



**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 híbrido con  
energía renovable para el caserío Victor Raúl en  
Jayanca, provincia y departamento de  
Lambayeque”**

**Autor:**

**Sánchez García, Gandhi**

**Asesor:**

**Oliden Núñez, Héctor Antonio**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2019**



**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 híbrido con  
energía renovable para el caserío Victor Raúl en  
Jayanca, provincia y departamento de  
Lambayeque”**

**Autor:**

**Bach. Sánchez García, Gandhi**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE:** Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús

**SECRETARIO:** Ing. Mendez Cruz, Oscar

**MIEMBRO:** Ing. Davila Hurtado, Fredy

**ASESOR:** Ing. Oriden Nuñez , Hector Antonio

**Lambayeque – Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**“PEDRO RUIZ GALLO”**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



## **Tesis**

### **TITULO**

**“Dimensionamiento de un sistema híbrido con energía renovable para el caserío Victor Raúl en Jayanca provincia y departamento de Lambayeque”**

### **CONTENIDOS**

**CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

**CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

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

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

---

Dr. Anibal J. Salazar Mendoza  
PRESIDENTE

---

Ing. Oscar Mendez Cruz  
SECRETARIO

---

Ing. Fredy Davida Hurtado  
MIEMBRO

---

Ing. Hector A. Oliden Nuñez  
ASESOR

**Lambayeque – Perú**

**2019**

## DEDICATORIA

Esta tesis profesional está dedicada con mucho amor, respeto y admiración hacia mis padres, por haberme guiado siempre por el sendero del bien y que con su ejemplo me hizo amar mi carrera; a mi madre Ofelina por siempre creer en mí y darme la fuerza para luchar día tras día, a mi padre Juan por siempre apoyarme en toda mi vida.

A toda mi familia y personas que me dieron su apoyo incondicional y confiaron siempre en mí en esta etapa muy importante de mi vida. A mi abuelita Felipa por su apoyo, amor, sus deseos infinitos de ver mis sueños realizados.

Gandhi Sánchez García

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento enorme a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por ser la institución que me formó ética y profesionalmente en esta etapa de mi vida, siempre con principios profesionales.

A todos los docentes que forman parte de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de esta prestigiosa universidad, los cuales me compartieron sus conocimientos y amistad, especialmente a mi asesor de tesis el Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez por ser una excelente persona la cual me guio y aconsejo de la mejor manera. A mi compañero Kevin Querevalú por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de tesis es dimensionar un sistema híbrido eólico solar para abastecer de energía eléctrica al caserío Víctor Raúl del distrito de Jayanca en el departamento de Lambayeque, debido a la problemática de falta de suministro de energía eléctrica. El tipo de investigación fue aplicada.

Se determinó como resultado del proceso de investigación que la energía promedio diaria que demanda el caserío Víctor Raúl es de 18,100 kWh/día para 43 viviendas proyectadas, con una potencia instalada de 5,976 kW. Se consultaron tres fuentes de radiación solar: según el SENAMHI se obtuvo un valor de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>/día, del software METEONORM 7.3 fue de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>/día y del software SOLARIUS PV se ha obtenido un valor de 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día. Para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico solar se ha considerado el menor de estos valores, es decir: 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Los datos de la velocidad y dirección del viento, se obtuvieron de la estación meteorológica FIME-UNPRG, y servirán para el cálculo de la energía que proporciona el aerogenerador. El sistema híbrido eólico solar estará conformado por: 01 aerogenerador ENAIR E30 PRO de 3 kW, 14 paneles fotovoltaicos JINKO de 320 Wp, 20 baterías Ritar de 260 Ah, 01 regulador de carga Blue Solar 150/85 de 85 A y 01 inversor Must Solar de 8 kW. También se dimensionó la red de distribución secundaria con un costo referencial del sistema híbrido eólico solar junto con la red de distribución secundaria, el mismo que asciende a un monto aproximado de: S/. 264 075,47.

**Palabras clave:** Energía eólica, energía solar, sistema híbrido, viento, aerogenerador

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis project is to size a solar wind hybrid generation system to supply electric power to the Víctor Raúl hamlet of the Jayanca district in the department of Lambayeque, due to the problem of lack of electricity supply. The type of research was applied.

It was calculated as a result of the research process that the average daily energy required by the Motete farmhouse is 18,100 kWh/day for 43 projected homes, with an installed capacity of 5,976 kW. Three sources of solar radiation were consulted: according to SENAMHI, a value of 5.00 kWh/m<sup>2</sup>/day was obtained, METEONORM 7.3 software was 4.87 kWh/m<sup>2</sup>/day and SOLARIUS PV software has obtained a value of 4.72 kWh/m<sup>2</sup>/day. For the sizing of the solar wind hybrid system the lowest of these values has been considered, that is: 4.72 kWh/m<sup>2</sup>/day.

The wind speed and direction data were obtained from the FIME-UNPRG weather station, and will be used to calculate the energy provided by the wind turbine. The solar wind hybrid system will consist of: 01 ENAIR E30 PRO of 3 kW wind turbine, 14 JINKO photovoltaic panels of 320 Wp, 20 Ritar 260 Ah batteries, 01 Blue Solar 150/85 85 A charge controller and 01 Must Solar inverter 8 kW. The secondary distribution network was also sized with a reference cost of the solar wind hybrid system together with the secondary distribution network, which amounts to: S / . 264 075,47.

**Keywords:** Wind energy, solar energy, hybrid system, wind, wind turbine

# INDICE

DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
INDICE .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	13
1.1. Realidad Problemática .....	13
1.2. Formulación del Problema .....	14
1.3. Delimitación de la Investigación .....	14
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.....	20
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	21
1.6. Objetivos.....	22
1.6.1. Objetivo General .....	22
1.6.2. Objetivos Específicos .....	22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes de estudio.....	23
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	32
2.2.1. Sistema Híbrido .....	32
2.2.2. Energía Solar.....	34
2.2.3. Sistema de Energía Solar .....	39
2.2.4. Energía Eólica .....	47
2.2.5. Sistema de generación de energía eólico.....	48
2.2.6. Situación actual de la energía fotovoltaica .....	52
2.2.7. Situación actual de la energía eólica .....	54
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada .....	57
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	60
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	60
El diseño de investigación es no experimental: .....	60
3.2. Población y muestra .....	61



3.3. Materiales, técnicas e instrumentos de Recolección de datos.....	61
3.4. Variables de Operacionalización .....	62
3.5. Análisis de los Datos.....	64
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACION .....	65
4.1. Propuesta de la investigación .....	65
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	67
5.1. Demanda de energía en el Caserío Víctor Raúl .....	67
5.1.1. Demanda de Energía diaria (Wh/día).....	69
5.2. Evaluación del recurso solar y eólico en el Caserío Víctor Raúl.....	71
5.2.1. Evaluación del recurso solar fotovoltaico .....	71
5.2.2. Evaluación del recurso eólico .....	75
5.3. Cálculo del Sistema Eléctrico Eólico – Solar .....	80
5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico .....	80
5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....	83
5.3.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V.....	92
5.3.4. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes .....	93
5.4. Presupuesto del sistema eólico solar .....	97
5.4.1. Suministro de materiales para el sistema eólico solar .....	97
5.4.2. Costo directo para el sistema eólico solar.....	97
5.4.3. Costo Total.....	98
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	99
6.1. Conclusiones .....	99
6.2. Recomendaciones .....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	101
ANEXOS .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:Operacionalización de variables .....	63
Tabla N° 2: Tasa de crecimiento poblacional .....	67
Tabla N° 3: Tasa de crecimiento para el Departamento de Lambayeque .....	67
Tabla N° 4: Consumo de energía eléctrica diaria por unidad de vivienda .....	69
Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica para el local comunal .....	69
Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica para la Iglesia local .....	69
Tabla N° 7: Proyección del consumo de energía promedio diario del Caserío Víctor Raúl .....	70
Tabla N° 8: Radiación Solar mensual según software METEONORM 7.3 para el caserío Víctor Raúl .....	73
Tabla N° 9: Radiación Solar Promedio Diaria.....	73
Tabla N° 10: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque .....	74
Tabla N° 11: Comparativa de la radiación solar de las tres fuentes .....	75
Tabla N° 12: Distribución de frecuencias y distribución acumulada porcentual....	77
Tabla N° 13: Valores para graficar y elaborar una regresión lineal .....	79
Tabla N° 14: Frecuencia y horas de duración de la velocidad del viento .....	80
Tabla N° 15: Potencia del Aerogenerador ENAIR 30 PRO vs Velocidad del viento .....	82
Tabla N° 16: Potencia generada por el Aerogenerador ENAIR 30 PRO .....	82
Tabla N° 17: Características eléctricas del panel fotovoltaico JINKO.....	84
Tabla N° 18:Carácterísticas mecánicas del panel fotovoltaico JINKO.....	85
Tabla N° 19: Energía producida por el generador fotovoltaico .....	85
Tabla N° 20: Capacidad VS costo de las baterías .....	88
Tabla N° 21: Características eléctricas del conductor unipolar N2XOH .....	90
Tabla N° 22: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno .....	93
Tabla N° 23: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA .....	94
Tabla N° 24: Tabla de cálculos mecánicos.....	96
Tabla N° 25: Características de los cables autoportantes .....	96
Tabla N° 26: Suministro de materiales y equipos .....	97
Tabla N° 27: Costo Directo del Sistema .....	97
Tabla N° 28: Costo de la red Secundaria .....	97
Tabla N° 29: Costo Total del Proyecto .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación del distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque ..	15
Figura N° 2: Temperatura Máxima y Mínima Promedio.....	19
Figura N° 3: Velocidad promedio del viento en Jayanca .....	20
Figura N° 4: Sistema Híbrido Eólico Solar .....	32
Figura N° 5: Estructura del Sol .....	35
Figura N° 6: Panel Solar .....	41
Figura N° 7: Componentes de las Estructuras.....	42
Figura N° 8: Tipos de Baterías .....	44
Figura N° 9: Inversor de Sistema Híbrido .....	46
Figura N° 10: Controlador del Sistema Híbrido.....	46
Figura N° 11: Formación del viento .....	48
Figura N° 12: Sistema de Generación Eólico .....	49
Figura N° 13: Componentes de un Aerogenerador .....	52
Figura N° 14: Evolución de la potencia instalada en el mundo (en MW), Año 2018 .....	55
Figura N° 15: Energía Solar en el Departamento de Lambayeque.....	72
Figura N° 16: Velocidad promedio del Viento en el distrito de Jayanca .....	76
Figura N° 17: Distribución de frecuencias .....	77
Figura N° 18: Distribución acumulada relativa.....	78
Figura N° 19: Reajuste lineal y regresión lineal.....	79
Figura N° 20: Curva de potencia Aerogenerador ENAIR E30 PRO.....	81
Figura N° 21: Batería RITAR de 260 Ah.....	88
Figura N° 22: Inversor Must Solar de 8 kW de potencia.....	89

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, el cual está titulado: **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA HIBRIDO CON ENERGÍA RENOVABLE PARA EL CASERÍO VÍCTOR RAÚL EN JAYANCA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”**, de acuerdo a lo observado en el trabajo de campo, se dedujo que el tipo de investigación es aplicada porque nos permite dar solución a un determinado problema de la sociedad utilizando conocimientos de ingeniería.

En el Capítulo I, se da a conocer la realidad problemática en la que se encuentra el caserío Víctor Raúl del distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque. Después se formula el problema, para luego justificar la investigación realizada y presentar los Objetivos de la Investigación.

En el Capítulo II, se presenta el Marco Teórico, donde se muestran los antecedentes y la teoría relacionada con el tema de investigación.

En el Capítulo III, se presenta el Marco Metodológico, en el cual se describe el diseño de la Investigación, es decir la forma como se van a obtener los datos y procesarlos, describiendo las Variables y su operacionalización, así como la población, además de las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo IV, se presenta los componentes del sistema híbrido del sistema renovable.

En el Capítulo V, se presenta los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados.

En el Capítulo VI, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

El caserío Víctor Raúl ubicado en el distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque, no cuenta con el servicio de energía eléctrica, por lo tanto, los habitantes de este caserío siempre han utilizado como fuente de iluminación las velas, generadores a gasolina, mecheros, lámparas, baterías y por cómo se sabe aquellos materiales tienen como consecuencia, la contaminación del medio ambiente, aparte de provocar incendios, pérdidas materiales y hasta humanas.

La electrificación en zonas rurales hoy en día tiene muchas opciones de uso de fuentes renovables debido al potencial existente en cada lugar. En la gran mayoría de localidades del Perú, especialmente en la costa y la sierra la disponibilidad de la energía solar es relativamente considerable desde 5,0 kWh/m<sup>2</sup> a 7,5 kWh/m<sup>2</sup> (radiación anual), en el transcurso de los últimos años, la energía fotovoltaica a través de paneles fotovoltaicos ha contribuido a que las localidades rurales cuenten con suministro eléctrico, provocando que los pobladores se vean beneficiados económicamente, con menos contaminación y por ende con mejor calidad de vida.

Al igual que la energía eólica, en toda la costa del Perú se dispone de gran potencial para explotar, lo cual hace muy atractivo dimensionar un sistema híbrido haciendo uso de energía eólica y solar, evitando así el uso de los combustibles fósiles convencionales, evitando la contaminación del medio ambiente con la combustión de estos combustibles fósiles, reduciendo en gran medida la contaminación con gases de efecto invernadero (GEI).

El estado peruano ha decidido impulsar decididamente el uso y aplicación de las energías renovables: biomasa, solar, geotérmica, hidráulica y mareomotriz (Según el Artículo 3° de DLEG-1002-2008) que jugarán un rol central en el futuro bienestar de nuestra sociedad. El Plan Nacional de Energías Renovables incluye aquellas estrategias, programas y proyectos a desarrollarse utilizando energías renovables, que tienden a mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente (Según el Artículo 11° de DLEG-1002-2008).

Por lo que este proyecto busca electrificar el caserío Víctor Raúl utilizando un sistema híbrido eólico solar.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿A partir de la energía solar y eólica, mediante un sistema híbrido se podrá suministrar energía eléctrica al caserío Víctor Raúl, ubicado en Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque?

## **1.3. Delimitación de la Investigación**

### **Ubicación Geográfica:**

El caserío Víctor Raúl se encuentra ubicado en el distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque.

En la figura N° 1, se muestra la ubicación del distrito de Jayanca, en el mapa del Perú y departamento de Lambayeque.

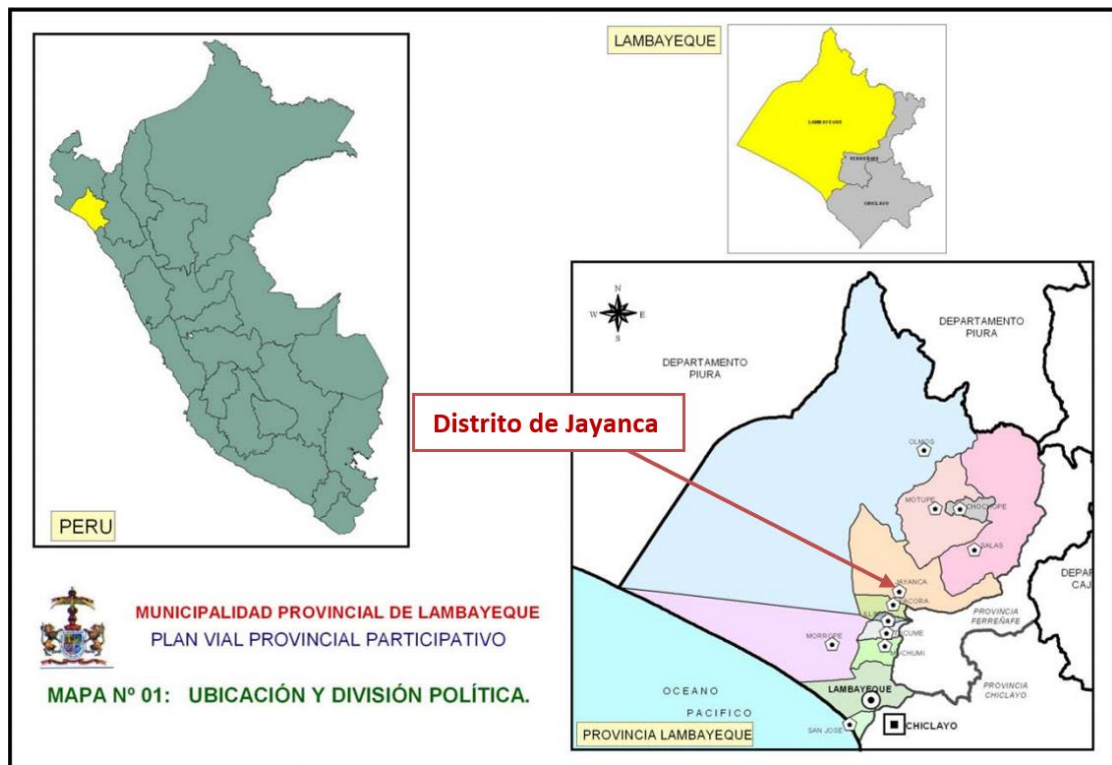


Figura N° 1: Ubicación del distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque

El caserío Víctor Raúl tiene las siguientes coordenadas:

Latitud: -6.35856333400

Longitud: -79.8032050000

El distrito de Jayanca, es uno de los 12 distritos de la provincia y departamento de Lambayeque.

### Historia

El origen de Jayanca se pierde en el tiempo. Enrique Brüning, quien recoge la leyenda escrita por el cronista Miguel Cabello de Balboa, en su libro *Misceláneas Australes*, refiere que el mítico fundador de Lambayeque, Naylamp, tenía un sastre muy querido y estimado por su habilidad en confeccionar trajes de plumas, llamado Llapchillully; poco después de la muerte de Naylamp, este se dirigió acompañado de un ejército hasta el valle que hoy conocemos como Jayanca.

Es innegable su origen preinca. El japonés Izumi Shimada, en su libro La ciencia de la astrología dice que los primeros habitantes de Jayanca, ciudad que por ese entonces se llamó Sarayoc, pertenecieron a la cultura de la civilización andina conocida con el nombre de Chavín de Huántar y que formaron los primeros asentamientos rurales en los valles fértiles de Jayanca, Salas, y Motupe.

Sarayoc es palabra yunga que significa "gran productor" o "despensa de cereales". Según Shimada, Sarayoc, fue el nombre primitivo que tuvo Jayanca, que fue considerado reino de los Mochicas.

El Inca Garcilaso de la Vega refiere que la palabra Sayanca es el futuro absoluto de la tercera persona en singular del verbo quechua Sayay, que quiere decir, estar parado, o estar de pie, de manera que Sayanca significa "estará parado" o "estará de pie", pero también pudo derivarse del verbo quechua Chayay que quiere decir llegar, arribar, acertar, cocer a punto, hacer provecho, probar bien, de allí que el futuro de Chayanca es llegará, arribará, acertará, cocerá a punto, hará provecho, probará bien.

En la etapa inca fue sometida por el Inca Huayna Cápac, quién al mando de 40 mil hombres había salido del Cusco rumbo a Quito, y en su travesía fue conquistando varios valles de la costa norte, entre ellos, Jayanca. Esta conquista se llevó a cabo entre los años 1498 a 1499, muchos años antes de la invasión española. En los siglos XV Y XVI Jayanca se ubica en la cima del cerro Jo Toro, en el cual se observa muros defensivos de piedra concéntricos y presencia de andenes, por el centro pasa el camino real del Inca, desembocando en una plaza grande. Estos vestigios de Jayanca inca corresponden al templo del sol, casas de las vírgenes, palacio, fortaleza y



otros edificios de la administración Inca que corresponden a la descripción de la metrópolis incaica que realizó el investigador Lorente en su obra Historia antigua del Perú.

Cuando los españoles invaden esta parte del continente y empieza la lucha por la repartición de tierras, las de este valle fue muy codiciadas por su fertilidad y además por las grandes extensiones de algarrobales y pastos. Por ese entonces en el Perú existía el cacicazgo, y Jayanca tenía un cacique principal. Tan luego los invasores tomaron posesión de sus nuevos dominios optaron por llevar a la población incaica de Jayanca a otro lugar, para alejarla de sus idolatrías, convirtiendo a sus pobladores en cristianos. La zona donde fueron reubicados los habitantes es la ciudad que actualmente conocemos como "Jayanca viejo" donde hasta hace poco existían vestigios de la iglesia antigua, en el lugar donde actualmente está construido el cementerio "Divino Maestro".

Se afirma que el pueblo viejo de Jayanca fue destruido por una inundación causada por las fuertes lluvias que se dieron en febrero y marzo del año 1578, lo que originó que sus pobladores pasaran a ocupar posteriormente esta zona.

El distrito de Jayanca fue creado en la época de la independencia, en el gobierno del presidente Simón Bolívar en el año 1825, posteriormente Jayanca fue elevado a la categoría de Villa, mediante Ley dada en el Congreso de la República el 19 de septiembre de 1898, durante el gobierno del presidente Nicolás de Piérola. Después, fue elevado de villa a la categoría de ciudad, en mérito al Decreto Ley Nro. 12419, de fecha, 7 de

noviembre de 1955, siendo presidente de la República el General Manuel A. Odría y el Alcalde de Jayanca, Enrique Morante Maco.

Con el transcurso de los años siguió su tradición de pueblo laborioso floreciendo en su seno la gran industria del vino, que lo llevó a ser conocido a nivel nacional, así como también lo fue por su anexo, la hacienda La Viña por los famosos toros de lidia de "La Viña". Con el renacimiento de los viñedos Jayanca sigue siendo tierra del vino y dada la amabilidad de su gente, Jayanca también es conocida como *ciudad hospitalaria*, que hoy tiene un desarrollo pujante gracias a las empresas agroindustriales que se han asentado y que impulsan la agro exportación.

### **Geografía**

El clima está influenciado por la corriente marina de Humboldt en la zona baja costera.

La accesibilidad vial del distrito se encuentra condicionada por la Carretera Panamericana Norte, que permite la articulación e integración con los distritos de la Provincia de Lambayeque, la Región y el país. Esta vía se encuentra asfaltada. Las vías vecinales están a nivel de trocha y mal conservadas, requieren ser mejoradas con el fin convertirlas en corredores económicos internos y mejorar las condiciones de traslado de los productos de la zona.

### **Temperatura**

La temporada calurosa dura 2,8 meses, del 17 de enero al 10 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 33 °C. El día más caluroso del año, por lo general, se da en el mes de febrero, con una temperatura máxima promedio de 34 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C.

La temporada fresca dura 5,0 meses, del 11 de junio al 10 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 29 °C. El día más frío del año, se da por lo general, en el mes septiembre, con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima promedio de 28 °C.

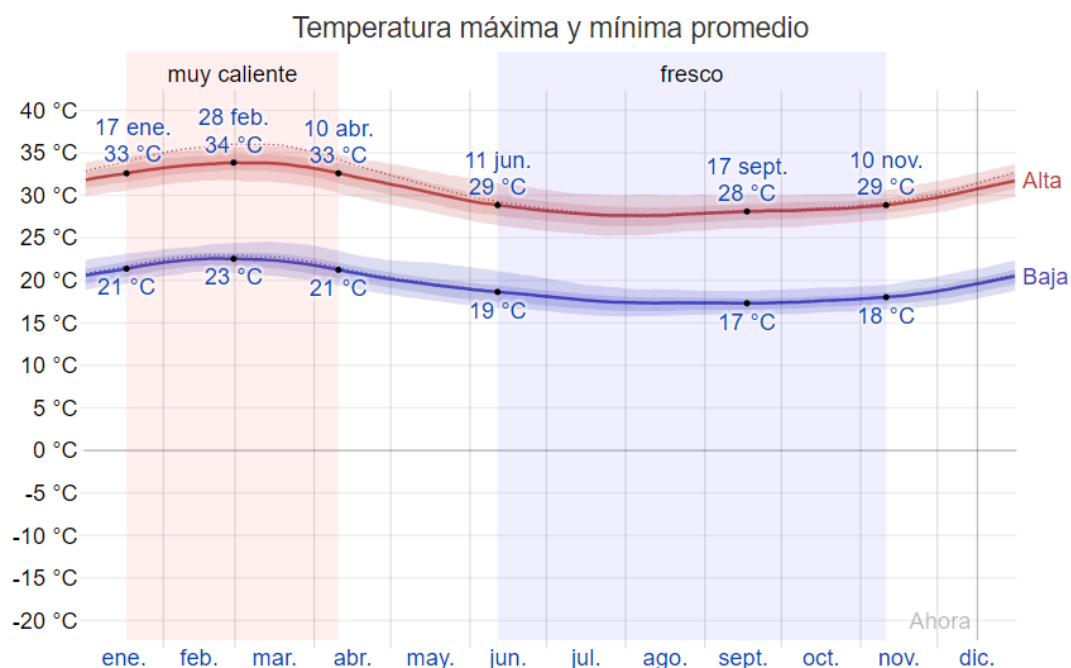


Figura N° 2: Temperatura Máxima y Mínima Promedio

## Viento

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 Jayanca tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 8,3 meses, del 30 de abril al 8 de enero, con velocidades promedio del viento de más de 11,7 kilómetros por hora. El

día más ventoso del año, se da por lo general, en el mes de septiembre, con una velocidad promedio del viento de 12,9 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 3,7 meses, del 8 de enero al 30 de abril. El día más calmado del año, se da por lo general, en el mes de marzo, con una velocidad promedio del viento de 10,6 kilómetros por hora.

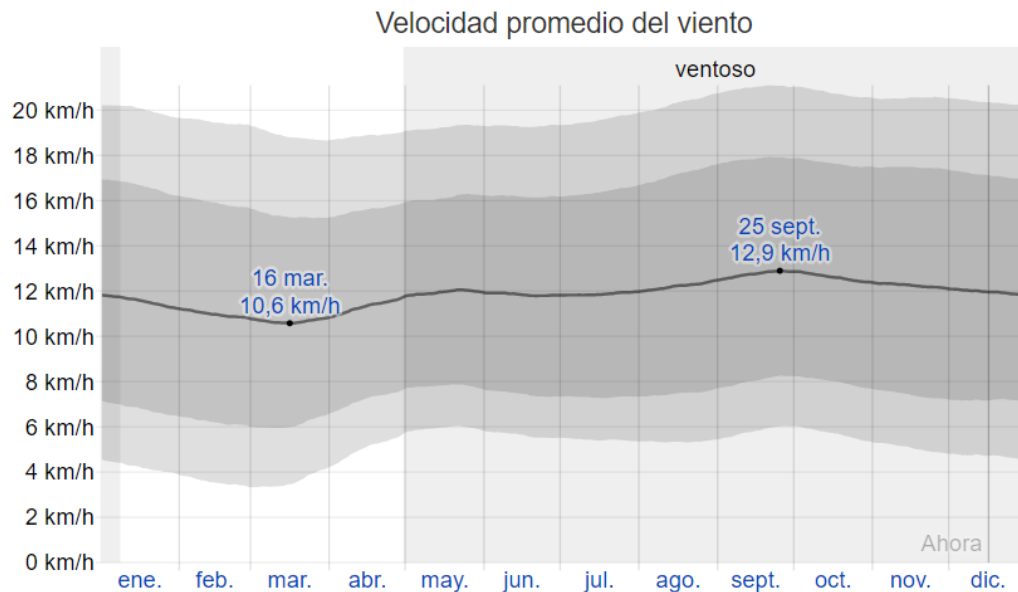


Figura N° 3: Velocidad promedio del viento en Jayanca

La dirección del viento promedio por hora predominante en Jayanca es del sur durante el año.

#### 1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

La justificación e importancia del diseño de este proyecto profesional es la implementación de un sistema híbrido con energía eólico-solar, que permitirá suministrar energía eléctrica al caserío Víctor Raúl, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La integración de un sistema híbrido con energía eólico-solar tiene la siguiente justificación:

**a) Económico:**

Ayudar a la población a no usar combustibles fósiles, ayudando a su economía, evitando comprar velas, pilas, baterías o derivado para iluminarse.

**b) Social:**

Con esta investigación y su posterior implementación se suministrará energía eléctrica al caserío Víctor Raúl y por lo tanto mejorará la calidad de vida de sus habitantes.

**c) Ambiental:**

Este proyecto lo que nos brinda con la generación de energía eléctrica con un sistema híbrido eólico-solar, es no causar daños al medio ambiente, evitando la combustión de combustibles fósiles como son el petróleo, disminuyendo en gran medida la contaminación ambiental.

**d) Científico**

Con este proyecto lo que se busca es despertar el interés de entidades y gobiernos locales para fomentar la implementación de energías renovables, con tecnología limpia para el medio ambiente y solucionar la falta de energía eléctrica en lugares muy lejanos para la red eléctrica nacional.

### **1.5. Limitaciones de la Investigación**

Los obstáculos presentados en la presente tesis es que no se dispone de datos exactos de radiación solar y velocidad del viento en dicha zona, sino más bien de datos promedios en zonas referenciales, por lo cual nos basamos en datos obtenidos del atlas solar del SENAMHI, software

METEONORM 7.3 y el software SOLARIUS PLUS para la radiación solar y de la estación meteorológica de la FIME para la velocidad del viento.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Proponer un sistema híbrido con energía eólico-solar para la generación eléctrica en el caserío Víctor Raúl, ubicado en el distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la demanda actual y proyectada en un plazo de 20 años.
- b) Evaluar el recurso solar promedio diario en la zona de estudio.
- c) Determinar la velocidad del viento promedio disponible para la zona de estudio.
- d) Dimensionar y seleccionar los equipos del sistema híbrido eólico-solar para la generación eléctrica.
- e) Evaluar el costo del sistema eólico solar propuesto más económico.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

#### Contexto Internacional

**Hidalgo Guerrero y Rodrigo Sebastian (2016)** en su tesis “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”, este trabajo está encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema hibrido 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 servirá 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 Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país.

**Ramirez de Alda Vilches (2014)** en su trabajo de tesis de maestría “Sistemas Aislados Para Electrificación Rural En Zonas Subsaharianas De Argelia”. Nos dice que El sector energético argelino sigue aún dominado por los hidrocarburos a la vez que su población y la demanda energética se duplican. La situación se complica, puesto que además el gas natural es la mayor fuente de recursos financieros del país.

A día de hoy el gobierno gasta un gran esfuerzo en llegar a una tasa de electrificación del 96%. Sin embargo, las zonas que quedan sin electrificar

son muy aisladas y dispersas, por lo que la electrificación convencional basada en la extensión de red no resulta económicamente viable. La energía renovable en particular representa una buena alternativa para el 85% del territorio argelino de zonas áridas saharianas y necesidades energéticas reducidas.

El objetivo general de este trabajo es servir de guía al dimensionamiento de sistemas aislados híbridos para este caso en particular, analizando el recurso y diseñando el sistema acorde a las necesidades, y así apreciar las posibilidades que ofrece el planteamiento.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se han analizado parámetros técnicos y socio-económicos. Tras un primer capítulo introductorio de la situación, el segundo evalúa del recurso eólico y solar en el emplazamiento elegido y dimensiona el sistema de generación para conseguir un compromiso inversión-aprovechamiento de energía. La dificultad de esto reside en la falta de datos y las múltiples opciones de diseño que resultan.

El siguiente capítulo analiza la solución óptima del sistema híbrido y aislado, y la complementa con los componentes necesarios para la creación de un asentamiento listo para que la población pueda habitar la zona y así evitar la emigración a la zona norte del país, altamente saturada. Finalmente, el último capítulo recoge los conceptos más relevantes desarrollados a lo largo del trabajo y propone una línea futura de investigación de utilidad para el avance del desarrollo de la electrificación rural.



**Orellana Lalangui y Sarango Chamba (2015)** en su trabajo de tesis titulado: “Estudio De Factibilidad Para El Uso De Energía Solar Y Eólica En Sistemas De Alumbrado Público Para La Vía De Integración Barrial, Sector El Plateado Servido Por Empresa Eléctrica Regional Del Sur” contiene En el Ecuador, se están haciendo esfuerzos para cambiar la matriz energética, de tal forma que se tiende a utilizar recursos renovables y no fósiles. La ciudad de Loja ha sido una de las primeras en la implantación de las energías renovables a alturas considerables sobre el nivel de mar en el Ecuador.

La energía utilizada comúnmente para iluminación pública se da a través de redes eléctricas, que transportan energía proveniente de sistemas convencionales de generación. Es importante determinar si otras opciones son adecuadas para la obtención de energía con propósito de iluminar sectores como vías o parques. En la ciudad de Loja se está construyendo el paso lateral, el mismo que atraviesa la ciudad por las afueras, con el propósito de descongestionar el tráfico existente en el centro de la urbe, y además reducir los niveles de contaminación. Se conoce que el alumbrado público es de gran importancia y a la vez representaría un consumo considerable debido a la extensión de la vía; es por esto que se ha planteado determinar la factibilidad de utilizar energías renovables en alumbrado público, acorde al sistema de distribución de la EERSSA. Tomando como caso de estudio la vía de integración barrial de la ciudad de Loja.

La primera parte de la investigación, se enfoca en los aspectos teóricos de las energías solar fotovoltaica y eólica, muestra la actualidad de estas en

el Ecuador, se realiza un análisis de las luminarias que se usan actualmente y hacia donde debería dirigirse el país. Consiguiente a esto se efectúa el procesamiento de datos, se establece cual es la estación meteorológica que aportara con datos de radiación solar y velocidades del viento, se interpreta cuáles son los meses con mayor y menor recurso para la producción de energía. Luego se desarrolla el diseño lumínico, solar y eólico donde se expone como y cuáles deben ser las principales características para efectuarlos. También se evalúa de forma económica el proyecto a través de modelos dinámicos, realizando un balance entre la energía convencional y la energía renovable además presenta una comparación con casos similares en la región. Para finalizar se muestran las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **Contexto Nacional**

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

**Chercca Ramírez (2014)** en su tesis titulado “Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el poblado rural la Gramita de Casma” nos dice 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.

**Hualpa Huamaní (2011)** en su tesis titulada: “Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico – solar en el departamento de Moquegua” nos expresa que el uso de energías renovables en cualquier lugar de nuestro país requiere tener información actualizada sobre las características y operación de las alternativas de equipos que se pueden instalar. También es muy importante el conocer si existe o no recurso disponible en el lugar donde se planea realizar la instalación.

Actualmente en nuestro país sólo existen datos confiables respecto del recurso solar, tal vez este hecho ha influido en que la energía solar sea la que más aceptación tenga en nuestro medio, sin embargo, existe también energía del viento que puede y debe ser aprovechada.

En este trabajo se realiza un estudio de las características de salida de energía que tendría un sistema híbrido (solar–eólico) en la localidad de Ilo. Se escoge este lugar debido a que se cuenta con datos precisos de viento (velocidad y dirección) proporcionados por la Municipalidad Provincial de Ilo, asimismo se tienen disponible los datos de radiación solar y con ello es posible realizar un estudio preciso sobre la salida de energía del sistema. Para lograr esto se desarrolla en los primeros capítulos la metodología que permite hacer el tratamiento estadístico de los datos con que se cuenta. Teniendo como base un ejemplo hipotético, pero bastante realista, de consumo de energía en una localidad rural se establecen la demanda de energía que se requiere para satisfacer necesidades básicas de luz y agua. Finalmente, y estableciendo a partir de las alternativas que ofrece el mercado, la configuración del sistema solar–eólico, se puede conocer la energía que es capaz de suministrar el sistema y hacer la comparación con la alternativa de grupo electrógeno la cual es una de las más utilizadas en nuestro país para suministrar energía en situaciones de aislamiento.

### **Contexto Local**

**Bravo Damián y Gamarra Vélchez (2016)** en su tesis de investigación titulado “Diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz” nos informa que Ha sido elaborado como objetivo de estudio por su importancia que tiene la utilización de las energías renovables y por el ahorro en costos de energía que significaría su implementación.

El diseño del sistema fotovoltaico fue realizado siguiendo la metodología propuesta en el capítulo tres empezando con la medición de la radiación solar utilizando el software METEONORM Versión 7,0 (demo) obteniendo como resultados un promedio anual de irradiación de 5,1 kW/m<sup>2</sup> por día. Luego se estima la carga conectada utilizando una pinza amperimétrica y las hojas de datos de los equipos del laboratorio.

A continuación, identificamos el área de instalación de los paneles solares en el techo del laboratorio para luego realizar los cálculos matemáticos para determinar el Voltaje de instalación, el tipo y número de paneles solares a utilizar, la configuración de los reguladores de carga, el tipo y número de baterías, las características del inversor y por último la disposición topológica del sistema. Para finalizar realizamos la selección de los equipos y componentes del sistema utilizando catálogos de las empresas especializadas en el rubro, para luego determinar el costo total del sistema a implementar.

**Llauce Chozo (2016)** 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.

**Taboada Sandoval (2019)** en su tesis titulada: "Diseño de un sistema de generación híbrido eólico solar para la electrificación rural al caserío San Pablo del distrito de Pacora, provincia y departamento de Lambayeque", su objetivo es diseñar un sistema de generación híbrido eólico solar para la electrificación rural al caserío San Pablo del distrito de Pacora provincia y departamento de Lambayeque. Frente a la problemática de falta de suministro de energía eléctrica. El tipo de investigación fue aplicada.

Se determinó como resultados del proceso de investigación que la energía promedio diaria que demanda el caserío San Pablo es de 20,456 kWh/día.

Para 43 viviendas proyectadas, la potencia instalada es de 6,492 kW. Se consultaron dos fuentes de radiación solar: según el SENAMHI (Atlas 2003) se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día y del software SOLARIUS PLUS se ha obtenido un valor de 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día. Para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico solar se ha considerado el menor de estos valores, es decir: 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día. Para los datos de la velocidad y dirección del viento estos se han obtenido de la estación meteorológica Jayanca con la finalidad de determinar los meses críticos es decir con menor velocidad de viento en este caso el mes de mayo, luego de la estación meteorológica FIME-UNPRG se obtuvieron los datos para el cálculo de la energía que proporciona el aerogenerador. El sistema híbrido eólico solar estará conformado por: el cual está compuesto por 01 aerogenerador ENAIR 30 PRO, 24 paneles fotovoltaicos YINGLI SOLAR de 200 Wp, 12 baterías de acumuladores 503 Ah, 02 reguladores de carga Blue Solar 150/60 y 01 inversor 48/10 000-230 V. El costo referencial del

sistema híbrido eólico solar junto con la red de distribución secundaria es de: S/ 385 324.56.

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

### 2.2.1. Sistema Híbrido

Cuando dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido. Estos sistemas están compuestos generalmente por fuentes energéticas renovables y de ser necesario se complementan con grupos electrógenos, dejándolos en la mayoría de los casos solo para funciones de emergencia.

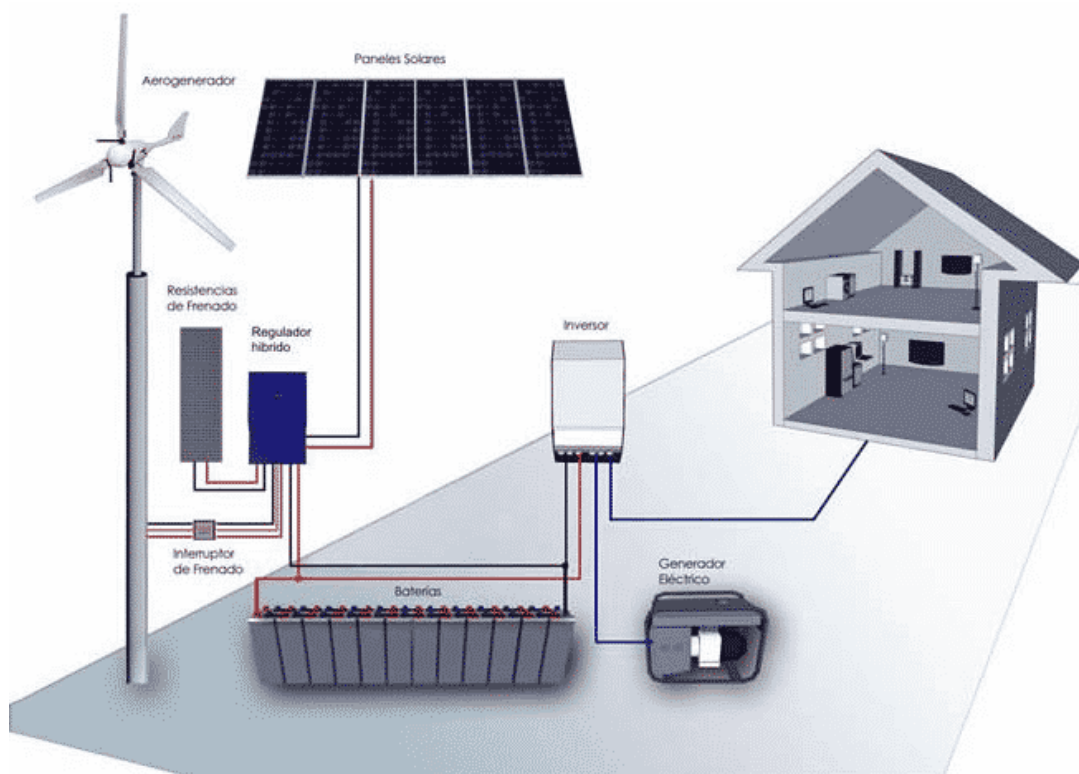


Figura N° 4: Sistema Híbrido Eólico Solar



#### **2.2.1.1. Descripción y funcionamiento de un Sistema Híbrido**

El aerogenerador, es idóneo para un sistema híbrido de generación combinado con paneles fotovoltaicos que al complementarse en el tiempo garantizan la carga constante de las baterías que suministran la energía a los consumidores (viviendas y escuela). De esta manera se amortiguan las fluctuaciones diarias y estacionales de ambas fuentes energéticas, lo que reduce los ciclos de descarga de las baterías y extiende su vida útil. El funcionamiento de este sistema híbrido puede describirse, de forma simplificada, con las siguientes características:

- El sistema está integrado por dos subsistemas de generación eléctrica: paneles fotovoltaicos y aerogenerador.
- El banco de baterías requiere recarga, debido al consumo de los equipos el día anterior.
- En términos generales, diariamente puede manifestarse la presencia del Sol (de acuerdo con la nubosidad), del viento, o de ambos recursos energéticos. Con la presencia de una o ambas fuentes, se inicia el proceso de recarga del banco de baterías con la entrada de los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador o ambos simultáneamente si las demandas del sistema lo requieren. Un controlador de carga común determina la necesidad de intensidad de carga específica, resultando en un nivel de penetración parcial o total de cada fuente de acuerdo con su energía disponible y al régimen de carga requerido por el sistema. El proceso de carga del banco de baterías, en ausencia de una de las fuentes energéticas (Sol o viento), puede ser asumido por

un mayor aporte de generación eléctrica del subsistema correspondiente a la fuente existente.

- En el caso del aerogenerador, un sofisticado sistema de regulación de carga, acoplado en el interior del mismo, controla el régimen de carga al sistema, desconectando el equipo una vez alcanzada la energía idónea.
- El aerogenerador desconectado queda en cortocircuito, situación en que es auto frenado, para regular el número de vueltas del rotor a un paso lento, silencioso y de esta forma evitar una sobre velocidad que pudiera provocar daños al equipo en caso de recarga.
- El regulador de carga queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de recarga.

## **2.2.2. Energía Solar**

### **2.2.2.1. El Sol**

El Sol forma parte del conjunto de 200.000 millones de estrellas de la Vía Láctea, pero para nosotros es la más importante ya que sólo se halla a una distancia media de 150 millones de kilómetros de la Tierra y constituye el principal aporte de energía para nuestro planeta.

Con un diámetro de 1 392 000 km – el de la Tierra de 12,756 km en el ecuador -, contiene el 98,6% de toda la masa del Sistema Solar.

La edad del Sol se estima entre unos 4 500 a 5 000 millones de años. Atraviesa la etapa intermedia de su vida en la llamada secuencia principal, una situación estable gracias al equilibrio entre las reacciones termonucleares que ocurren en el interior de las estrellas, que sirven para

transformar hidrógeno en helio, y la gravedad, que tiende a aplastarlas.

Se espera que el Sol continúe así otros 5 000 millones de años más.

El sol posee varias capas bien diferenciadas, que se pueden dividir en interior y exterior respecto a la superficie o fotosfera.



Figura N° 5: Estructura del Sol

### A. Interior

Lo constituyen capas que no son observables directamente. La fotosfera, un estrato de unos 300 km de grosor puede considerarse como la zona de separación entre el interior y la atmósfera solar.

**El núcleo:** Es la región central del Sol, con una temperatura de unos 15 millones grados. Aquí se produce la energía de la estrella, de modo que en cada segundo 564 millones de toneladas de hidrógeno se fusionan, termonuclearmente, en 560 millones de toneladas de helio. Los núcleos de hidrógeno (protones) se convierten en núcleos de helio a razón de

cuatro a uno; sin embargo, hay una diferencia de masas que se libera en forma de energía, dado que los cuatro protones son ligeramente más pesados que el núcleo de helio formado. Esta diferencia se debe a los cuatro millones de toneladas por segundo que resultan sobrantes al transformarse el hidrógeno en helio.

**La zona radiactiva:** La primera parte del transporte de energía generada en el núcleo se realiza a través de una capa que lo envuelve, por medio de radiación muy energética que es continuamente absorbida y reemitida.

**La zona convectiva:** El Sol posee varias capas por encima de la radiactiva en la que la energía se traslada a la superficie o fotosfera mediante fenómenos de convección. El resultado de estas corrientes convectivas se puede ver en la fotosfera en forma de granulación. Toda la fotosfera está surcada de una trama celular parecida, por su geometría, a granos de arroz.

Estas células son la parte superior de cada una de las columnas de corrientes ascendentes –calientes- y descendentes –más frías- del transporte energético. Las dimensiones de esta granulación son considerables: cada “grano” mide unos 800 km de diámetro.

**La fotosfera:** Es la superficie solar visible directamente (con la protección adecuada), con una temperatura aproximada de unos 6 000 °C. En ella pueden verse fenómenos como las manchas solares, que trataremos posteriormente y mediante las cuales es posible medir la actividad solar.

## **B. Exterior**

A partir de la fotosfera los fotones pueden atravesar estas capas y dispersarse en el espacio, por lo que estas zonas resultan observables.

**La cromosfera:** Es una capa rojiza que envuelve a la fotosfera, de unos 10 000 km de grosor. En ella se proyectan gases a muy altas temperaturas y sobresalen las protuberancias, especie de llamaradas que son lanzadas al espacio a enormes velocidades y que pueden alcanzar varios cientos de miles de kilómetros de altitud. Tanto la cromosfera como las protuberancias pueden verse directamente en los momentos de la totalidad de un eclipse total de Sol. En condiciones normales es necesario el uso de dispositivos o filtros especiales para su observación.

**Corona:** Por encima de la cromosfera está la corona, una especie de aureola con una estructura que sigue las líneas de fuerza del campo magnético solar. Está compuesta por gases a una temperatura de más de 1 millón de grados, pero de densidad muy baja, de modo que generan poca luz y calor. Sus límites son imprecisos, hasta el punto de que puede considerarse que la Tierra se halla inmersa en sus regiones más externas donde, además de los gases, figuran abundantes partículas de polvo.

La corona solar resulta visible a simple vista durante la fase de totalidad de un eclipse solar total.

#### **2.2.2.2. Recurso Solar Fotovoltaico**

Debido a las reacciones nucleares de fusión  $H \rightarrow He$  que tienen lugar en el interior del sol, unos 4 millones de toneladas de materia se transforman en energía cada segundo, similar a lo que sería un gigantesco reactor nuclear con una potencia de unos 1 026 W.

Una pequeñísima parte de la energía radiada por el Sol es interceptada por la Tierra, situada a unos 150 millones de km de distancia. La irradiancia solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la

radiación incidente en una superficie. En el caso del Sol, se define como la energía solar recibida por cada  $\text{m}^2$  en un segundo. Para un día claro de verano al mediodía en España se reciben del orden de 800 W sobre un  $\text{m}^2$  de una superficie horizontal. A lo largo de un día despejado varía, sobre todo, por la inclinación de los rayos solares. Esta inclinación es mayor en invierno, disminuyendo entonces la irradiancia solar.

La irradiancia solar en la cima de la atmósfera, en dirección perpendicular a los rayos solares, tiene un valor medio de  $1,367 \text{ W/m}^2$ . Este valor se denomina constante solar porque se mantiene prácticamente constante durante decenas o centenares de años, ya que, al ser básicamente dependiente de factores astronómicos o astrofísicos, su variación es muy lenta.

A su paso por la atmósfera, la radiación solar se atenúa debido a procesos de absorción y difusión que producen los gases y partículas de la atmósfera y las nubes. La irradiancia solar incidente en el suelo no suele superar los  $1\,000 \text{ W/m}^2$ , dependiendo mucho del lugar, la hora del día, época del año y estado del cielo.

#### **2.2.2.3. Radiación Solar**

La radiación solar la podemos definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre.

Estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de  $0,4 \text{ } [\mu\text{m}]$  y  $0,7 \text{ } [\mu\text{m}]$ , y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra

mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta.

La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas:

**Radiación directa:**

Es la radiación que nos llega directamente del sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por lo tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado.

**Radiación Difusa:**

Es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado.

**Radiación reflejada o albedo:**

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

### **2.2.3. Sistema de Energía Solar**

#### **2.2.3.1. Modulo Fotovoltaico**

Es el elemento principal, que realiza la conversión de la radiación solar a energía eléctrica, a través del efecto fotovoltaico. Las células solares proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, además de ser extremadamente frágiles y eléctricamente no aisladas. Es por ello, que su utilización exige la interconexión de varias

células para aumentar su voltaje y su intensidad, y la protección y ensamblaje del conjunto para constituir una única estructura, que se conoce como panel o modulo solar

**Tipos:**

Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

**Silicio monocristalino:**

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7%.

La eficiencia de estos módulos para comercializarlos ha llegado hasta el 18%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado. Proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

**Silicio policristalino:**

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19,8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo y la garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.



**Silicio amorfo:**

Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Los átomos de silicio que forman el sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino.

Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

**Teluro de cadmio:**

Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.

**Arseniuro de Galio:**

Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25,7% siendo los comerciales del 20%.



Figura N° 6: Panel Solar

**2.2.3.2. Estructura para modulo fotovoltaico.**

Son las Encargadas de Sostener el módulo fotovoltaico para obtener el Angulo de inclinación óptimo y así tener la mayor eficiencia del módulo fotovoltaico. Son fabricados en Acero Inoxidable y aluminio, y tienen un gran beneficio para la Limpieza y mantenimiento del módulo fotovoltaico.

#### LOS SISTEMAS DE SOPORTE SOLAR SE COMPONEN DE:



Figura N° 7: Componentes de las Estructuras

#### 2.2.3.3. Acumuladores o baterías

La energía eléctrica producida por el Aerogenerador y por los módulos fotovoltaicos en pocos casos se consume directamente por la carga por lo que es necesario instalar acumuladores, cuya función es almacenar la energía producida por el sistema Híbridos, y mantener constantemente el voltaje de la instalación.

#### 2.2.3.4. Acumuladores o Baterías:

**Eficiencia de carga:** relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100%, lo que indican que toda la energía

utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

**Auto descarga:** proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

**Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador.

#### **2.2.3.5. Tipos de Acumuladores o Baterías:**

##### **Baterías de sodio-Azufre:**

En este tipo ambos materiales se reducen durante la descarga, el electrolito conduce los iones positivos del sodio hacia el cátodo haciendo así reaccionar al azufre. De aquí, aunque aún no son muy utilizadas, se derivó a baterías de sodio-cloro-níquel.

El electrolito de este tipo compuesto por  $\beta$ -alúmina conduce iones positivos como el caso anterior de ánodo a cátodo. Pero a diferencia de las de sodio y azufre el ánodo está formado por sodio y cloruro de sodio y el cátodo por níquel y cloruro de níquel.

##### **Baterías de vanadio:**

Este tipo de baterías son capaces de suministrar largos periodos de carga ya que se almacenan los electrolitos en tanques, y esto permite reducir considerablemente las pérdidas por auto descarga. Debido a su buena respuesta ante los procesos de carga y descarga son baterías a tener en cuenta en el futuro.

### **Baterías Plomo-ácido:**

Debido a que son las más recomendables y usadas en este tipo de sistemas como son los sistemas híbridos no extenderemos algo más en explicar su funcionamiento. Formadas por un electrolito de disolución de ácido sulfúrico y agua destilada, que envuelven un conjunto de delgadas placas de plomo de distinta polaridad colocadas en paralelo y alternativamente. Se coloca una placa negativa adicional, de manera que siempre quede una placa negativa en el exterior evitando así la combadura de las placas positivas. Su funcionamiento se basa en un proceso electroquímico reversibles, que sea reversible nos proporciona la carga en una dirección de la reacción y la descarga en la otra.

### **Baterías de Litio-Grafito:**

En este tipo en el proceso de carga el elemento que se oxida es el litio liberando iones positivos y electrones, y por medio del electrolito llega al grafito que es el elemento que se reduce. Tienen un buen rendimiento alrededor del 92%.



Figura N° 8: Tipos de Baterías

### 2.2.3.6. Inversores

El inversor es el elemento encargado de transformar la corriente continua, generada por los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna disponible para ser consumida por las cargas de corriente alterna. Entre las funciones principales del inversor se encuentra la inversión DC/AC, regulación de la tensión de salida y modulación de la onda alterna de salida.

Las características principales que se deben tener en cuenta al trabajar con un inversor son: la tensión de entrada debe ser acorde con la suministrada por el generador, la potencia máxima suministrable, la tensión de salida y la frecuencia de onda. La eficiencia del inversor viene marcada por la corriente que suministra el inversor en relación a la corriente proporcionada por la batería. Según la onda de la tensión de salida, los inversores autónomos se pueden clasificar en tres tipos:

**Onda cuadrada:** Económico y de baja potencia, se emplea con pequeñas cargas inductivas o resistivas.

**Onda modificada o quasi-senoidal:** Se emplean en electrificaciones rurales para los electrodomésticos más usuales.

**Onda senoidal:** Dado que su señal de salida es muy similar a la de la red eléctrica, se puede emplear en cualquier aparato de consumo o conectarse a la red.



Figura N° 9: Inversor de Sistema Híbrido

#### 2.2.3.7. Controladores

Suministra la tensión y la intensidad de corriente que debe llegar a la batería de acuerdo al estado en que se encuentre. Asimismo, interrumpe la carga una vez que esta ha completado y brinda protección en contra descargas excesivas interrumpiendo el consumo ante una caída de tensión. Cumple también la función de mantener a las baterías en estado de flotación, esto es, en estado de máxima carga en los días en que no hay consumo.



Figura N° 10: Controlador del Sistema Híbrido

## **2.2.4. Energía Eólica**

### **2.2.4.1. El Viento**

El viento es la variable de estado de movimiento del aire. En meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. Los movimientos verticales del aire caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, como la formación de nubes de tormenta.

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y, por tanto, más denso. Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de "corriente de convección" para los movimientos de aire en sentido vertical.

La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis.

En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

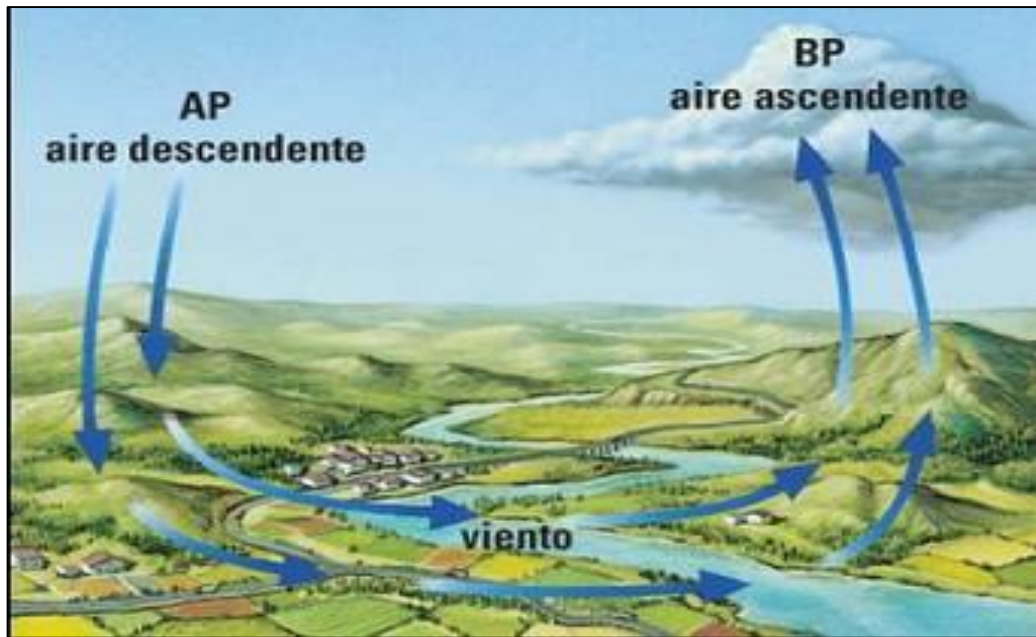


Figura N° 11: Formación del viento

#### **2.2.4.2. Recurso Eólico.**

El recurso para la generación de energía eólica es el viento, el cual es generado por corrientes de aire debido al desigual calentamiento de la superficie de la tierra. Así, la no uniformidad del flujo de radiación solar incidente hace que unas zonas se calienten más que otras, provocando movimientos de convección de la masa atmosférica. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo. Así, el viento es una masa de aire en movimiento, y como tal, contiene una cierta energía cinética.

#### **2.2.5. Sistema de generación de energía eólico.**

Es la transformación del movimiento de una masa de aire que transforma energía cinética, en energía eléctrica a través de generadores eléctricos y de elementos mecánicos; la energía generada se puede almacenar en batería o se puede conectar directamente a la red eléctrica.



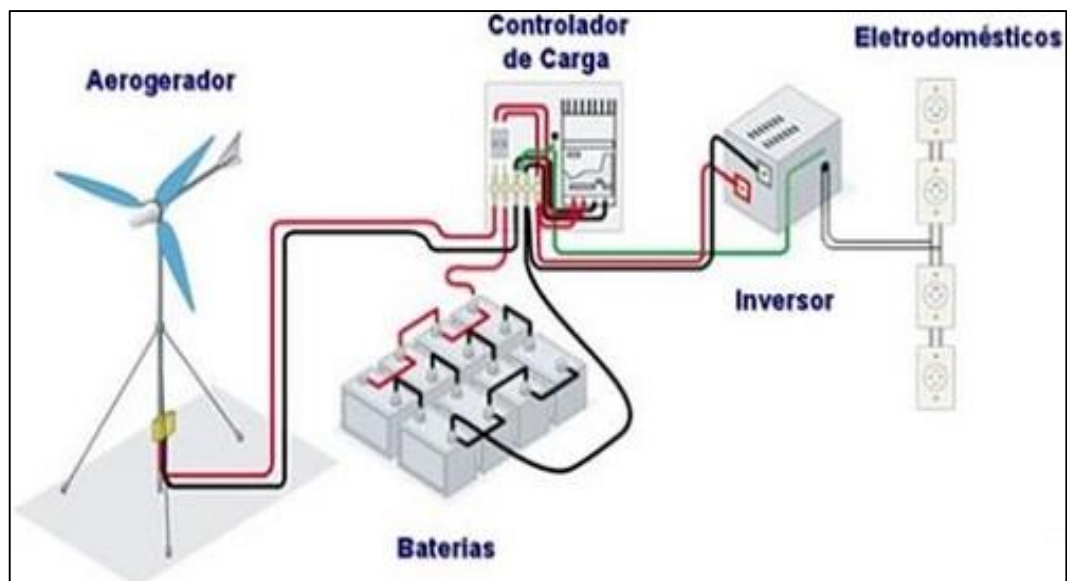


Figura N° 12: Sistema de Generación Eólico

El sistema de consta de los siguientes componentes:

#### 2.2.5.1. Aerogenerador

**Definición:** Los aerogeneradores son generadores cuya misión es convertir la energía del viento o energía cinética en energía mecánica, primero para finalmente convertirla en energía eléctrica.

**Funcionamiento:** El viento incide sobre las palas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores.

#### **Partes del Aerogenerador:**

##### **La góndola:**

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar

en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir las palas y el buje.

#### **Las palas del rotor:**

Capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 kW cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión.

#### **El buje:**

El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

#### **El eje de baja velocidad:**

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira muy lento, a unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

#### **El multiplicador:**

Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad.

#### **El eje de alta velocidad:**

Gira aproximadamente a 1 500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con y freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

#### **El generador eléctrico:**

Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1 500 kW.

**El controlador electrónico:**

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante modem.

**La unidad de refrigeración:**

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además, contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

**La torre:**

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 kW tendrá una torre de 40 a 60 metros (la altura de un edificio de 13 a 20 plantas).

Las torres pueden ser bien torres tubulares (como la mostrada en el dibujo) o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

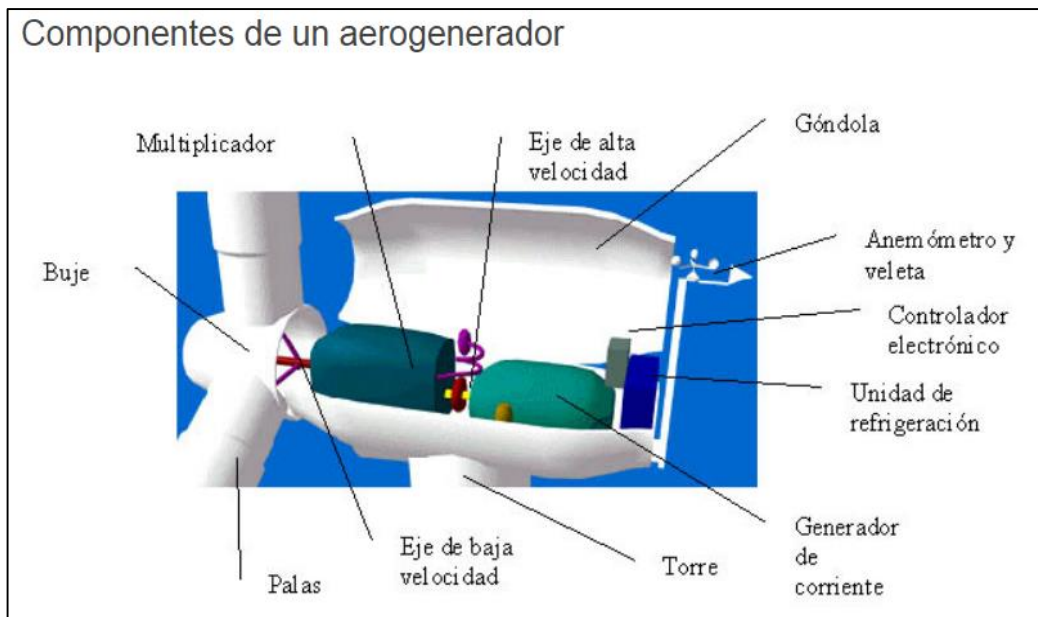


Figura N° 13: Componentes de un Aerogenerador

### 2.2.6. Situación actual de la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica en el mundo se impondrá durante este año. El mercado ha demostrado está acelerado en los últimos años. Estudios en el área calculan que para este año le batirá un récord de 100 gigavatios (GW). La fotovoltaica está viviendo, sobre todo en Europa, un nuevo florecimiento. Después de años de más de 10 GW. El año pasado el mercado solar europeo registró un crecimiento anual de 8,61 GW. Esto representa un 28 por ciento de incremento.

#### Crecimiento de la energía fotovoltaica en el mundo

Los principales factores que han impulsado este crecimiento en Europa han sido las licitaciones. Además de los contratos de compra de energía. En estos ha ganado puntos por su bajo coste. Asimismo ha contribuido lo atractivo que resulta el autoconsumo de electricidad solar.

La energía fotovoltaica en el mundo se desarrollará en países puntuales. Se espera que sea de 30% en Alemania, países bajos, España y Francia.

En España y en los Países Bajos será superior a un gigavatio. Mientras que en Francia se espera que las instalaciones solares alcancen una potencia de **alrededor de 20 GW**. Aparte de grandes centrales fotovoltaicas. También se fomentarán mediante licitaciones las instalaciones más pequeñas y el autoconsumo.

### **Energía fotovoltaica en el mundo y sus razones**

En Europa, el incremento de la energía fotovoltaica en el mundo se debe a varios factores. Uno de ellos es que cada vez depende menos de las subvenciones públicas. Esto hace que se aproveche al máximo la bajada de los costes y los avances técnicos.

Además, con el tiempo han surgido nuevas áreas de negocio. Estas derivan de los nuevos modelos comerciales. Entre ellos están las compras de electricidad, el suministro de electricidad a los inquilinos y el acoplamiento intersectorial.

A esto se le suman los incentivos políticos en forma de licitaciones. Sistemas de balance neto (net-metering) o modelos de suministro de electricidad generada por los ciudadanos. En Francia la potencia fotovoltaica licitada anualmente crecerá hasta los 2,45 GW a partir de 2018.

#### **2.2.6.1. Energía solar en el Perú**

El Perú cuenta con un alto potencial solar, por su incidencia diaria y constancia durante el año: contamos con un potencial promedio de energía de 5.24 kWh/m<sup>2</sup> (de acuerdo al Atlas de Energía Solar del Perú, 2003). Se considera que la energía solar en 4 kWh/m<sup>2</sup> es atractiva para la inversión para el uso de tecnologías de conversión fotovoltaica. (CER UNI - Centro de Energías Renovables, 2005)

Según cifras del Ministerio de Energía y Minas (2004), el Perú cuenta con una potencia instalada de alrededor de 3,73 MWp (o Mega watt pico). Del total de aplicaciones, se tiene que las principales son las siguientes: Sistemas Fotovoltaicos (SFV) en comunicaciones: 44 772 unidades. Sistemas Fotovoltaicos (SFV) para uso domiciliario (electrificación rural, iluminación, uso comunal): 17 448 unidades.

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas adjudicadas en las dos primeras subastas RER, se encuentran en operación comercial cuatro parques solares con una potencia total de 80 MW:

C.S. Majes 20T (20 MW, Arequipa, En servicio 2012).

C.S. Repartición 20T (20 MW, Arequipa, En servicio 2012).

C.S. Central Tacna (20 MW, Tacna, En servicio 2012).

C.S. Panamericana (20 MW, Moquegua, En Servicio 2012).

C.S. Moquegua FV 16 MW (16 MW, Moquegua, en construcción Prevista 31/12/2014).

Se ha determinado que los paneles solares pueden proveer de energía eléctrica a zonas rurales. Las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna tienen promedio de energía de 6 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>, mientras que Piura y Tumbes tienen promedio entre 5,5 y 6 kWh/m<sup>2</sup>. Además, existe interés de organismos de cooperación internacional para promover el uso de esta energía.

### **2.2.7. Situación actual de la energía eólica**

La energía eólica instalada en el mundo creció un 9,6% en 2018, hasta situarse en 591.000 MW, según datos del Global Wind Energy Council

(GWEC). China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales.

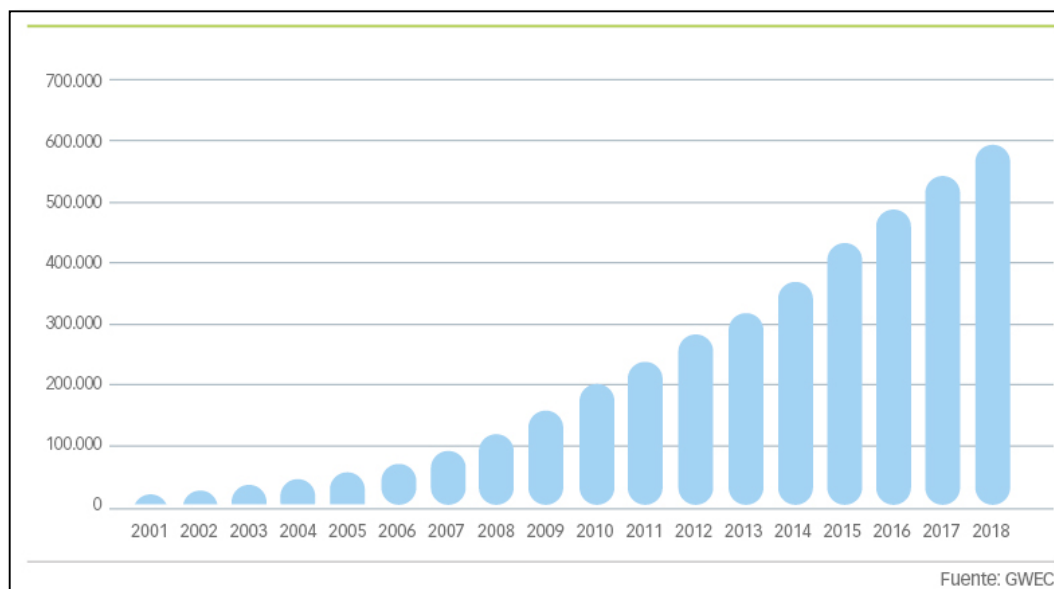


Figura N° 14: Evolución de la potencia instalada en el mundo (en MW), Año 2018

#### 2.2.7.1. Energía Eólica en el Perú

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y que quiere decir perteneciente o relativo al viento. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos de aspas. En las últimas décadas, el aprovechamiento de la energía eólica ha progresado

hasta convertirse en uno de los pilares fundamentales del suministro de energía renovable. Hoy en día el rendimiento de las instalaciones eólicas se ha multiplicado por 3 en relación con la velocidad del viento. Para poder aprovechar al máximo la energía eólica, estos equipos se asientan sobre torres lo más altas posible. Las mayores instalaciones eólicas del momento tienen una potencia nominal que se sitúa entre los 4 y 6 megavatios (MW). La altura total llega a alcanzar los 200 metros, con una altura de buje de 120 metros aproximadamente. Las palas del rotor alcanzan los 65 metros. Según el Atlas Eólico del Perú, nuestro país cuenta con un excelente recurso eólico. Destacan las costas del departamento de Piura, Lambayeque y algunas zonas de La Libertad. También destacan los departamentos de Ancash, Lima y Arequipa, pero el departamento con más posibilidades eólicas es Ica.

### **Centrales Eólicas**

C.E. Wayra I -Parque Nazca- (Ica).

C.E. Parque Eólico Tres Hermanas (Ica).

C.E. Parque Eólico Cupisnique (La Libertad).

C.E. Parque Eólico Talara (Piura).

C.E. Parque Eólico Marcona (Ica).

C.E. Huambos (Cajamarca).

C.E. Duna (Cajamarca).



### 2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

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

**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.

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

**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.

**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.

**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.

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

**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.

**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.

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

#### **El diseño de investigación es no experimental:**

Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

#### **Tipo de investigación**

**El tipo de investigación es Aplicada:** La investigación aplicada consiste en mantener conocimientos y realizarlos en la práctica además de mantener estudios científicos con el fin de encontrar respuesta a posibles aspectos de mejora en situación de la vida cotidiana. En este caso aplicaremos los conocimientos de ingeniería para lograr electrificar el caserío Víctor Raúl y con ello mejorara su calidad de vida.

**El tipo de investigación es Descriptiva:** El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento. Entonces es descriptiva porque requerimos describir la situación actual del caserío Víctor Raúl.

### **3.2. Población y muestra**

**Población:** está conformado por las 30 viviendas del caserío Víctor Raúl.

**Muestra:** está conformado por las 30 viviendas del caserío Víctor Raúl.

### **3.3. Materiales, técnicas e instrumentos de Recolección de datos**

#### **Métodos**

En esta Tesis utilizaremos el método deductivo puesto que a partir de las teorías y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas las aplicaremos para calcular, seleccionar los equipos.

Las técnicas principales que se empleará, son las siguientes:

#### **Técnicas**

##### **a) Observación directa**

Con esta técnica se conocerá el estado actual en el que se encuentra el caserío Víctor Raúl, Situación económica y social.

##### **b) La Entrevista**

Utilizaremos esta técnica para conocer el número total de habitantes, viviendas y cargas que utilizaran en las unidades de vivienda.

##### **c) Análisis de contenido**

Esta técnica se utilizará para obtener información de diferentes bibliografías sobre sistemas eólicos- fotovoltaico: tesis, revistas, software páginas web, etc.

### **3.4. Variables de Operacionalización**

**X:** Variable independiente:

- Velocidad del viento y nivel de radiación solar.

**Y:** Variable dependiente:

- Sistema Híbrido y Electrificación.

Tabla N° 1:Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<b>Variable independiente</b>  Velocidad del viento y nivel de radiación solar	<b>Velocidad del viento:</b> El viento es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal, a lo largo de la superficie terrestre.  <b>Radiación solar:</b> conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol	Determinar la velocidad del viento disponible.	Data de velocidad y dirección del viento.  Selección del aerogenerador (kW).
		Determinar el nivel de radiación solar disponible.	Data de la radiación solar de diferentes fuentes.  Potencia de paneles fotovoltaicos (kWp).  Controladores (A), baterías (Ah), inversores (P), elementos de protección.
<b>Variable dependiente</b>  Sistema Híbrido y Electrificación	<b>Sistema Híbrido:</b> Los sistemas Eólico y Solar son los sistemas que van a transformar las energías Eólica y Solar en energía eléctrica.  Electrificación: Es la acción de electrificar.	Determinar la energía promedio diaria, máxima demanda, y demás datos para el proyecto.	Energía promedio diaria (Wh)  Tensión de suministro (V)  Potencia (W)

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Análisis de los Datos**

La información obtenida de las técnicas de recolección de datos, servirá para calcular la energía promedio diaria proyectada y la máxima demanda, con los datos de irradiación solar y velocidad del viento calcularemos y seleccionaremos los equipos del sistema autónomo de energía eléctrica.



## **CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACION**

### **4.1. Propuesta de la investigación**

Como bien sabemos la problemática del caserío Víctor Raúl, es la falta de suministro de energía eléctrica y con la finalidad de utilizar energías no convencionales las cuales no producen impacto ambiental negativo es que se propone la implementación de un sistema eólico - solar y con ello mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

#### **Equipamiento de la propuesta**

Para electrificar el caserío Víctor Raúl con un sistema híbrido eólico solar se propone lo siguiente:

##### **a) Aerogenerador**

Se considerará un aerogenerador de 3 kW el cual compartirá la carga con el generador fotovoltaico.

##### **b) Generador Fotovoltaico**

Estará formado por un conjunto de paneles fotovoltaicos, se tendrá en cuenta una marca reconocida y la potencia que sea comercializables es decir fácil de poder adquirirlo. El número de paneles fotovoltaicos se determinará en función de la energía promedio diaria.

##### **c) Controlador de carga solar**

Con la finalidad de controlar la descarga y carga de las baterías y evitar su deterioro y por lo tanto disminución de su vida útil, estos controladores deberán ser de marca reconocida con la capacidad de corriente eléctrica suficiente para soportar la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico.

#### **d) Banco de baterías**

Con la finalidad de poder almacenar la energía eléctrica generada en la hora de producción del sistema híbrido eólico solar y utilizar la energía durante la noche u horas de menor radiación solar es que se considera la necesidad de un banco de baterías. Se dimensionará de acuerdo a la capacidad en función de la energía promedio diaria de la carga y el número de días de autonomía.

#### **e) El inversor**

Para transformar la corriente eléctrica en CD a AC y poder suministrarle a la carga a 220 V y a una frecuencia de 60 Hz.

#### **f) Red de distribución en 220 V**

Con el sistema híbrido - eólico solar tenemos un sistema de generación de energía eléctrica, pero es necesario hacerlo llegar a cada una de las viviendas y por ello surge la necesidad de diseñar la red de distribución secundaria en 220 V.

## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Demanda de energía en el Caserío Víctor Raúl

Para calcular la demanda de energía, se necesita información de la población del caserío Víctor Raúl y de la tasa de crecimiento poblacional del departamento de Lambayeque.

La proyección se realizará para 20 años de vida útil del proyecto en desarrollo.

A continuación, se detalla la información correspondiente.

Tabla N° 2: Tasa de crecimiento poblacional

PERU: TASAS DE CRECIMIENTO GEOMETRICO MEDIO ANUAL SEGUN DEPARTAMENTOS, 1995-2015				
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

De la tabla N° 2, se tendrá en cuenta el valor promedio para la proyección de la población dentro de 20 años.

Tabla N° 3: Tasa de crecimiento para el Departamento de Lambayeque

Año	Tasa de crecimiento promedio anual (%)
1995 – 2000	2,00
2000 – 2005	1,90
2005 – 2010	1,70
2010 – 2015	1,50
<b>Promedio</b>	<b>1,78</b>

Por lo tanto, de la tabla N° 3, el valor promedio es de 1,78%, el cual se usará para la proyección en este proyecto.

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

Donde:

$P_0$ : Población actual (100 habitantes)

$P_{20}$ : Población proyectada al cabo de 20 años

$i$ : Tasa de crecimiento poblacional (1.78%)

$n$ : Número de años (20 años)

Reemplazando todos estos datos en la ecuación (1), se podrá calcular el número de habitantes para el año 20, el cual es de:

$$P_{20} = 100x(1 + 0.0178)^{20} = 142,34 \approx 143 \text{ habitantes}$$

Por lo tanto, el número de personas por unidad de vivienda se establecerá como constante en el tiempo, obteniendo un valor de 3,33 habitantes por vivienda. En conclusión, el número de viviendas después de 20 años se proyectará con la siguiente ecuación:

$$NV = \frac{P_{20}}{NHV} \quad \dots (2)$$

Donde:

NV: Número de viviendas

NHV: Número de habitantes por vivienda = 3,33

Reemplazando los datos en la ecuación (2):

$$NV = \frac{143}{3,33} \approx 43 \text{ viviendas}$$

Para determinar el consumo de energía por unidad de vivienda, se realizó una encuesta para obtener información sobre los electrodomésticos que se utilizaran en dichas viviendas del Caserío Víctor Raúl.

### 5.1.1. Demanda de Energía diaria (Wh/día)

Tabla N° 4: Consumo de energía eléctrica diaria por unidad de vivienda

VIVIENDA PARTICULAR							
N°	Descripción	Tensión (V)	Potencia Unitaria (W)	Cantidad	Tiempo de uso (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia total (W)
1	Foco LED (Sala)	220	9	2	4	72	18
2	Foco LED (Dormitorio)	220	9	2	2	36	18
3	Foco LED (Cocina)	220	9	1	3	27	9
4	Foco LED (Comedor)	220	9	1	3	27	9
5	Televisor	220	50	1	2	100	50
6	Radio	220	12	1	2	24	12
7	Carga de celular	220	5	2	1	10	10
CONSUMO TOTAL POR VIVIENDA PARTICULAR						296,00	126,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5: Consumo de energía eléctrica para el local comunal

LOCAL COMUNAL							
N°	Descripción	Tensión (V)	Potencia Unitaria (W)	Cantidad	Tiempo de uso (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia total (W)
1	Foco LED (Local)	220	9	3	3	81	27
3	Radio	220	12	1	3	36	12
4	Carga de celular	220	5	1	1	5	5
CONSUMO TOTAL POR LOCAL COMUNAL						122,00	44,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6: Consumo de energía eléctrica para la Iglesia local

IGLESIA LOCAL							
N°	Descripción	Tensión (V)	Potencia Unitaria (W)	Cantidad	Tiempo de uso (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia total (W)
1	Foco LED (Local)	220	9	3	3	81	27
2	Televisor	220	50	1	2	100	50
3	Radio	220	12	1	2	24	12
4	Carga de celular	220	5	1	1	5	5
CONSUMO TOTAL POR IGLESIA LOCAL						210,00	94,00

Fuente: Elaboración propia

### Alumbrado Público

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

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

$$CMAP = KALPxNV \quad \dots (3)$$

Donde:

CMAF: Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

KALP: Factor de AP en kWh/usuario-mes. Dicho factor es el correspondiente al sector típico 4 (3,3)

NV: Número de usuarios de la localidad (43 viviendas).

$$CMAF = 3,3 \times 43 \approx 141,90 \text{ kWh}$$

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

$$PI = \frac{CMAF \times 1000}{NHMAF \times PPL} \dots (4)$$

Donde:

PI: Puntos de Iluminación.

CMAF: Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

NHMAF: Número de horas mensuales del servicio de alumbrado público (360 horas/mes).

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

Reemplazando estos datos en la ecuación 3, se obtiene el total de puntos de iluminación de alumbrado público.

$$PI = \frac{141,90 \times 1000}{360 \times 60} \approx 7$$

Tabla N° 7: Proyección del consumo de energía promedio diario del Caserío Víctor Raúl

Carga	Cantidad	Energía Unitaria (Wh)	Potencia Unitaria (W)	Energía total (Wh)	Potencia total (W)
Viviendas	43	296	126	12 728	5 418
Local Comunal	1	122	44	122	44
Iglesia local	1	210	94	210	94
Alumbrado público	7	720	60	5 040	420
<b>TOTAL</b>				18 100	5 976

De acuerdo a la tabla N° 7, se obtuvo el consumo de energía promedio diario es de 18,100 kWh/día.

La potencia necesaria para satisfacer las necesidades de energía será de 5,976 kW, dato importante para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico fotovoltaico.

Considerando que actualmente el caserío Víctor Raúl cuenta con 30 viviendas, su demanda actual será de 4,08 kW, con un consumo de energía diario de 12,48 kWh/día, considerando un alumbrado público con cinco luminarias.

## **5.2. Evaluación del recurso solar y eólico en el Caserío Víctor Raúl**

### **5.2.1. Evaluación del recurso solar fotovoltaico**

Para determinar y obtener la información de la radiación solar en el Caserío Víctor Raúl, se han considerado tres fuentes de datos: El atlas solar del Perú, el software Meteonorm 7.3 y el uso del software SOLARIUS PV. Cuyos datos se detallan a continuación:

#### **Atlas de energía solar del Perú**

De esta fuente se obtiene la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Lambayeque, se observa que la radiación solar varía entre 5,50 kWh/m<sup>2</sup>/día y 5,00 kWh/m<sup>2</sup>/día respectivamente. Por lo tanto, se considerará el valor más desfavorable, en este caso sería de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>/día para el proyecto en mención.

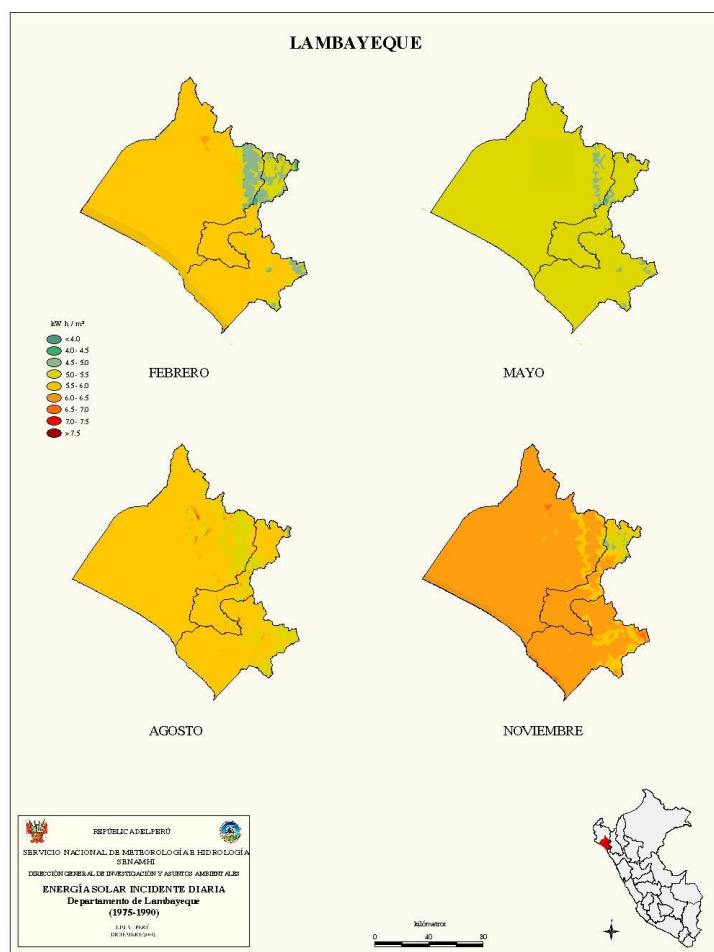


Figura N° 15: Energía Solar en el Departamento de Lambayeque.

### **Software Meteonorm 7.3**

Con el uso de este potente software, se obtuvo la información de la radiación solar en el Caserío Inneche.

Primero, necesitamos los datos de la latitud y la longitud donde se ubica el Caserío Víctor Raúl. Estos se obtuvieron del INEI, del Sistema de Información Geográfica, Sistema de Consulta de Centros Poblados, los que se detallan a continuación:

Latitud: -6.35856333400




Longitud: -79.8032050000

Al ingresar estos datos al software Meteonorm, podemos obtener los valores de radiación durante un año para el caserío Víctor Raúl.



Tabla N° 8: Radiación Solar mensual según software METEONORM  
7.3 para el caserío Víctor Raúl

**Caserío Víctor Raúl - Jayanca - Lambayeque**

 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	185	74	157	24.3	18.7	5.1	
Febrero	172	74	137	25.7	19.6	4.4	
Marzo	198	75	173	25.7	19.7	4.2	
Abril	184	65	172	23.7	18.1	4.9	
Mayo	168	64	159	21.3	16.2	5.4	
Junio	149	59	142	19.9	15.5	4.9	
Julio	151	67	132	19.6	15.3	4.7	
Agosto	168	72	142	19.3	14.9	4.8	
Setiembre	189	71	165	19.1	14.5	5.5	
Octubre	195	76	166	19.6	14.7	5.6	
Noviembre	185	75	162	20.6	15.6	5.5	
Diciembre	192	78	164	22.4	17.1	5.4	
Año	2137	850	1871	21.8	16.7	5	

Y para obtener la radiación solar promedio diaria, se tendría en consideración el número de días para cada mes, tal como se muestra en la siguiente tabla N° 9.

Tabla N° 9: Radiación Solar Promedio Diaria

Mes	Gh (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Días del mes	Gh (kWh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	185	31	5,97
Febrero	172	28	6,14
Marzo	198	31	6,39
Abril	184	30	6,13
Mayo	168	31	5,42
Junio	149	30	4,97
Julio	151	31	4,87
Agosto	168	31	5,42
Septiembre	189	30	6,30
Octubre	195	31	6,29
Noviembre	185	30	6,17
Diciembre	192	31	6,19

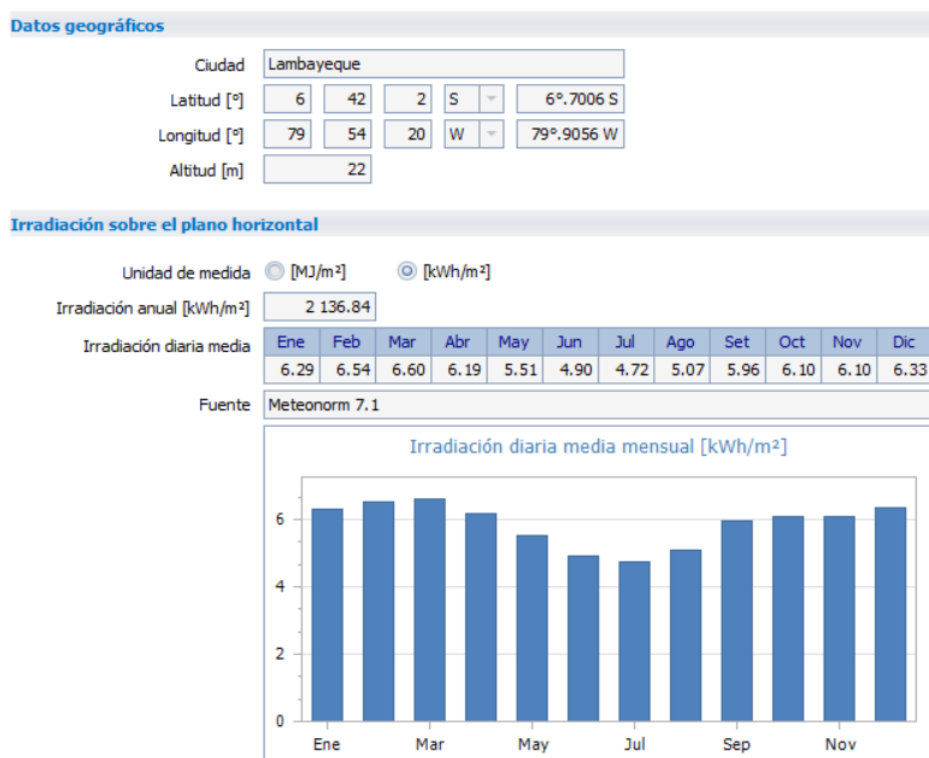
Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 9, el mínimo valor de la radiación solar se da en el mes de Julio y es de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>/día.

## Software Solarius PV

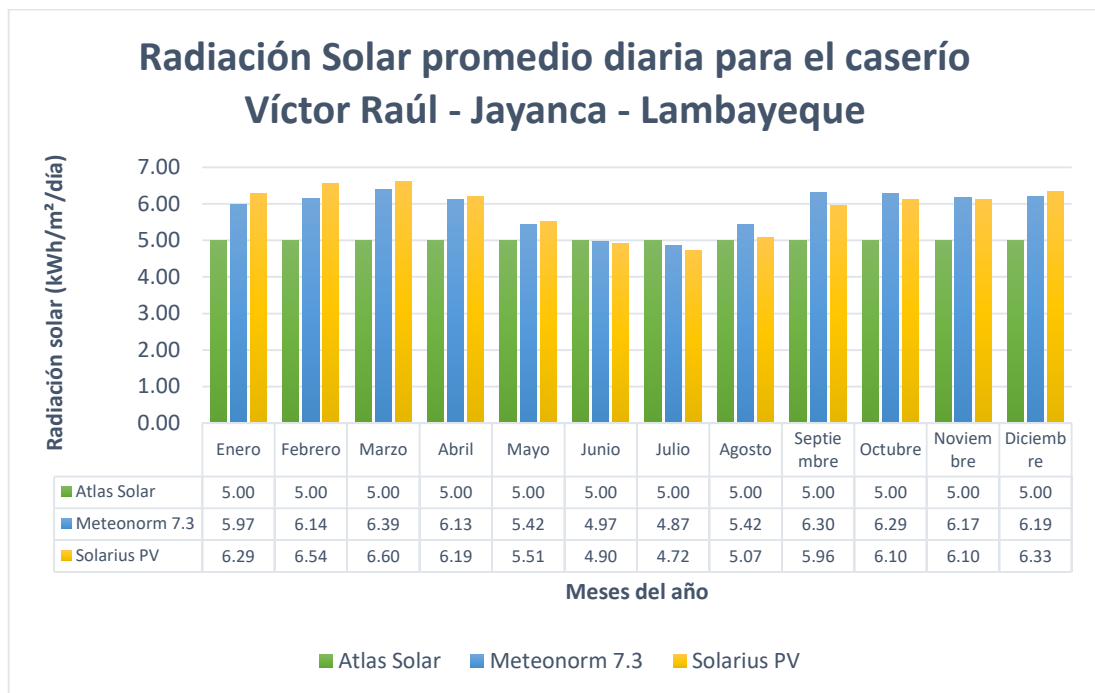
Con este potente software se obtuvieron los resultados de radiación solar para el departamento de Lambayeque. Se detalla a continuación:

Tabla N° 10: Radiación Solar en el departamento de Lambayeque



De la tabla N° 10, se usará el valor más bajo de radiación solar, dándose en el mes de Julio, con un valor de 4,72 kWh/m²/día.

Tabla N° 11: Comparativa de la radiación solar de las tres fuentes



Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 11, se puede apreciar que el mínimo valor que toma la radiación solar es de 4,72 kWh/m²/día, el cual se usara para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

### 5.2.2. Evaluación del recurso eólico

Los datos se han obtenido de la estación meteorológica ubicado en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UNPRG, en un archivo Excel, se usarán datos con velocidades desde 1 m/s, eliminando aquellos datos que sean de 0 m/s.

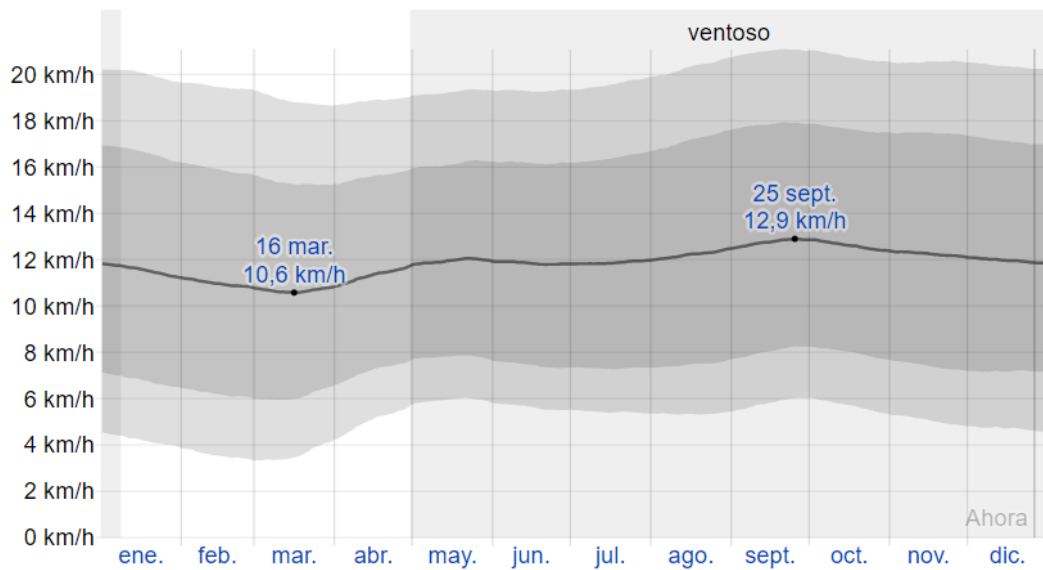


Figura N° 16: Velocidad promedio del Viento en el distrito de Jayanca

De la figura N° 16 se observa que los meses más críticos, es decir, con la velocidad más baja es el mes de marzo.

De la estación meteorológica de la FIME, obtenemos los datos de la velocidad del viento para todo un año (ANEXO 01) datos cada 15 minutos.

Los datos de velocidad de viento se procesan de modo que se tenga el número de veces en que se repite cada velocidad de viento (Distribución de frecuencias) y el número de veces acumuladas en el periodo de estudio, año en que la velocidad del viento es menor a un valor dado (Distribución acumulada).

Los datos de la estación meteorológica de la FIME son a una altura de 20 m por lo que, aplicando la ley exponencial de Hellman, se recalcula a 18 m que es la altura a la cual trabajará el aerogenerador (ANEXO 02) y luego elaboramos la tabla N° 12 de frecuencias.

Tabla N° 12: Distribución de frecuencias y distribución acumulada porcentual

Velocidad (m/s)	Distribución de frecuencias	Distribución acumulada	Distribución relativa porcentual	Distribución acumulada porcentual
1	39	39	0,01311	0,01311
2	132	171	0,04438	0,05750
3	850	1021	0,28581	0,34331
4	874	1895	0,29388	0,63719
5	687	2582	0,23100	0,86819
6	259	2841	0,08709	0,95528
7	97	2938	0,03262	0,98790
8	33	2971	0,01110	0,99899
9	3	2974	0,00101	1,00000

Fuente: Elaboración propia

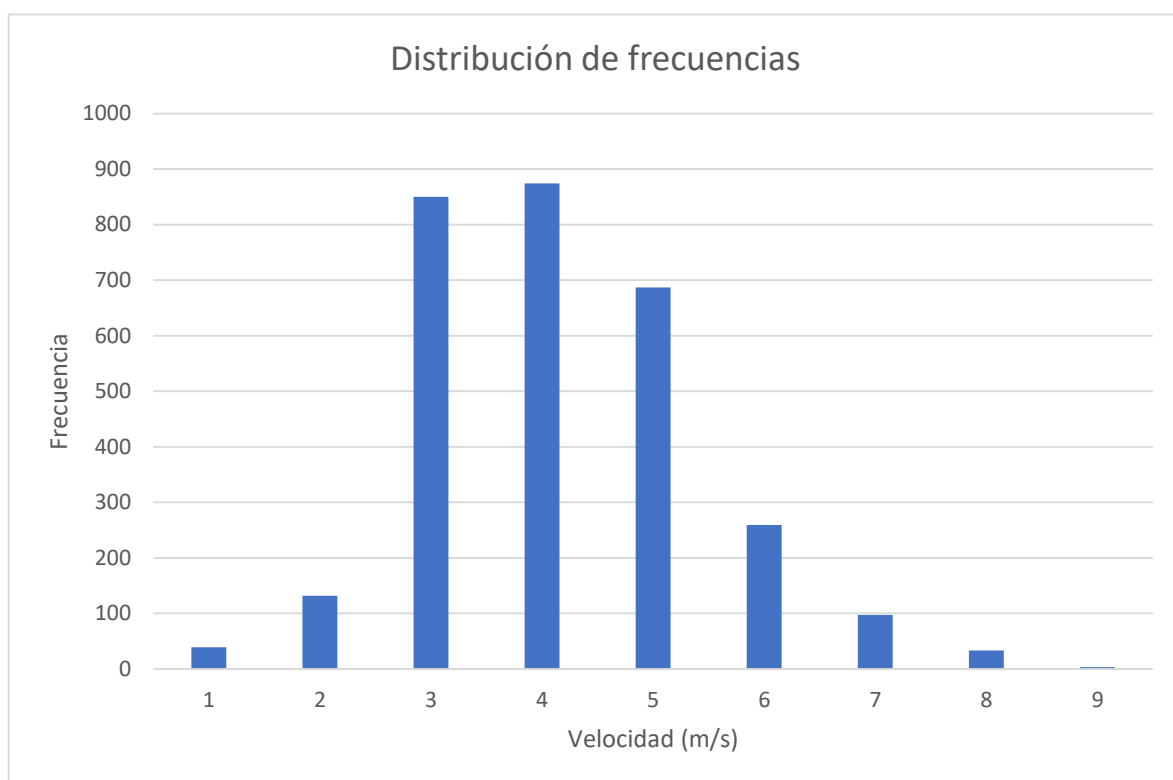


Figura N° 17: Distribución de frecuencias

Fuente: Elaboración propia

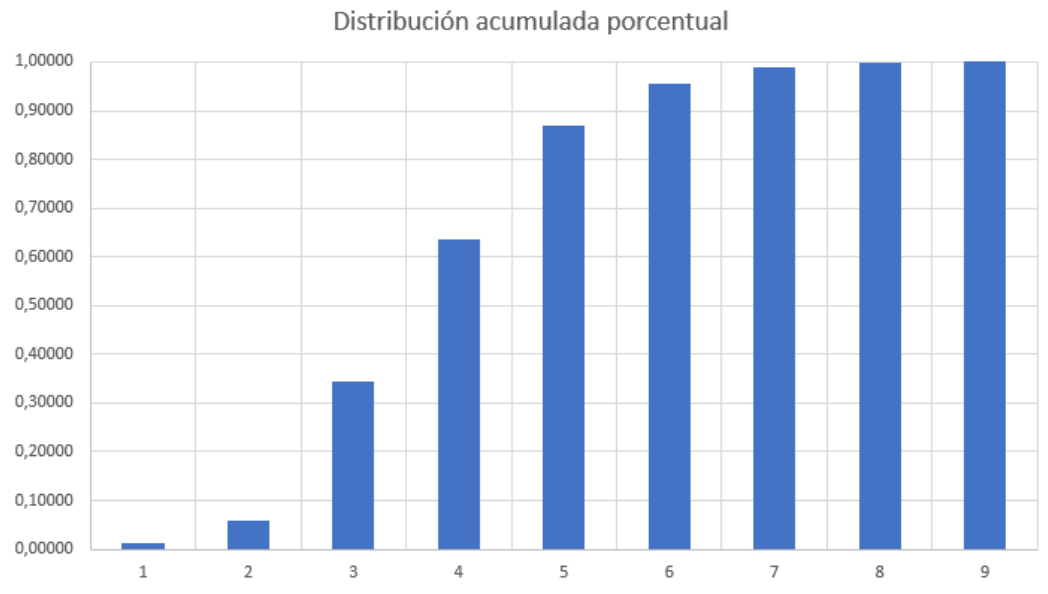


Figura N° 18: Distribución acumulada relativa

De los valores de la tabla N° 12 se utilizan para dar forma a la recta expresada en la ecuación:

$$Y = K \cdot x + B \quad \dots (5)$$

Por lo tanto:

$$Y = \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1 - F(v)} \right) \right) \quad \dots (6)$$

$$X = \ln(v) \quad \dots (7)$$

$$B = -k \cdot \ln(C) \quad \dots (8)$$

Donde “k” es el parámetro de forma y “C” el parámetro de escala. Al graficar los valores de las variables X e Y, se obtiene:

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

Tabla N° 13: Valores para graficar y elaborar una regresión lineal

Velocidad (m/s)	Ln(v)	Ln (Ln(1/(1-F(v))))
1	0,00	-4,33
2	0,69	-2,83
3	1,10	-0,87
4	1,39	0,01
5	1,61	0,71
6	1,79	1,13
7	1,95	1,48
8	2,08	1,93

Fuente: Elaboración propia

Reajustando los puntos y usando el Software MS Excel tal como se muestra en la figura siguiente, haciendo el reajuste lineal, obtenemos:

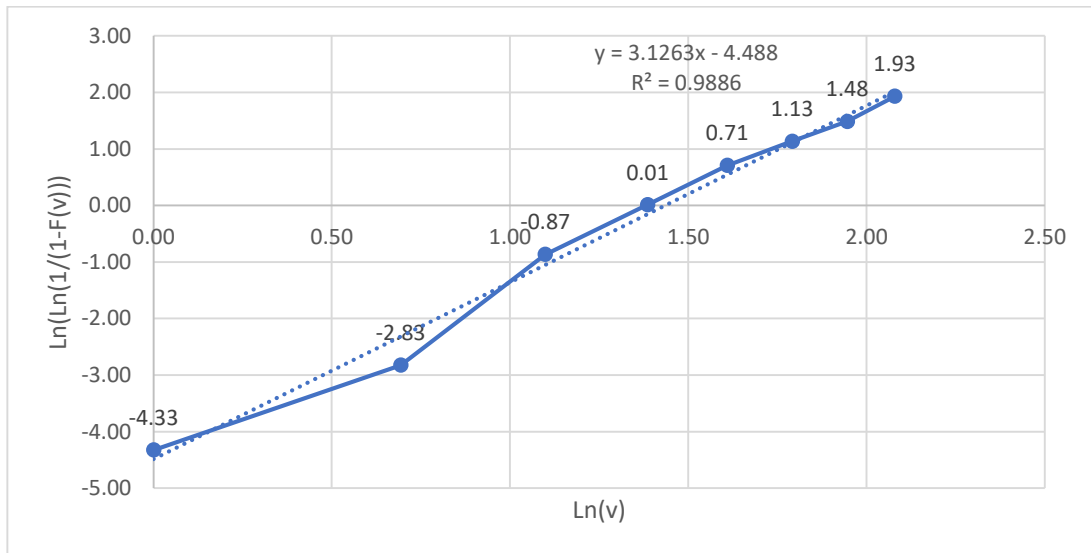


Figura N° 19: Reajuste lineal y regresión lineal

Por lo tanto, la ecuación de regresión lineal es:

$$Y = 3,1263x - 4,488 \quad \dots (9)$$

Reemplazando los datos, calculamos lo siguiente:

$$k = 3,1263$$

$$B = -4,4881 \text{ de donde se +obtiene que } C = 4,2020$$

Por lo tanto, usando la distribución de Weibull:

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]} \dots (10)$$

Elaboramos la tabla N° 14:

Tabla N° 14: Frecuencia y horas de duración de la velocidad del viento

V (m/s)	f(v)	Número de horas
0	0,00000	0
1	0,03476	25,8614
2	0,13911	103,4978
3	0,25643	190,7839
4	0,28430	211,5192
5	0,19240	143,1456
6	0,07550	56,172
7	0,01590	11,8296
8	0,00164	1,2202
9	0,00008	0,0595

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Cálculo del Sistema Eléctrico Eólico – Solar

#### 5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico

De acuerdo a la potencia instalada necesaria, se propone utilizar un Aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3 kW (Anexo 03).

Con los datos brindados por el fabricante, usaremos el coeficiente de potencia para hallar las potencias a cierta velocidad del viento.



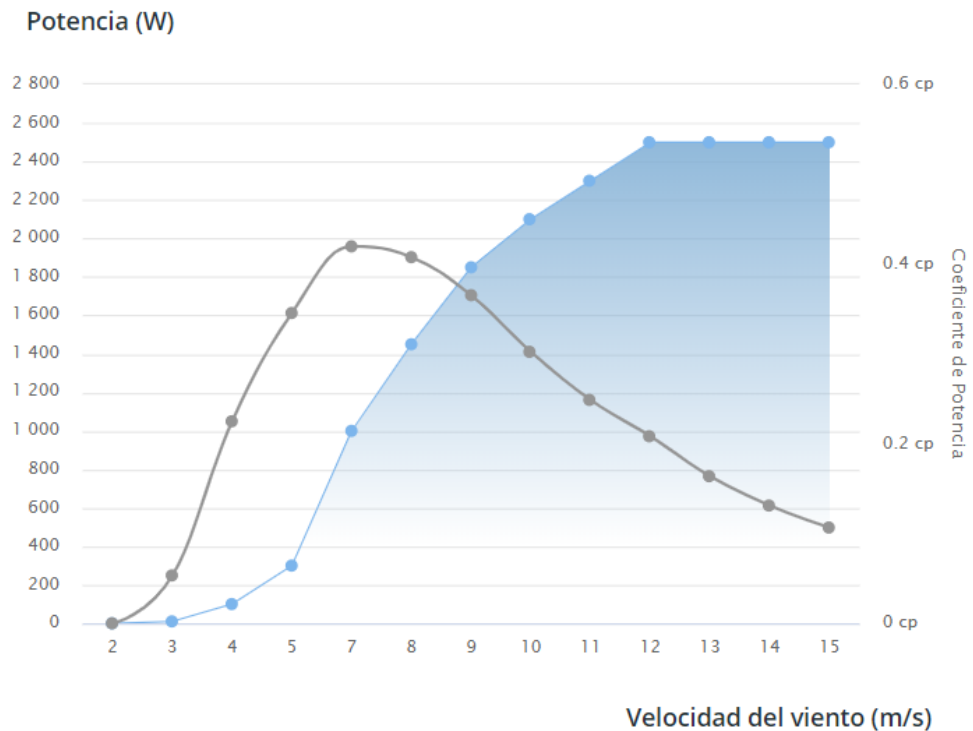


Figura N° 20: Curva de potencia Aerogenerador ENAIR E30 PRO

Para determinar la potencia generada considerando cierta velocidad del viento, se procederá a utilizar la siguiente ecuación:

$$P = \frac{C_p * \rho * A * V^3}{2} \quad \dots (11)$$

Donde:

P : Potencia de la turbina eólica.

$C_p$  : Coeficiente de potencia.

$\rho$  : Densidad del aire (1,225 kg/m³).

A : Área de barrido de la turbina eólica.

V : Velocidad del viento.

Los datos obtenidos con la ecuación 11 se presentan en la siguiente tabla.

Tabla N° 15: Potencia del Aerogenerador ENAIR 30 PRO vs Velocidad del viento

Velocidad (m/s)	$C_p$	Densidad del aire ( $kg/m^3$ )	Área de barrido (A)	Potencia (W)
0	0,00	1,225	11,34	0,00
1	0,00	1,225	11,34	0,00
2	0,00	1,225	11,34	0,00
3	0,05	1,225	11,34	10,00
4	0,22	1,225	11,34	100,00
5	0,35	1,225	11,34	300,00
6	0,38	1,225	11,34	574,01
7	0,42	1,225	11,34	999,89
8	0,41	1,225	11,34	1449,87
9	0,37	1,225	11,34	1849,98
10	0,30	1,225	11,34	2099,70
11	0,25	1,225	11,34	2300,10
12	0,21	1,225	11,34	2500,07

Con los datos de la potencia del aerogenerador de la tabla anterior, se elabora la tabla de energía suministrada durante un año. Los datos se detallan a continuación.

Tabla N° 16: Potencia generada por el Aerogenerador ENAIR 30 PRO

V (m/s)	Potencia (W)	Horas	Energía (Wh)
1	0,00	25,8614	0,00
2	0,00	103,4978	0,00
3	10,00	190,7839	1 907,84
4	100,00	211,5192	21 151,92
5	300,00	143,1456	42 943,68
6	574,01	56,172	32 243,29
7	999,89	11,8296	11 828,30
8	1449,87	1,2202	1 769,13
9	1849,98	0,0595	110,07
<b>Total (Wh)</b>			114 954,23

Fuente: Elaboración propia

La energía total suministrada por el Aerogenerador es de 114 954,23 Wh y considerando los 31 días en estudio en que se tiene viento disponible para su funcionamiento, se puede calcular la energía promedio diaria entregada por el aerogenerador, que es de: 3,708 kWh/día.

### 5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El rendimiento global de la instalación solar eólica se obtiene con la ecuación siguiente:

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

Donde:

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

Se tienen en cuenta los siguientes valores para los factores de pérdidas:

$f_a$  : Fracción de energía pérdida por auto descarga = 0,005

$f_b$  : Factor de pérdidas debido a la eficiencia de la batería = 0,05

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

$f_j$  : Factor de pérdidas global debido al calentamiento en conexiones, cableado, fricción, etc. = 0,05

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

$N$  : Días de autonomía = 2

Reemplazando todos estos valores en la ecuación (13), obtenemos el factor global de pérdidas:

$$F = 1 - \left[ \frac{0,005 \times 2}{0,7} \right] - 0,05 - 0,13 - 0,05$$

$$F = 0,76$$

Entonces, la energía que necesita el sistema se obtiene de la ecuación (12) de la siguiente manera:

$$E_{sistema} = \frac{E_{carga}}{0,76} = \frac{18,100 \text{ kWh/día}}{0,76} = 23,816 \text{ kWh/día}$$

Se conoce la energía suministrada por el aerogenerador, entonces tenemos lo siguiente:

$$E_{sistema} = E_{eólica} + E_{fotovoltaica} \quad \dots (14)$$

$$23,816 \text{ kWh/día} = 3,708 \text{ kWh/día} + E_{fotovoltaica}$$

$$E_{fotovoltaica} = 20,108 \text{ kWh/día}$$

Ahora, se propone el uso de paneles JINKO de 320 Wp, con este dato se puede calcular el número de paneles necesarios para el sistema híbrido eólico solar:

$$E_{fotovoltaica} = N_{paneles} \times P_{panel} \times HSP \quad \dots (15)$$

$$20,108 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = N_{paneles} \times 320 \text{ Wp} \times 4,72 \frac{\text{m}^2}{\text{día}}$$

$$N_{paneles} = 13,31 \text{ paneles} \approx 14 \text{ paneles}$$

### 5.3.2.1. Generador fotovoltaico

El generador fotovoltaico estará constituido por 14 paneles fotovoltaicos de 320 Wp de la marca JINKO (ANEXO 04), las características se pueden observar en la tabla siguiente:

Tabla N° 17: Características eléctricas del panel fotovoltaico JINKO

ESPECIFICACIONES								
Tipo de módulo	JKM305PP		JKM310PP		JKM315PP		JKM320PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (P <sub>máx</sub> )	305Wp	226Wp	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp
Tensión en el punto P <sub>máx</sub> -VMPP (V)	36.8V	33.6V	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V
Corriente en el punto P <sub>máx</sub> -IMPP (A)	8.30A	6.72A	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.6V	42.2V	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.91A	7.22A	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A
Eficiencia del módulo (%)	15.72%		15.98%		16.23%		16.49%	

Tabla N° 18:Características mecánicas del panel fotovoltaico JINKO

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

Con las ecuaciones siguientes, calcularemos el número de paneles fotovoltaicos en serie y número de ramas en paralelo:

La tensión de trabajo será de 48 V.

$$N_{mserie} = \frac{48 V}{24 V} = 2$$

Los paneles en paralelo:

$$N_{rparalelo} = \frac{14}{2} = 7$$

La energía diaria que producirá el generador fotovoltaico es de:

Tabla N° 19: Energía producida por el generador fotovoltaico

Radiación Solar	Número de paneles JINKO de 320 Wp	Potencia del generador fotovoltaico	Energía diaria entregada por el aerogenerador
4,72 kWh/m²/día	14	4,480 kWp	21,146 kWh/día

En resumen, la energía total diaria entregada por el sistema eólico – solar es de:

$$E_{sistema} = E_{fotovoltaica} + E_{eólica}$$

$$E_{sistema} = 3,708 kWh/día + 21,146 kWh/día$$

$$E_{sistema} = 24,854 kWh/día$$

Debido a las pérdidas originadas por la conversión de una energía a otro tipo de energía, a la eficiencia de los componentes y equipos, al efecto Joule, se obtiene un rendimiento de 0,76; por lo tanto, la energía que se entrega a la carga es de: 18,889 kWh/día que es mayor a lo necesario para la carga que es de 18,100 kWh/día.

***En conclusión, se necesitarán 14 paneles fotovoltaicos de 320 Wp y 01 aerogenerador de 3 kW.***

### 5.3.2.2. Controlador para el sistema fotovoltaico

Se tendrá en cuenta la ecuación siguiente y la corriente del cortocircuito del panel fotovoltaico, de donde obtenemos:

$$I_{\text{mínima del regulador}} = 1,25 \times I_{\text{cortocircuito del panel}} \times N_{Pmf} \quad (16)$$

$$I_{\text{mínima del regulador}} = 1,25 \times 9,05 \times 7 = 79,19 \text{ A}$$

De acuerdo a la corriente que soportará el regulador, se propone el uso del controlador de la marca Victron Energy (ANEXO 05) con una capacidad de 85 A, obteniendo por lo tanto;

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{I_{\text{mínima del regulador}}}{I_{\text{regulador seleccionado}}} \quad (17)$$

$$N_{\text{reguladores}} = \frac{79,19 \text{ A}}{85 \text{ A}} = 0,9316 \approx 1$$

***Por ende; se utilizarán 01 controlador Victron Energy Blue Solar MPPT 150/85 de 85 A.***

### 5.3.2.3. Banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías se utiliza la ecuación;

$$C_T = \frac{N_D \times E_{elec}}{P_{D \text{ máx}} \times V_T} \quad \dots (18)$$

Donde:

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

$N_D$  : Número de días de autonomía = 2 días

$E_{elect}$  : Energía eléctrica total media diaria (18 100 Wh/día)

$P_{D\ máx}$  : Profundidad máxima de descarga = 0,7

$V_T$  : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico = 48 V

Reemplazando los datos en la ecuación anterior;

$$C_T = (2 \times 18\ 100) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 1\ 077,38\ Ah$$

Para nuestro caso, se seleccionará la batería Ritar de 260 Ah (ANEXO 06) por ser buena marca, reconocida y sirve para dimensionar exactamente las baterías necesarias para el sistema fotovoltaico.

Entonces, el número de baterías que deben conectarse en serie:

$$N_{S\ bat} = \frac{V_T}{V_{batería}} \quad \dots (19)$$

$$N_{S\ bat} = \frac{48\ V}{12\ V} = 4$$

Y las baterías en paralelo, que se necesitan para el sistema, es;

$$N_{P\ bat} = \frac{C_T}{C_{batería}} \quad \dots (20)$$

$$N_{P\ bat} = \frac{1\ 077,38\ Ah}{260\ Ah}$$

$$N_{P\ bat} = 4,14 \approx 5$$

Por lo tanto, el número total de baterías es de 20 unidades.



Figura N° 21: Batería RITAR de 260 Ah.

Tabla N° 20: Capacidad VS costo de las baterías

Marca	Capacidad (Ah)	Costo de la batería (S/.)	Tensión de batería (V)	Total de baterías	Costo Total (S/.)	Capacidad Total (Ah)
RITAR	200	1 393,06	12	24	33 433,44	1 200
RITAR	260	1 590,00	12	20	31 800,00	1 300
ROLLS	503	3 469,09	12	12	41 629,08	1 509

**De acuerdo al análisis, entonces se usarán 20 baterías RITAR de 260 Ah.**

#### 5.3.2.4. Inversor

Ahora, se calculará con la potencia instalada, con la suposición de que la Máxima Demanda es igual a la Potencia Instalada, esta es de 5,976 kW. Entonces, con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{entrada al inversor}} = \frac{P_{\text{carga}}}{\eta_{\text{inversor}}} \quad \dots (21)$$

$$P_{\text{entrada al inversor}} = \frac{5,976 \text{ kW}}{0,94} = 6,357 \text{ kW}$$

El número de inversores es entonces:

$$N_{\text{inversores}} = \frac{P_{\text{entrada al inversor}}}{P_{\text{inversor}}} \quad \dots (22)$$

$$N_{\text{inversores}} = \frac{6,357 \text{ kW}}{8 \text{ kW}} = 0,7946 \approx 1$$



Por lo que se trabajará con un inversor de la marca Must Solar de 8 kW, modelo PV35-8K (ANEXO 07).



Figura N° 22: Inversor Must Solar de 8 kW de potencia

#### 5.3.2.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Utilizamos las ecuaciones a continuación, para poder seleccionar los conductores eléctricos tal como se muestra de la siguiente manera:

- Para el tramo generador fotovoltaico – controlador, la corriente se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times I_{cortocircuito\ del\ panel} \times N_{rparalelo} \times regulador \quad \dots (23)$$

$$I_{MAX\ mf} = 1,25 \times 9,05 \times 7 = 79,1875 \text{ A}$$

Calculamos la sección mínima del conductor a utilizar, considerando  $\Delta V \leq 3\%$ ;

$$S_{cable} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \quad \dots (24)$$

$$S_{cable} = \frac{2 \times 9 \times 79,1875}{56 \times 0.03 \times 48}$$

$$S_{cable} = 17,676 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 21, escogemos el conductor unipolar N2XOH de  $25 \text{ mm}^2$ .

Tabla N° 21: Características eléctricas del conductor unipolar N2XOH

FREETOX N2XOH 0,6/1 kV FB Unipolar			
<p><b>Contacto</b>  Ventas Local  ventas.peru@nexans.com  exportaciones.peru@nexans.com</p>			
DATOS ELÉCTRICOS			
Sección [mm²]	Amperaje enterrado 20°C [A]	Amperaje aire 30°C [A]	Amperaje ducto a 20°C [A]
2,5	50	40	38
4	65	55	55
6	85	65	68
10	115	90	95
16	155	125	125
25	200	160	160
35	240	200	195
50	280	240	230
70	345	305	275
95	415	375	330
120	470	435	380
150	520	510	410
185	590	575	450
240	690	690	525

- Para el tramo del conductor del regulador – inversor,  $\Delta V \leq 1\%$

$$I_{MAX inv} = \frac{1,25 \times P_{carga}}{V_{MIN Tacu} \times \eta_{inv}} \quad \dots (25)$$

Donde:

$I_{MAX inv}$  : Corriente máxima en la línea regulador – inversor (A).

$P_{carga}$  : Potencia de la carga en servicio continuo (W).

$V_{MIN Tacu}$  : El menor valor de tensión de las baterías con el que puede funcionar el inversor (V).

$\eta_{inv}$  : Rendimiento del inversor a plena potencia (0,94).

Reemplazando los datos:

$$I_{MAX inv} = \frac{1,25 \times 5\,976 \text{ W}}{48 \text{ V} \times 0,94}$$

$$I_{MAX inv} = 165,56 A$$

La sección mínima del conductor es, utilizando la ecuación (24):

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

$$S_{cable} = \frac{2 \times 5 \times 165,56 A}{56 \times 0,01 \times 48 V} = 61,59 mm^2$$

Entonces, seleccionamos el conductor unipolar N2XOH de 7 mm<sup>2</sup> (ANEXO 08).

- Para el tramo batería – regulador, el conductor será de:

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

$$S_{cable} = \frac{2 \times 4 \times 165,56 A}{56 \times 0,01 \times 48 V} = 49,27 mm^2$$

Por lo tanto, se seleccionará el conductor unipolar N2XOH de 50 mm<sup>2</sup>.

### 5.3.2.6. Ángulo óptimo de inclinación

El ángulo óptimo de inclinación en una superficie fija, se determina con la ecuación siguiente, sabiendo que la latitud es de - 6.51175852800, se obtiene:

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

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,3585633|)$$

$$\beta_{opt} = 8,087^\circ$$

Pero, con la finalidad de evitar la acumulación de polvo y humedad, se considera un ángulo óptimo de 15°.

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

Según la norma DGE “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”, se seguirá la metodología para el correcto dimensionamiento del sistema de distribución.

#### 5.3.3.1. Cálculo de caída de tensión

Para poder hallar la caída de tensión , se usará la fórmula siguiente:

$$\Delta V = K \times L \times I \times 10^{-3} \quad \dots (27)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito (A).

L = Longitud del tramo (m).

K = Factor de caída de tensión.

#### Por capacidad de corriente:

Aquí tenderemos que comprobar que el conductor eléctrico propuesto puede soportar la corriente eléctrica que demanda la carga, para ello utilizaremos la siguiente expresión:

$$I_{MAX \text{ carga}} = \frac{8000}{220 \times 0.9} \quad \dots (28)$$

$$I_{MAX \text{ carga}} = 40,40 \text{ A}$$

Comparando con la capacidad de corriente del conductor propuesto es de 64 A (Tabla N° 25), por lo tanto:

$$40,40 \text{ A} < 64 \text{ A} \quad \text{ok}$$

#### Por caída de tensión:

Del plano de la red secundaria observamos que tenemos 01 circuito debemos de comprobar que con el conductor eléctrico propuesto

2x25/25, 2x35/25, 2x25+1x16/25 y 2x35+1x16/25, no exceda la caída de tensión máxima, los resultados se muestran en el ANEXO 09.

### 5.3.3.2. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 22: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno

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

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

### 5.3.4. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes

#### 5.3.4.1. Hipótesis de estado

Para los cálculos mecánicos del conductor la hipótesis de estado se define sobre la base de los factores meteorológicos.

La temporada calurosa dura 2,8 meses, del 17 de enero al 10 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 33 °C. El día más caluroso del año, es por lo general, en el mes de febrero, con una temperatura máxima promedio de 34 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C. Consideraremos 50 ° C como la temperatura máxima.

La temporada fresca dura 5,0 meses; del 11 de junio al 10 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 29 °C. El día más frío del año, es por lo general, en el mes de septiembre,

con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima promedio de 28 °C.

Consideraremos 5 °C como la temperatura mínima.

La temperatura promedio anual es de:

Tabla N° 23: hipótesis 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 18° C Velocidad de viento: Nula
<b>HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima</b>	Temperatura: 50 °C Velocidad de viento: Nula

#### 5.3.4.2. Cálculo de cambio de estado

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

$$\sigma_F^2 \left[ \sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \dots (29)$$

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)

### La carga Unitaria Resultante del Conductor.

$$W_r = \sqrt{W_c^2 + W_v^2} \dots (30) \quad \text{Dónde:} \quad W_v = \frac{d * P_v}{1000} \dots (31)$$

Pv: Presión del viento (kg/m<sup>2</sup>)

d: Diámetro del conductor (mm)

Wc: Peso propio del conductor (kg/m)

### Flecha del Conductor.

$$f = \frac{W_r * L^2}{8A\sigma} \dots (32)$$

Wr: Peso resultante del conductor (kg/m).

L: Vano (m).

A: Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).

$\sigma^2$ : Esfuerzo en la hipótesis considerada (kg/mm<sup>2</sup>).

**Vano Básico:** El tensado de conductores; comprendidos entre dos estructuras de anclaje debe tener el mismo esfuerzo a lo largo de todo el tendido de la línea. Analíticamente se demuestra:

$$V_{basico} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n a_i}} \dots (33)$$

Entra las estructuras A12 y A14 tenemos un tramo entre dos estructuras de anclaje con vanos de 79,29 m y 79,59 m debido a esta situación consideraremos un vano básico de 80 m.

Tabla N° 24: Tabla de cálculos mecánicos

Vano (m)	70	75	80	85	90
<b>HIP. I</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	9,28	9,43	<b>9,58</b>	9,72	9,85
$f$ (m)	1,04	1,18	<b>1,32</b>	1,47	1,62
<b>HIP. II</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	5,44	5,44	<b>5,44</b>	5,44	5,44
$f$ (m)	0,72	0,83	<b>0,94</b>	1,06	1,19
<b>HIP. III</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	3,45	3,55	<b>3,64</b>	3,73	3,82
$f$ (m)	1,14	1,27	<b>1,40</b>	1,55	1,70

De la tabla 24, el esfuerzo máximo es de 9,58 kg/mm<sup>2</sup>, para un vano de 80 m el cual es inferior a 7,60 kg/mm<sup>2</sup>)

Por lo tanto, los conductores eléctricos propuestos cumplen con los requerimientos mecánicos y eléctricos.

Con relación a los soportes para redes secundarias utilizaremos la norma: especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes primarias para electrificación rural.

Tabla N° 25: Características de los cables autoportantes

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

**En cuanto a los soportes para el conductor aéreo**, se utilizarán los soportes normalizados que se detallan en la norma D.G.E. rd 023-2003-EM. (Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias en electrificación rural).



## 5.4. Presupuesto del sistema eólico solar

### 5.4.1. Suministro de materiales para el sistema eólico solar

Tabla N° 26: Suministro de materiales y equipos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3kW, incluido controlador eólico	1 und	S/. 26 056,00	S/. 26 056,00
Torre de 15 m, más extensión de 3 m, incluyendo accesorios	1 und	S/. 11 239,59	S/. 11 239,59
Paneles solares JINKO de 320 Wp	14 und	S/. 700,00	S/. 9 800,00
Batería Ritar de 260 Ah	20 und	S/. 1 590,00	S/. 31 800,00
Inversor Must Solar de 8 kW	1 und	S/. 8 275,68	S/. 8 275,68
Estructura para 06 paneles solares	3 und	S/. 785,63	S/. 2 356,89
Controlador Victron Energy BlueSolar MPPT 150/85	1 und	S/. 2 946,15	S/. 2 946,15
Accesorios	1 glb	S/. 900,00	S/. 900,00
<b>Costo Total del Suministro</b>			<b>S/. 93 374,31</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.2. Costo directo para el sistema eólico solar

Tabla N° 27: Costo Directo del Sistema

Resumen general del sistema híbrido eólico solar en el caserío Víctor Raúl		
Ítem	Descripción	Total
1	Suministro de Materiales	S/. 93 374,31
2	Montaje Electromecánico	S/. 7 469,94
3	Transporte de Materiales	S/. 9 337,43
<b>Costo Total (S/.)</b>		<b>S/. 110 181,68</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2.1. Costo total de la Red Secundaria

Tabla N° 28: Costo de la red Secundaria

Resumen general del sistema híbrido eólico solar en el caserío Víctor Raúl – Redes Secundarias		
Ítem	Descripción	Total
1	Suministro RS	S/. 49 497,78
2	Montaje Electromecánico RS	S/. 28 499,33
3	Transporte de Materiales RS	S/. 4 949,78
<b>Costo Total (S/.)</b>		<b>S/. 82 946,89</b>

### 5.4.3. Costo Total

Tabla N° 29: Costo Total del Proyecto

<b>Resumen general sistema hibrido eólico-solar en el caserío Víctor Raúl</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
<b>A</b>	<b>Sistema hibrido eólico solar</b>	S/. 110 181,68
<b>B</b>	<b>Red Secundaria</b>	S/. 82 946,89
<b>C</b>	<b>Sub total</b>	S/. 193 128,57
<b>D</b>	<b>Gastos generales (10%)</b>	S/. 19 312,86
<b>E</b>	<b>Utilidades (5%)</b>	S/. 9 656,43
<b>F</b>	<b>Gasto Total</b>	S/. 222 097,86
<b>G</b>	<b>IGV (18%)</b>	S/. 39 977,61
<b>H</b>	<b>Capacitación de pobladores</b>	S/. 2 000,00
<b>I</b>	<b>Costo total del proyecto (incluido IGV)</b>	<b>S/. 264 075,47</b>

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- a) Se determinó que la demanda actual es de 4,08 kW y la energía promedio diaria actual es de 12,48 kWh/día, en tanto que la máxima demanda proyectada para un horizonte de 20 años en el caserío Víctor Raúl es de 5,976 kW. Para 43 viviendas proyectadas, la energía promedio proyectada será de 18,100 kWh/día.
- b) La radiación solar obtenida para el sistema híbrido eólico solar será de 4,72 kWh/m<sup>2</sup>/día, dato que se usará para su dimensionamiento.
- c) La velocidad del viento promedio es de 4,20 m/s; dato que nos ayudo a seleccionar el aerogenerador.
- d) El sistema híbrido eólico solar estará conformado por: 01 aerogenerador ENAIR E30 PRO de 3 kW, 14 paneles fotovoltaicos JINKO de 320 Wp, 20 baterías Ritar de 260 Ah, 01 controlador de carga Victron Energy BlueSolar MPPT 150/85 de 85 A y 01 inversor Must Solar PV35-8K de 8 kW.
- e) El costo referencial del sistema híbrido eólico solar junto con la red de distribución secundaria más económico es de: S/. 264 075,47. Esto se evaluó considerando precios actuales de diferentes marcas, equipos y materiales.

## **6.2. Recomendaciones**

- a) Se recomienda realizar anualmente un análisis de los equipos del sistema de generación híbrida eólica - solar, para garantizar su correcto funcionamiento.
- b) Para futuros proyectos de investigación, que tomen como referencia esta investigación, se recomienda que la data de la velocidad del viento sea la más actualizada posible y siempre sea de una estación meteorológica automática, como se realizó en este proyecto de investigación.
- c) Revisar semanalmente los paneles solares para evitar que se acumule tierra, polvo o cualquier objeto que pueda afectar a su funcionamiento.
- d) Realizar los trabajos de limpieza y verificación de los equipos solo por personal autorizado y capacitado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo Garces, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogota.
2. Bravo Damián, V. Y., y Gamarra Vilchez, D. J. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los laboratorios de Ingeniería Electrónica en la Universidad Nacional Pedro Ruiz*. Lambayeque.
3. Canales Ciudad, C. (2012). *Guía solar fotovoltaica 2012*.
4. CER UNI - Centro de Energías Renovables. (2005). *Diagnóstico de las Instalaciones Fotovoltáicas y Elaboración de Propuesta Normativa*. Lima: OSINERG.
5. Chercca Ramírez, J. A. (2014). *Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO2 en el poblado rural la Gramita de Casma*. Lima.
6. DGE-MINEM. (2009). *Ley de concesiones eléctricas y su reglamento*.
7. Energía Innovadora. (2017). *Cotización del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
8. Hidalgo Guerrero, J. L., y Rodrigo Sebastian, T. A. (2016). "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.
9. Hualpa Huamaní, M. T. (2011). *Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico-solar en el Departamento de Moquegua*. Lima.
10. Indeco. (s.f.). *Catálogo de cables NYY -DUPLEX*.
11. Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía*. Lambayeque.
12. MEM. (020-97-EM). *Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos*.
13. MINEM. (2016). *Atlas eólico del Perú*. Lima.
14. MINEM, D. (2011). *Código Nacional de Electricidad Suministro*.

15. Ministerio de Energía y Minas. (2016). *SBCC-05/PROSEMER-MINEM Estudio*. Lima.
16. Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Lima.
17. Orellana Lalangui, A. G., y Sarango Chamba, J. F. (2015). *Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, Sector El Plateado servido por empresa eléctrica Regional del Sur*. Cuenca.
18. Ramirez de Alda Vilches, A. (2014). *Sistema aislados para electrificación rural en zonas subsaharianas de Argelia*. Pamplona.
19. RD031-2003-EM. (2003). *Bases para el Diseño de Líneas y redes Secundarias con Conductor Autoportante para Electrificación Rural*. LIOMA.
20. SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.
21. Taboada Sandoval, L. M. (2019). *Diseño de un sistema de generación híbrido eólico solar para la electrificación rural al caserío San Pablo del distrito de Pacora provincia y departamento de Lambayeque*. Lambayeque.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°01 - DATA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA FIME**

**ANEXO N°02 - VELOCIDAD DEL VIENTO A 18 metros DE ALTURA**

**ANEXO N°03 - FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR ENAIR E30 PRO de 3,0 kW**

**ANEXO N°04 - FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR JINKO DE 320 Wp**

**ANEXO N°05 - FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR VICTRON ENERGY BLUESOLAR MPPT 150/85**

**ANEXO N°06 - FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA RITAR DE 260 Ah**

**ANEXO N°07 - FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR MUST SOLAR DE 8,0 kW**

**ANEXO N°08 - FICHA TÉCNICA DE CABLES N2XOH**

**ANEXO N° 09 - CAIDA DE TENSION**

**ANEXO N° 10 - SISTEMA HÍBRIDO SOLAR – EÓLICO**

**ANEXO N° 11 - RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA**

**ANEXO N° 12 - PLANO DE CAIDA DE TENSION**