,0	0,0	50,00	1x16+N25	3,272	0,0	2,3	1,04%
18.1.5.7	1	0	0,5	109,0	0,5	50,57	1x16+N25	3,272	0,1	2,4	1,08%

<sup>70</sup> Fuente: elaboración propia

### 5.3.3.3. Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno

Tabla N° 24: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno<sup>71</sup>

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

### 5.3.3.4. 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 N° 25.

**Del ítem 1.3.1** la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C, Nosotros consideraremos 40 °C.

**Del ítem 1.3.1** la temperatura mínima promedio diaria es más de 19 °C, Nosotros consideraremos 5 °C.

La temperatura promedio anual es de 16 °C:

Tabla N° 25: hipótesis<sup>72</sup> para usar la ecuación de TRUXA

<b>HIPÓTESIS N° 1: Condición de máximo esfuerzo</b>	Temperatura: 5°C. Velocidad de viento: 70 Km/h.
<b>HIPÓTESIS N° 2: Condición de mayor duración (EDS)</b>	Temperatura: Media anual 16°C. Velocidad de viento: Nula.
<b>HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima</b>	Temperatura: 40°C. Velocidad de viento: Nula.

<sup>71</sup> Fuente: CNE

<sup>72</sup> Fuente: CNE



### 5.3.3.5. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

- a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm<sup>2</sup>, aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm<sup>2</sup> (17,6.kg/mm<sup>2</sup>)

Con los datos anteriores y considerando como básico el mayor vano que se ha utilizado en la red de distribución secundaria que es de : 53,99 m Utilizando la ecuación de TRUXA, con la utilización de una hoja de cálculo obtenemos los siguientes resultados:

Tabla N° 26: Cálculos mecánicos del conductor eléctrico<sup>73</sup>

TABLA DE CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES							
Vano (m)	52	53	54	55	56	57	
HIP. I	$\sigma$ (Kg/mm²)	8,51	8,54	8,58	8,61	8,65	8,68
	f (m)	0,63	0,65	0,67	0,69	0,72	0,74
HIP. II	$\sigma$ (Kg/mm²)	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
	f (m)	0,40	0,41	0,43	0,45	0,46	0,48
HIP. III	$\sigma$ (Kg/mm²)	3,43	3,46	3,48	3,50	3,52	3,55
	f (m)	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73

De la tabla 26, observamos que para el vano básico de 54 m el valor del esfuerzo máximo es de 8,58 kg/mm<sup>2</sup>, que está muy por debajo del esfuerzo según el ítem b). (17,60 kg/mm<sup>2</sup>)

Por lo tanto, el conductor eléctrico 1x16/25 cumple con los requerimientos mecánicos y eléctricos.

<sup>73</sup> Fuente: elaboración propia del autor

Con relación a los soportes para redes secundarias utilizaremos la norma: especificaciones técnicas de soportes normalizados para redes secundarias para electrificación rural<sup>74</sup>

Tabla N° 27: Características de los cables autoportantes<sup>75</sup>

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm <sup>2</sup> )	DIAM EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm <sup>2</sup> )	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

<sup>74</sup> (RD024-2003-EM 2003)

<sup>75</sup> (RD031-2003-EM 2003)

## 5.4. Metrado y presupuesto

### 5.4.1. Metrado y presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 28: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema eólico- solar<sup>76</sup>

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 Aerogenerador ENAIR 70 PRO	29 999,00	29 999,00
01 Torre de 15 m + controlador eólico	14 038,00	14 038,00
28 paneles solares JINKO 320 Wp	780,00	21 840,00
44 Baterías RITAR de 200 Ah	1 393,06	61 294,64
01 Inversor Must Solar de 10 kW	9 852,00	9 852,00
02 estructura para 10 paneles solares +01 estructura de 8 paneles	2369,00	7 107,00
02 Controladores 150/85	3 621,13	7 242,24
Accesorios	500,00	500,00
Total, del Suministro		151 872,88

En cuanto a los gastos en capacitación, Se consideran S/. 2 000,00 para gastos de capacitación del personal.

Tabla N° 29: costo directo sistema eólico solar<sup>77</sup>

Descripción	Costo (S/.)
Suministro de materiales	151,872,22
Montaje electromecánico	7 593,61
Transporte de materiales	4 556,17
Costo directo	164 022,00

<sup>76</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>77</sup> Fuente: elaboración propia del autor

#### 5.4.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria

Del **Anexo N° 10** Se elaboró la Tabla N° 30 que se muestra a continuación

Tabla N° 30: Costo directo de la red de distribución secundaria<sup>78</sup>

RESUMEN DEL VALOR REFERENCIAL - REDES SECUNDARIAS		
“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA ELECTRICO APROVECHANDO EL RECURSO EOLICO Y SOLAR PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO BRICEÑO-MOTUPE – LAMBAYEQUE – LAMBAYEQUE”		
UBICACIÓN: DISTRITO DE MOTUPE, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	185 594,01
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	43 584,77
C	TRANSPORTE DE MATERIALES (5%A)	9 279,70
D	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	238 458,49

<sup>78</sup> Fuente: elaboración propia del autor

### 5.4.3. Presupuesto Total

Tabla N° 31: Presupuesto total<sup>79</sup>

Descripción	Costo (S/.)
Costo Directo de la red de distribución secundaria	238 458,49
Costo directo del sistema eólico solar	164 022,00
<b>Total</b>	<b>402 480,49</b>
Gastos generales	4 024,80
Costo total sin I.G.V.	406 505,29
I.G.V.	73 170,95
<b>Costo referencial</b>	<b>479 676,25</b>
Capacitación a los pobladores	2 000,00
<b>Presupuesto Total</b>	<b>481 676,25</b>

---

<sup>79</sup> Fuente: elaboración propia del autor

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- a. La energía promedio diaria necesaria para el caserío Briceño es de 35,45 kWh, con una máxima demanda de 6,93 kW. Para 59 viviendas proyectadas, 01 iglesia, 01 local comunal, 01 comedor y 01 colegio.
- b. Con respecto al recurso solar se obtuvieron datos de dos fuentes según el SENAMHI se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día, según el software METEONORM 4,90 kWh/m<sup>2</sup>/día. Luego para el dimensionamiento se ha considerado 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día. Con respecto del recurso eólico se ha tomado los valores de la velocidad del viento de la estación meteorológica del SENAMHI donde se determinó que uno de los meses critico es julio, por lo que se consultó los datos de estación meteorológica de la FIME, con los cuales se realizaron los cálculos.
- c. El sistema de generación estará conformado por 01 aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW, 28 paneles fotovoltaicos JINKO de 320 Wp, 44 baterías RITAR de 200 Ah, 02 regulador de carga 150/85 y 01 inversor *Must Solar de 10 kW*. El sistema de distribución estará conformado por postes de 8 m y conductores eléctricos Proponemos en la red de distribución secundaria usar el conductor 2x16/25 y 1x16/25
- d. El Costo referencial para el sistema eléctrico con energía eólica solar es de S/.481 676,25

## 6.2. Recomendaciones

- a) Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente en los paneles fotovoltaicos son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos. Las labores de limpieza de los paneles se realizarán mensualmente o bien después de una lluvia, nevada u otros fenómenos meteorológicos similares.
- b) Nunca se debe colocar un metal entre los polos de las baterías, esto puede causar daños permanentes a la batería y un peligro para los usuarios. Las medidas de control deben realizarse como mínimo una vez por mes.
- c) Cada 6 meses comprobar el estado de la cubierta y aislamiento de los cables, así como las protecciones mecánicas de los mismos. Si presenta algún síntoma de deterioro, sustituir el tramo completo.
- d) Se recomienda que para futuras tesis relacionados con el tema de investigación los datos de velocidad de viento y radiación sean obtenidos del mismo lugar donde se va a instalar el sistema híbrido.
- e) Se recomienda a los futuros tesis que tomen como referencia esta tesis utilicen otro software y se realice un cuadro comparativo respecto a los valores de radiación y velocidad de viento.
- f) Realizar Cuadros comparativos de los resultados y presupuesto con respecto a otras tesis y proyectos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 2) Alvarado Guanin, Christian Rene. «ILUMINACIÓN AUTOSUSTENTABLE FOTOVOLTAICO PARA UNA PARADA DE BUSES Y SU VALLA INFORMATIVA DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE DE CUENCA.» 2015.
- 3) Bernave Chagua, Isidro, y Cesar Alvaro Castillo Quiroz. «Estudio experimental de la eficiencia de un módulo de generación eléctrica híbrida solar-eólica para la EPIME–Puno, 2015.» Puno, 2017.
- 4) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 5) Cerdan Cabrera, Ana Maria. «DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR-EÓLICO PARA CONSUMO DE AGUA EN CABAÑAS ECOTURÍSTICAS EN LA PITAYA, VERACRUZ, MÉXICO.» Andalucía, 2011.
- 6) Chona Suarez, Raul Alexander, y Jhonnys Miguel Robles Cervantes. «DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA TRADICIONAL DE PANEL SOLAR DE PEQUEÑA ESCALA UBICADO EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.» Barranquilla, 2013.
- 7) DGE-MINEM. «Ley de conseciones electricas y su reglamento.» 2009.
- 8) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 9) E. ALCOR. *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS*. s.f.
- 10)electricidad, Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector. «Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector electricidad.» peru, 2001.
- 11)Fernandez zayas, Jose Lius. «Diseño de un aerogenerador de eje vertical.» Mexico, 2010.
- 12)Guerra Baeza, Luis David. «Estudio de factibilidad técnico/económica de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica para escuelas de Quinchao.» Santiago De CHile, 2013.
- 13)Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas hibridos eolico solar en el departamento de Moquegua.» lima, 2006.
- 14)IEA. «World energy Outllok.» 2016.



- 15)Indeco. «Catalogo de cables NYY -DUPLEX.» s.f.
- 16)Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.
- 17)Jochain Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.
- 18)Jordan Arias, Joaquin. «Estudio de la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona.» Lima, 2009.
- 19)Llauce Chozo , Anthony Joel. «Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.
- 20)Llauce Chozo, Anthony Joel. «“Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.
- 21)MINEM. «Atlas eolico del peru.» Lima, 2016.
- 22)MINEM, DGE. «Codigo Nacional de Eelectricidad Suministro.» 2001.
- 23)Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005.
- 24)Nuñez Rehbein, Fabian Alonso. «Utilización de sistema de energías renovables no convencionales híbrido solar-eólico, aplicado al sistema de iluminación del borde costero de la ciudad de Puerto Montt.» chile, 2012.
- 25)PEREIRA RIVEIRO, FRANCISCO DE ASSIS. «PROYECTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACION PUBLICA.» 2002.
- 26)RD017-2003-EM. «“Alumbrado de vías públicas en áreas rurales”.» Lima, 2003.
- 27)RD024-2003-EM. «especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes primarias para electrificación rural .» Lima, 2003.
- 28)RD031-2003-EM. «Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural.» LIOMA, 2003.
- 29)Sanchez Quiroga, David. «Sistema de energia solar fotovoltaica aislada para vivienda unifamiliar aislada.» 2012.
- 30)SENAMHI. «Atlas de energia solar del Peru.» 2003.

- 31) Servan Socola, Jorge. «Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red.» Piura, 2014.
- 32) Steve Gomez, Natalia. «Energización de las Zonas no Interconectadas a partir de las energías renovables Solar y Eólica.» Bogota, 2011.
- 33) TECSUP. *Generación de energía fotovoltaica.pdf* - TECSUP. s.f.
- 34) Toapanta Aguilar, Rodrigo Sebastian, y Jorge Lius Hidalgo Guerrero. «Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014.» Ecuador, 2016.
- 35) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.
- 36) Velazquez Cespedes, Roberto Andres. «Proyecto de instalación solar fotovoltaica en el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Santiago de Chile.» tesis, Universidad de Santiago de Chile, Santiago-Chile, 2012.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°01. DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA JAYANCA (SENAMHI)**

**ANEXO N°02. VELOCIDAD DEL VIENTO A 12 m DE ALTURA**

**ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR AIR 50-3000**

**ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS YINGLI SOLAR DE 150 W<sub>p</sub>**

**ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR 150 /60 VICTRON ENERGY**

**ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA RITAR DE 200 A.h**

**ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR MUST SOLAR DE 10 000 W**

**ANEXO N°08. FICHA TÉCNICA DE CABLES NYY**

**ANEXO N° 09. SISTEMA EÓLICO FOTOVOLTAICO**

**ANEXO N° 10. SUMINISTRO Y MONTAJE DE LA RED SECUNDARIA**

**ANEXO N° 11. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA (220 V)**