



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-
FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO LA
UNIÓN EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. YIMI ALEXANDER ZEÑA INOÑAN

Asesor:

Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO

LAMBAYEQUE – PERÚ

Diciembre del 2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-
FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO LA
UNIÓN EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. YIMI ALEXANDER ZEÑA INOÑAN

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE:

SECRETARIO:.....

MIEMBRO:.....

ASESOR:.....

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

**“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA
ELECTRIFICAR EL CASERÍO LA UNIÓN EN EL DISTRITO DE JAYANCA-
LAMBAYEQUE”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

AUTOR: Bach. YIMI ALEXANDER ZEÑA INOÑAN

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

Diciembre del 2018

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con inmenso cariño y amor a mis padres:

José Ander Zeña Acosta

Marina Inoñan Valdera

Mi esposa:

Yanira Lisbeth Vílchez Rubio

De igual forma a mis hermanos:

Julio Cesar Zeña Inoñan

Ander Zeña Inoñan

María magdalena Zeña Inoñan

Johnny Zeña Inoñan

Marina Zeña Inoñan

Yakeliny Estefany Zeña Inoñan

Bach: Yimi Alexander Zeña Inoñan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que de alguna forma aportaron con un granito de arena, para la realización de este examen de suficiencia profesional, en especial a mi familia por el empuje y aliento en la elaboración del proyecto.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por darme la oportunidad de alcanzar un objetivo más en mi vida, agradezco a todos los docentes con mucha estima y aprecio quienes impartieron sus conocimientos y experiencias para alcanzar un mejor porvenir. En especial al Ing. Julca Orosco Teobaldo quien, con sus conocimientos, concejos e impulsar el desarrollo de este examen de suficiencia profesional desde sus inicios.

Bach: Yimi Alexander Zeña Inoñan

RESUMEN

El objetivo general de la tesis fue el dimensionar un sistema eólico-fotovoltaico con la finalidad de electrificar el caserío La Unión ubicado en Jayanca perteneciente al departamento de Lambayeque.

El tipo de investigación fue aplicada, descriptiva, de datos primarios. Se determinó que la energía promedio diaria requerida por el caserío La Unión es de 13,995 kWh, con una máxima demanda de 3,64 kW. Además los datos de radiación solar según el SENAMHI se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m²/día y según el software SOLARIUS PLUS 4,72 kWh/m²/día. Para el dimensionamiento se ha considerado 4,72 kWh/m²/día. Con respecto de la velocidad del viento se ha obtenido los valores de la estación meteorológica convencional de Jayanca y se determinó que uno de los meses críticos es mayo y con ello se consultó los datos de estación meteorológica de la FIME, donde se obtuvo los datos para ese mes y en intervalos de media hora, se dimensionó el sistema eólico-fotovoltaico el cual está compuesto por 01 aerogenerador E30 PRO, 14 paneles fotovoltaicos SIMAX de 190 Wp, 08 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 regulador de carga 150/60 y 01 inversor 48/5000-230 V. Se dimensionó la red de distribución secundaria para transportar la energía eléctrica desde el sistema eólico - fotovoltaico a cada una de las viviendas.

El Costo referencial para el sistema eólico-fotovoltaico es de S/. 202 133,77

Palabras clave: radiación solar, aerogenerador, modulo fotovoltaico, controlador

ABSTRACT

The general objective of the thesis was to design a wind-photovoltaic system with the purpose of electrifying the La Unión farmhouse located in Jayanca, belonging to the department of Lambayeque.

The type of research was applied, descriptive, of primary data. It was determined that the average daily energy required by the La Union farm is 13,955 kWh, with a maximum demand of 3,64 kW. In addition, the solar radiation data according to the SENAMHI has obtained a value of 4,75 kWh / m² / day and according to the SOLARIUS PLUS software 4,72 kWh / m² / day. For the dimensioning of has considered 4,72 kWh / m² / day. Regarding the wind speed, the values of the conventional meteorological station of Jayanca have been obtained and it was determined that one of the critical months is May and with this, the data from the FIME meteorological station was consulted, where data was obtained for that month and in intervals of half an hour, the wind-photovoltaic system was dimensioned which is composed of 01 E30 PRO wind turbine, 14 SIMAX photovoltaic panels of 190 Wp, 08 ROLLS batteries of 503 Ah, 01 charge regulator 150/60 and 01 inverter 48 / 5000-230 V. The secondary distribution network was dimensioned to transport the electrical energy from the wind-photovoltaic system to each of the homes.

The referential cost for the wind-photovoltaic system is S /.202 133,77

Keywords: solar radiation, wind turbine, photovoltaic module, controller

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problema de investigación	2
1.2. Realidad Problemática	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.4. Delimitación de la Investigación	4
1.4.1. Delimitación espacial	4
1.4.2. Delimitación temporal.....	8
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación.....	9
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	9
1.7. Objetivos	10
1.7.1. Objetivo General	10
1.7.2. Objetivo Específicos	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de Estudios.....	11
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	19
2.2.1. Energías renovables	19
2.2.2. Sistema eólico fotovoltaico	34
2.2.3. Partes de un sistema eólico fotovoltaico	37
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	61
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	67
3.1. Tipo y diseño de investigación	67
3.2. Población y muestra.....	68

3.3. Hipótesis.....	69
3.4. Variables - Operacionalización	69
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	71
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	72
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	72
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	74
4.1. Propuesta de la investigación	74
4.1.1. Equipamiento de la propuesta	74
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	76
5.1. Población actual y proyección para el caserío La Unión en Jayanca.....	76
5.2. Calculo de la energía promedio diaria	78
5.2.1. Alumbrado de vías publicas	78
5.3. Evaluación de la energía solar disponible	80
5.4. Evaluación de la energía eólica	83
5.5. Dimensionamiento del sistema solar eólico	87
5.5.1. Dimensionamiento del sistema eólico	87
5.5.2. Generador fotovoltaico	89
5.6. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V.....	97
5.6.1. Cálculos eléctricos	98
5.6.2. Presupuesto referencial del sistema eólico - fotovoltaico.....	103
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	109
6.1. Conclusiones.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Componentes de la radiación solar	27
Tabla N° 2: valores del exponente de Hellman	34
Tabla N° 3: Operacionalización de variables	70
Tabla N° 4: Técnicas e instrumentos	72
Tabla N° 5: Tasa de crecimiento poblacional	76
Tabla N° 6: Tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque.....	77
Tabla N° 7: Energía promedia diaria en el Caserío La Unión- Jayanca.....	78
Tabla N° 8: Radiación solar en el departamento de Lambayeque con el software Solarius Plus	82
Tabla N° 9: Distribución de frecuencias y distribución acumulada de las velocidades de viento	84
Tabla N° 10: Valores para graficar y elaborar el reajuste lineal.....	85
Tabla N° 11: Probabilidad de horas de velocidad del viento en el periodo de tiempo de los datos	87
Tabla N° 12: Curva de potencia del aerogenerador AIR 50 3000 de 3 kW.....	88
Tabla N° 13: Energía suministrada por el sistema eólico fotovoltaico	90
Tabla N° 14: Tabla de caída de tensión máximas	94
Tabla N° 15: Conductores eléctricos en los diferentes tramos	95
Tabla N° 16: Características eléctricas de los conductores NYY	96
Tabla N° 17: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno.....	99
Tabla N° 18: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA.....	100
Tabla N° 19: Características De Los Postes De Concreto Armado	101
Tabla N° 20: Características de los cables autoportantes	102
Tabla N° 21: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema eólico-fotovoltaico.....	103
Tabla N° 22: costo directo del sistema eólico fotovoltaico	104
Tabla N° 23: presupuesto de La red secundaria- suministro	105
Tabla N° 24: Montaje de la red secundaria.....	106
Tabla N° 25: Costo directo de la red de distribución secundaria	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de La Unión en Jayanca.....	5
Figura N° 2: Temperatura en Jayanca.....	6
Figura N° 3: Precipitación en Jayanca.....	7
Figura N° 4: Velocidad del viento en Jayanca.....	8
Figura N° 5: Energía eólica.....	20
Figura N° 6: Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.....	22
Figura N° 7: Energía por biomasa	23
Figura N° 8: Energía geotérmica	24
Figura N° 9: Energía mareomotriz.....	25
Figura N° 10: Energía mini hidráulica	27
Figura N° 11: Ley de Betz.....	32
Figura N° 12: Sistema eólico de generación.....	35
Figura N° 13: Sistema fotovoltaico	36
Figura N° 14: Sistema eólico.....	38
Figura N° 15: Esquema de un sistema fotovoltaico.....	39
Figura N° 16: Panel solar Monocristalino	41
Figura N° 17: Panel solar Policristalino.....	41
Figura N° 18: Célula solar de forma esférica.....	46
Figura N° 19: Células solares plásticas	48
Figura N° 20: Baterías de uso fotovoltaico.....	52
Figura N° 21: Controladores para sistemas fotovoltaicos.....	59
Figura N° 22: Curva típica de eficiencia del inversor.....	60
Figura N° 23: Inversores para sistemas fotovoltaicos	61
Figura N° 24: Radiación solar en el departamento de Lambayeque	81
Figura N° 25: Velocidad promedio del viento según la estación meteorológica Jayanca (m/s).....	83
Figura N° 26: Distribución de frecuencia acumulada	84
Figura N° 27: Curva de Reajuste.....	86
Figura N° 28: Aerogenerador E30 PRO	88
Figura N° 30: Inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	93
Figura N° 31: sistema eólico - fotovoltaico	97

INTRODUCCIÓN

El presente examen suficiencia profesional titulado: **“DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO LA UNIÓN EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE”**

es una propuesta que permite electrificar el caserío La Unión debido a la problemática que presenta, y a las consecuencias que trae consigo la ausencia de energía eléctrica.

En el Capítulo I, se presenta la realidad problemática existente en el caserío La Unión en cuanto a la carencia de energía eléctrica utilizando el método de la observación. Luego se enuncia la formulación del Problema, para luego justificar el trabajo de investigación realizado 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 Teórico, 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 de bombeo fotovoltaico utilizando energía solar fotovoltaica.

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

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

A nivel mundial¹

Mil millones de personas no tienen acceso a la electricidad, lo que supone el 13 por ciento de la población mundial. **Tres mil millones, el 40 por ciento de los habitantes del planeta, siguen cocinando con combustibles contaminantes** (carbón o madera). Tan solo el 17,5 por ciento de toda la energía que se consume en el mundo es de origen renovable... Son algunas de las conclusiones del **estudio elaborado por la Agencia Internacional de la Energía** (AIE), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD), el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Compatibilizar el acceso mundial a la electricidad y, a la vez, que se genere con fuentes limpias. Es lo que el mundo fijó en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que fijan una serie de metas para 2030. Estas cinco agencias internacionales han elaborado un amplio análisis de los avances del objetivo número siete, el que hace referencia a la energía

A nivel Nacional²

Osinerghmin: El 6% de la población no cuenta con electricidad Así lo señaló Daniel Schmerler, presidente de Osinerghmin, en el marco del vigésimo

¹ <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/13-por-ciento-de-la-poblacion-mundial-no-tiene-electricidad-212608>

² <https://elcomercio.pe/economia/osinerghmin-6-poblacion-cuenta-electricidad-noticia-493422>

aniversario de la institución. El ejecutivo estimó que la brecha de cobertura energética se podría reducir al 2022

1.2. Realidad Problemática

El caserío La Unión se encuentra ubicado en el Jayanca, departamento de Lambayeque.

La población no cuenta con el servicio de energía eléctrica, el habitante de este centro poblado ha perdido las esperanzas de contar con energía eléctrica, siempre han utilizado como fuente de iluminación las velas, mecheros, y usos esporádicos de pequeños grupos electrógenos en algunas viviendas.

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).

Con la finalidad de reducir el consumo de electricidad proveniente de centrales que queman combustibles fósiles, se propone utilizar la energía eólica y solar fotovoltaica para generar energía eléctrica y lograr electrificar el caserío La Unión.

1.3. Formulación del Problema

¿Con el dimensionamiento de un sistema eólico – fotovoltaico lograremos electrificar al caserío La Unión ubicado en el Distrito de Jayanca en el departamento de Lambayeque?

1.4. Delimitación de la Investigación

1.4.1. Delimitación espacial

El caserío La Unión se encuentra ubicado en el Distrito de Jayanca

El distrito de **Jayanca** es un distrito de la provincia peruana de Lambayeque, ubicada en el departamento homónimo. Desde el punto de vista jerárquico de la Iglesia católica, forma parte de la Diócesis de Chiclayo.(ver Figura N° 1)

LIMITES

El Distrito de Jayanca en la actualidad limita:

Por el Norte con el Distrito de Salas

Por el Este con la Provincia de Ferreñafe

Por el Sur con el Distrito de Pacora y la Provincia de Ferreñafe

Por el Oeste con el Distrito de Olmos

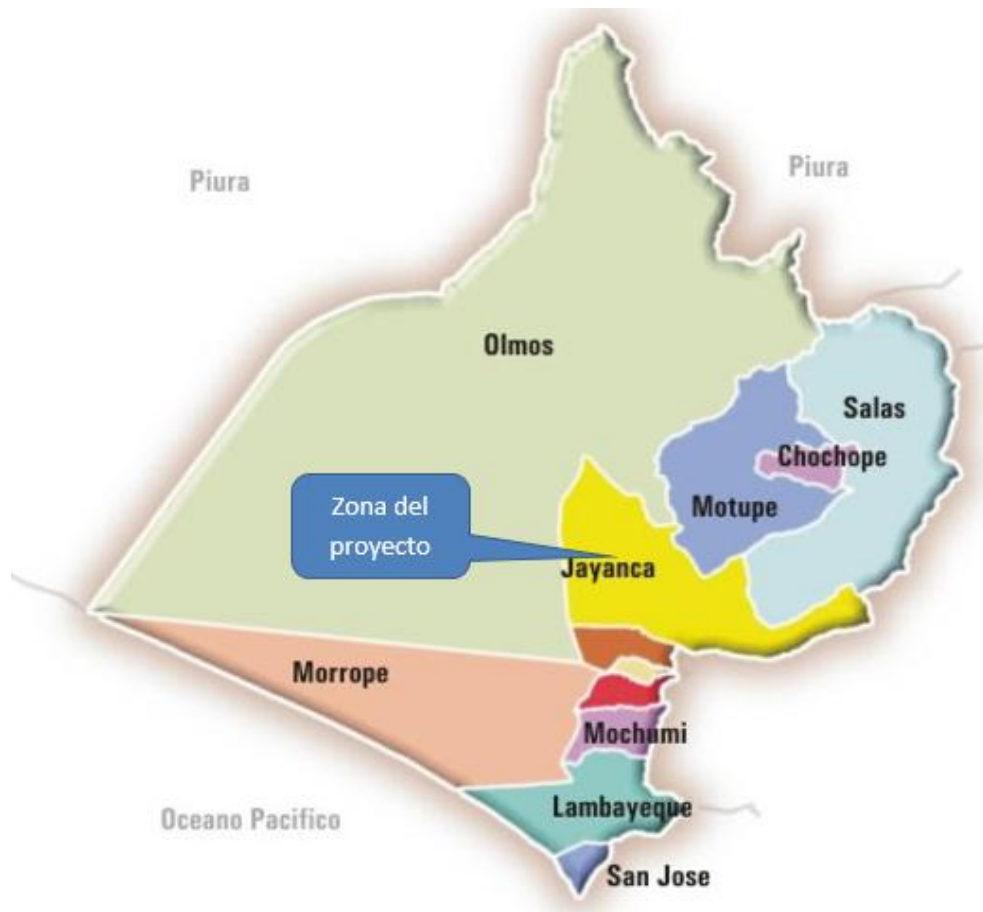


Figura N° 1: Ubicación de La Unión en Jayanca³

Temperatura⁴

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 el 28 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

³ https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa_pol%C3%ADtico_de_la_Provincia_de_Lambayeque.jpg

⁴ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

frío del año es el 17 de septiembre, con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima promedio de 28 °C.

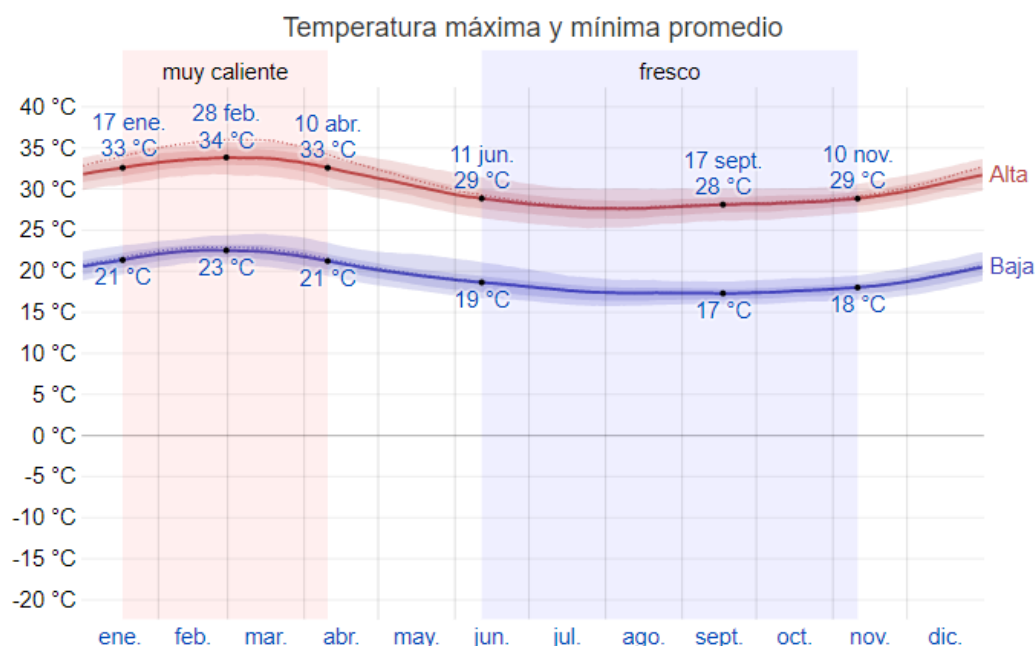


Figura N° 2: Temperatura en Jayanca⁵

Lluvia⁶

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

La temporada de *lluvia dura 2,1 meses*, del 27 de enero al 29 de marzo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La *mayoría de la lluvia* cae durante los 31 días centrados alrededor del 19 de febrero, con una acumulación total promedio de 18 milímetros.

⁵ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

⁶ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

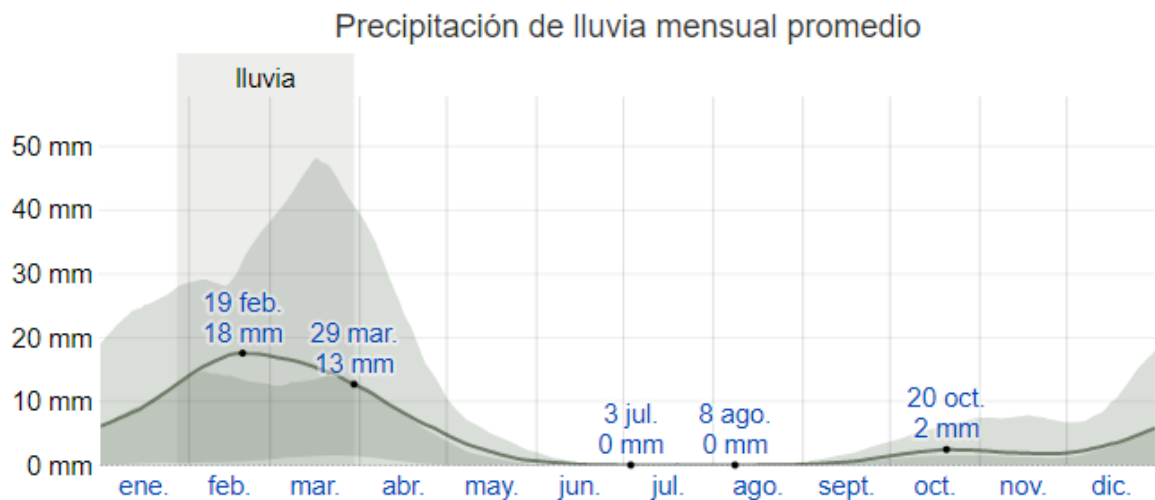


Figura N° 3: Precipitación en Jayanca⁷

Viento⁸

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*

⁷ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

⁸ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

hora. El día *más ventoso* del año es el 25 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 es el 16 de marzo, con una velocidad promedio del viento de 10,6 kilómetros por hora.

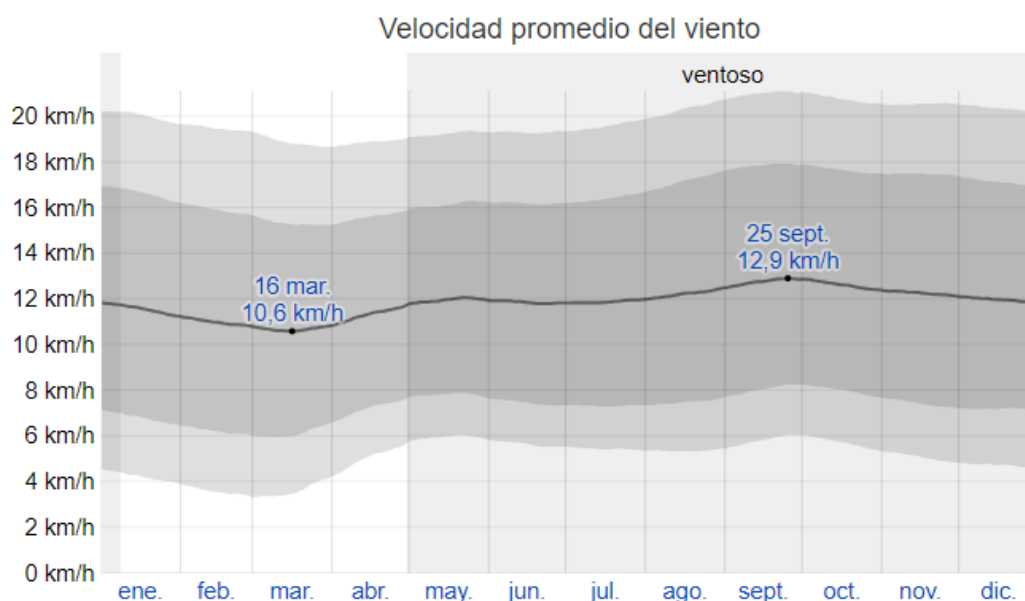


Figura N° 4: Velocidad del viento en Jayanca⁹

1.4.2. Delimitación temporal

Este examen de suficiencia tuvo una duración de 04 meses, en la cual participaron los pobladores del caserío La Unión en el distrito de Jayanca.

⁹ <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

La integración de un sistema eólico - fotovoltaico para el caserío La Unión es de mucha importancia pues permite el suministro de energía eléctrica a todas las viviendas mejorando así la calidad de vida.

Justificación ambiental

Con el desarrollo y aplicación de este trabajo de investigación se disminuirá daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene del petróleo y por ello hace que sea amigable con el medio ambiente.

justificación Social

El trabajo de investigación tiene como beneficio la mejor calidad de vida de los pobladores de la localidad.

justificación Científico

Este examen de suficiencia promueve el uso de las energías no convencionales. Además, que servirá como antecedente para otras investigaciones relacionadas con el tema.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Con respecto a los datos de radiación solar el estudio se ha limitado a los datos obtenidos del atlas solar del SENAMHI del 2003 y el software SOLARIUS PLUS, con respecto de la velocidad del viento se han obtenido datos de la estación meteorológica convencional del SENAMHI en Jayanca y la estación meteorológica FIME.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema eólico-fotovoltaico para electrificar el Caserío La Unión en el distrito de Jayanca- Lambayeque”

1.7.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar demanda de energía eléctrica requerida por las unidades de vivienda del caserío la Unión.
- b) Realizar los cálculos justificativos para determinar las especificaciones técnicas de los equipos que logren suministrar energía eléctrica a las viviendas del caserío La Unión.
- c) Determinar el equipamiento del sistema eólico - fotovoltaico.
- d) Determinar el costo referencial del sistema eólico - fotovoltaico.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Cito a los siguientes autores en cada uno de los contextos siguientes:

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

energía, y así dotar de una red eléctrica constante a una familia del sector¹⁰.

Según **GUERRA (2013)** en su tesis titulada “Estudio de factibilidad técnico/económica de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica para escuelas de Quinchao”, nos expresa que, en localidades de difícil acceso, aisladas de la red eléctrica, es común el uso de generadores en base a motores Diesel para el abastecimiento de electricidad. Si bien esta solución es fácil de implementar, posee características que llevan a considerar otro tipo de soluciones. Las principales falencias de un generador Diesel para el abastecimiento de electricidad son: el alto costo de generación, asociado al costo directo de combustible y costos de mantenimiento del equipo, la disponibilidad de la electricidad y la emisión de contaminantes; en esta tesis se busca solucionar los problemas de generación eléctrica de trece escuelas de la comuna de Quinchao, perteneciente al archipiélago de Chiloé. Actualmente la generación eléctrica en estas escuelas se realiza mediante generadores Diesel, por lo que el concepto de disponibilidad se torna crítico, considerando que una falla en el equipo significa la suspensión de las jornadas escolares. Es por esto que se busca estudiar sistemas de generación eléctrica complementarios al sistema convencional, que funcionen con fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC) solar fotovoltaica y eólica¹¹.

¹⁰ (Herbas Morerira y Moscoso Noroña 2015)

¹¹ Guerra Baeza, Luis David. «Estudio de factibilidad técnico/económica de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica para escuelas de Quinchao.» Santiago De Chile, 2013.

Según **LEDANOIS (2007)** en su tesis GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS ROQUES: SISTEMA EÓLICO-SOLAR-DIESEL nos explica que trabajo consiste en la implantación y puesta en marcha de un sistema de generación en una ubicación remota como lo es el Archipiélago Los Roques y en particular en las instalaciones de la Estación de Biología Marina Dos Mosquises, perteneciente a la Fundación Científica Los Roques. Allí se seleccionaron equipos de control de carga, equipos de protección y se realizaron ciertos ajustes para lograr un buen funcionamiento del sistema de generación eólico-solar-diesel que suple de energía esta Estación de Biología.

Simultáneamente, se planteó un estudio preliminar sobre el potencial solar presente en Gran Roque. Este consistió principalmente en realizar una caracterización de la carga en diversos establecimientos y plantear distintas posibilidades de implementación de un sistema solar fotovoltaico o térmico. Entre estos se pueden mencionar las aplicaciones en caso de particulares y aplicaciones de orden global como la instalación de luminaria pública o la generación centralizada¹².

Así es que **Rodrigo Sebastián Topampa Agilar y Jorge Luis Hidalgo Guerrero** en su tesis “Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014”, este trabajo estuvo encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema híbrido aprovechando los recursos eólicos y

¹² (Ledanois, 2007)

solares de la zona, como es el caso de la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, para la generación de energía eléctrica, el mismo que sirvió de apoyo para trabajos de investigación a futuro. La aplicación de tecnologías limpias renovables, están orientadas a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá que la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país¹³.

Contexto Nacional

HUALPA & HUAMANÍ (2014) en su tesis titulado: “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.

¹³ Toapanta Agular, Rodrigo Sebastian, y Jorge Lius Hidalgo Guerrero. «Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014.» Ecuador, 2016

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 aislamiento¹⁴.

Es así como **SERVÁN (2014)** en su tesis titulada “Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red” donde el objetivo principal del trabajo era desarrollar una metodología que permita realizar un análisis técnico económico de un sistema de generación de baja potencia, que utilice recursos energéticos renovables y que se encuentra conectado a la red eléctrica.

¹⁴ Hualpa Mamani, Maimor Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

Como primer paso nos dice se debe determinar la demanda energética. Para el desarrollo de su tesis, se ha escogido como caso de estudio, un usuario que desea implementar el uso de fuentes energéticas renovables, como medio de abastecimiento energético para su vivienda ubicada en la playa de Cangrejos, perteneciente al distrito de Paita.

Posterior al cálculo de la demanda energética, se realizó un análisis en estado estacionario con la finalidad de evaluar el potencial energético disponible en la zona. Se Utilizó la data meteorológica de radiación solar y velocidad del viento, tomada en el lugar de emplazamiento del proyecto por el radar de la Universidad de Piura, luego se calculó el potencial solar y eólico disponibles y se procede a dimensionar correctamente el sistema para la demanda energética calculada previamente.

Dimensionado el sistema se procedió a seleccionar los componentes principales que lo conforman, se realizan los cálculos para el dimensionamiento del cableado y protecciones eléctricas del sistema, y se selecciona el tipo de estructuras de soporte, así como la ubicación con mejores prestaciones dentro del área de emplazamiento.

Seleccionado todos los componentes de la instalación y el presupuesto inicial requerido, se identificaron los egresos e ingresos anuales del proyecto, con la finalidad de evaluar económicamente la instalación y analizar los factores claves que garanticen la rentabilidad del proyecto¹⁵.

¹⁵ Servan Socola, Jorge. «Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red.» Piura, 2014.

Contexto Local

Según **LLAUCE (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 CO₂, 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 domicilios¹⁶.

Según **MUÑOZ** (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.

¹⁶ Llauce Chozo , Anthony Joel. «Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energías renovables¹⁷

Las **energías renovables** son todas las formas de **energía alternativas a los combustibles fósiles**, que son a saber, capaz de producir electricidad mediante la explotación de fuentes de energía limpia, sostenible y que se renuevan con el tiempo. **Las energías renovables** son aquellas **producidas a partir de fuentes naturales no sujetas a agotamiento**, como el sol, el viento, las olas y las mareas, el poder del agua y el calor de la tierra. Desde aquí toman el nombre de energía solar, energía eólica, energía hidroeléctrica y energía geotérmica.

2.2.1.1. Energía eólica¹⁸

La **energía eólica** es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las turbinas de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. El término «eólico» proviene del latín *aeolicus*, es decir «perteneiente o relativo a Eolo», dios de los vientos en la mitología griega.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, e incluso más barata en muchas regiones que otras

¹⁷ <https://erenovable.com/energias-renovables/>

¹⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

fuentes de energía convencionales. Pequeñas instalaciones eólicas pueden, por ejemplo, proporcionar electricidad en regiones remotas y aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica, al igual que la energía solar fotovoltaica. Las compañías eléctricas distribuidoras adquieren cada vez en mayor medida el excedente de electricidad producido por pequeñas instalaciones eólicas domésticas. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos —a menudo conocidos como parques eólicos *offshore* por su nombre en inglés—, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques eólicos marinos tienen un impacto visual menor, pero sus costos de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores.



Figura N° 5: Energía eólica¹⁹

¹⁹ <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2011/05/31/como-hacer-energia-eolica-casera>

2.2.1.2. Energía solar²⁰

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

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

Se distinguen dos formas de radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar ocasionados por las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que concentración de la luz difusa

²⁰ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

no es posible por provenir de múltiples direcciones. Sin embargo, ambas radiaciones son aprovechables.



Figura N° 6: Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica²¹

2.2.1.3. Biomasa²²

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. Mediante estos procesos, la biomasa almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

²¹ <https://www.bbva.com/es/cuatro-paises-lideran-energia-solar-america-latina/>

²² <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

En el sector agroindustrial, específicamente la industria de la caña de azúcar, se ha establecido la presencia de un gran potencial de generación de electricidad a partir del bagazo de la caña y la cascarilla de arroz.

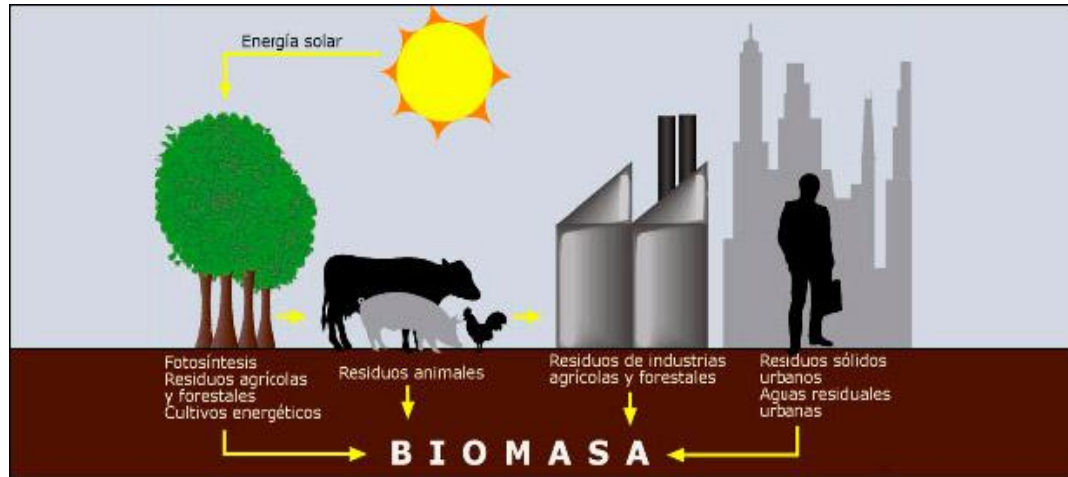


Figura N° 7: Energía por biomasa²³

2.2.1.4. Energía geotérmica²⁴

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El término geotérmica viene del griego geo, "Tierra"; y de thermos, "calor"; literalmente "calor de la Tierra". Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico.

²³ <https://infoguia.com/infotip.asp?t=factores-de-la-energia-biomasa&a=1024>

²⁴ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

Existe gran potencial de esta energía en las cadenas volcánicas del sur del Perú.



Figura N° 8: Energía geotérmica²⁵

2.2.1.5. Energía mareomotriz²⁶

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la

²⁵ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

²⁶ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes durante la fase de explotación. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el costo económico y el impacto ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.

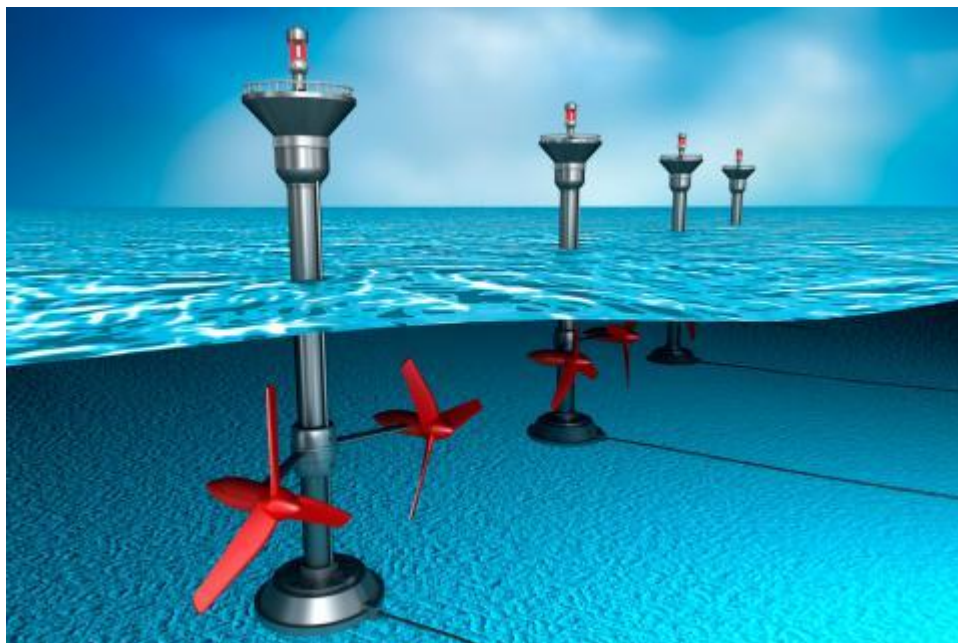


Figura N° 9: Energía mareomotriz²⁷

otras formas de extraer energía del mar son la energía undimotriz, que es la energía producida por el movimiento de las olas; y la energía debida al

²⁷ <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/como-se-obtiene-energia-mareomotriz>

gradiente térmico oceánico, que marca una diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas del océano.

2.2.1.6. Energía mini hidráulica²⁸

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de Energía Renovable No Convencional cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable convencional.

En nuestro país las centrales mini hidráulicas son aquellas que cuentan con una potencia instalada menor a 20 MW. Esta tecnología renovable es la forma más amigable con el medioambiente que se conoce para la producción de electricidad. Se puede transformar a muy diferentes escalas, existiendo desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales.

²⁸ <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>



Figura N° 10: Energía mini hidráulica²⁹

2.2.1.7. Características de los recursos renovables

Características de la radiación solar

Componentes de la radiación solar

La radiación solar que llega a la superficie terrestre consta de tres componentes, los cuales son: La Radiación Directa, la Radiación Difusa y la Radiación Reflejada, según se muestra en la tabla N° 1.

Tabla N° 1: Componentes de la radiación solar³⁰

Directa	Es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
Difusa	Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
Albedo	Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

²⁹ <http://www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis-energia-hidraulica-producida-en-casa.html>

³⁰ (Díaz Corcobado 2008)



Figura N° 1: Componentes de la radiación solar³¹

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico. (ver Figura N° 4).

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura N°5.

³¹ TECSUP. (s.f.). *Generación de energía fotovoltaica.pdf* - TECSUP



Figura N° 2: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el caribe³²

³² Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014

Horas de sol pico (H.S.P.)

Las horas de sol pico son las horas se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 , que sumen la misma irradiación total que la real ese día.

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la siguiente figura N° 6. (Valdiviezo Salas 2014).

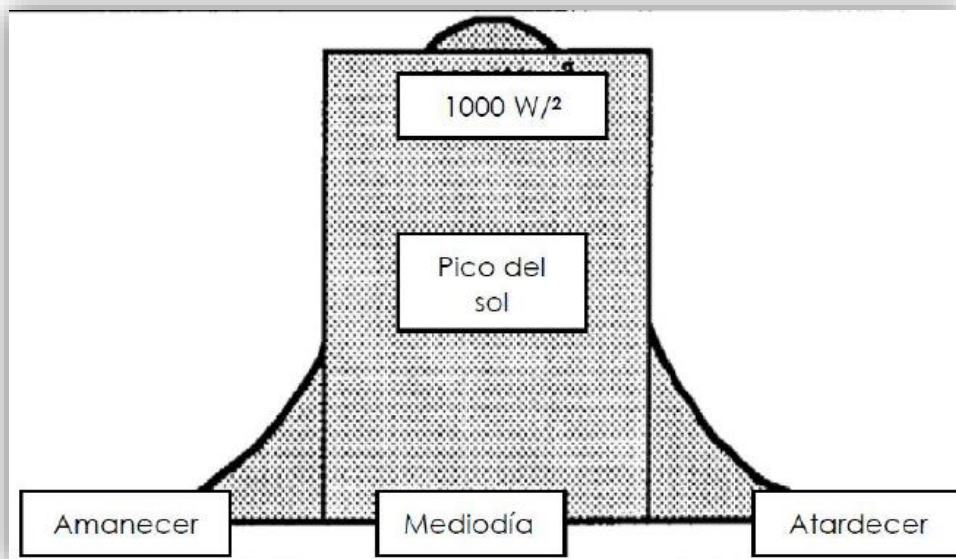


Figura N° 3: Concepto de horas sol pico³³

³³ Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014

Características del viento

Potencia del viento³⁴

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

El potencial eólico se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$Potencial\ eolico = \frac{\rho \pi r^2 V^2}{2} \dots (1)$$

Donde:

ρ = Densidad del aire en el sector (Kg/m³)

A = Área del barrido del rotor (m²)

V = Velocidad media del viento (m/s)

r = Radio de giro de las aspas (m)

La variación de la densidad en el lugar de estudio se determina con la siguiente ecuación:

$$\rho = 1,225 e^{\left[\left(\frac{-Z}{8435}\right) - \left(\frac{T-15}{288}\right)\right]} \dots (2)$$

El valor Z es el valor de la altura en m.s.n.s. (metros sobre el nivel del suelo), y T es la temperatura promedio, estos valores se los obtiene del punto de posicionamiento del proyecto, donde se obtiene.

³⁴ (Fernandez zayas 2010)

Ley de Betz³⁵

Cuanto mayor sea la energía cinética que un aerogenerador extraiga del viento, mayor será la ralentización que sufrirá el viento que deja el aerogenerador por su parte izquierda en el dibujo (si usted se pregunta sobre el tubo de corriente del dibujo, es porque no ha leído la página sobre cómo los aerogeneradores desvían el viento).

Si intentamos extraer toda la energía del viento, el aire saldría con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador. En el otro caso extremo, el viento podría pasar a través de nuestro tubo (arriba) sin ser para nada estorbado. En este caso tampoco habríamos extraído ninguna energía del viento.

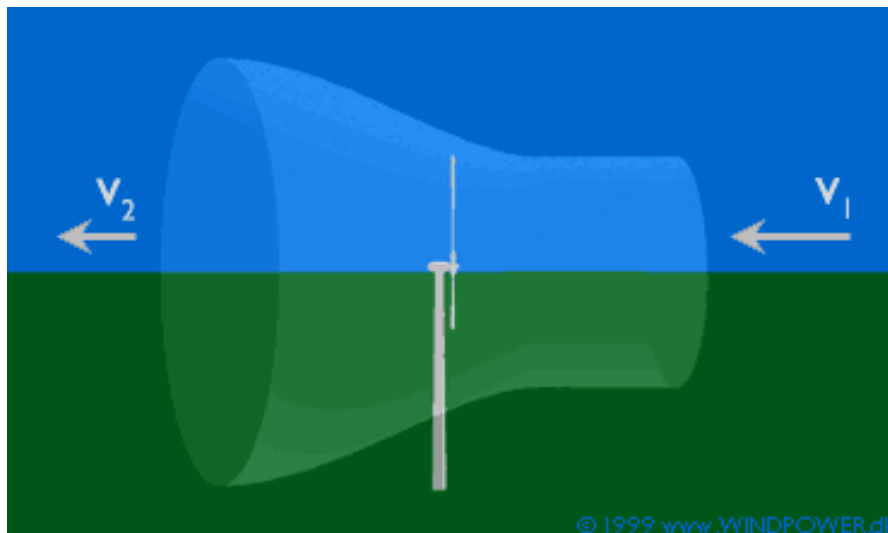


Figura N° 11: Ley de Betz³⁶

³⁵ <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>

³⁶ <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>

Así pues, podemos asumir que debe haber alguna forma de frenar el viento que esté entremedio de estos dos extremos, y que sea más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil. Resulta que hay una respuesta a esto sorprendentemente simple: un aerogenerador ideal ralentizaría el viento hasta 2/3 de su velocidad inicial. Para entender el porqué, tendremos que usar la ley física fundamental para la aerodinámica de los aerogeneradores.

Ley exponencial de Hellmann.

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico, conocida como ley exponencial de Hellmann, de la forma de la ecuación (3):

$$V(h) = V_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \dots (3)$$

Dónde:

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

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

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

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

α = Coeficiente de rugosidad.

Tabla N° 2: valores del exponente de Hellman³⁷

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

Distribución de Weibull

Se caracteriza porque emplea dos parámetros, el parámetro de forma y el parámetro de escala, es el método más usado para estimar la velocidad viento

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left[\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]} \dots \dots (4)$$

Donde:

K: parámetro de forma

C: Parámetro de escala

2.2.2. Sistema eólico fotovoltaico

El sistema híbrido consta de dos sistemas independientes de generación, en este caso está compuesto de una parte eólica y otra solar fotovoltaica:

³⁷ (Hualpa Mamani 2006, pag. 27)

2.2.2.1. Sistema eólico de generación³⁸

El sistema eólico de generación es un sistema de generación eléctrica basado en el aprovechamiento de viento como recurso renovable, este es el encargado de dar movimiento a las aspas mediante el eje conectado al multiplicador o caja de engranajes. Este es el encargado de aumentar las revoluciones por minuto (r.p.m.) en el generador eléctrico, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo a la demanda existente en la carga y a los niveles del banco de baterías. (vease la figura N° 12)

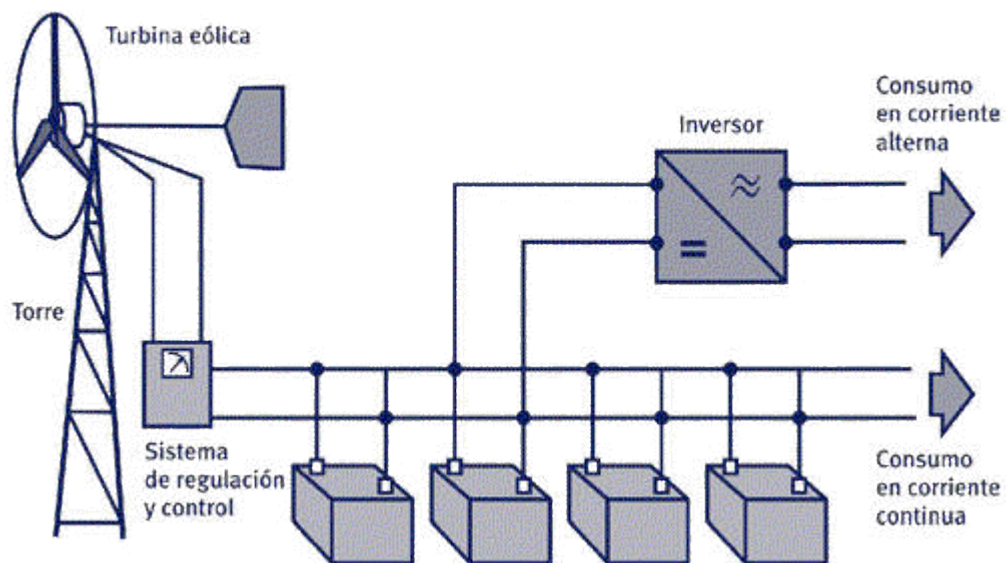


Figura N° 12: Sistema eólico de generación³⁹

³⁸ (Herbas Morerira y Moscoso Noroña 2015)

³⁹ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia52/HTML/articulo03.htm>

2.2.2.2. Sistema solar fotovoltaico de generación

El sistema solar fotovoltaico de generación es un sistema de generación eléctrica que se basa en el aprovechamiento de la luz e irradiación emitida por el sol como recurso renovable, los paneles captan la irradiación solar y convierte esta luz en energía eléctrica. Esto es producido por el efecto de la célula fotovoltaica, el cual se manifiesta como materiales tipo P y tipo N en su estructura, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo a la demanda existente en la carga y a los niveles de voltaje y corriente del banco de baterías. (Véase figura N° 13).

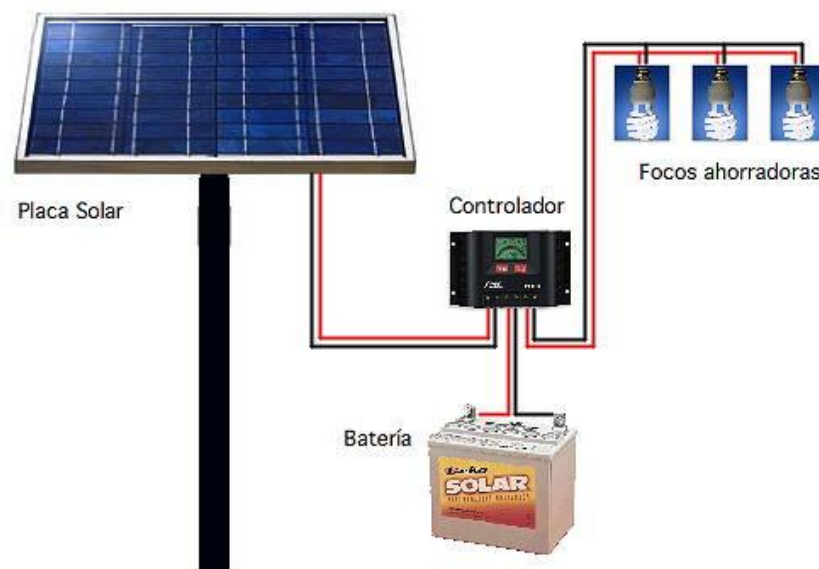


Figura N° 13: Sistema fotovoltaico⁴⁰

⁴⁰ <https://deltavolt.pe/pv-systems>

2.2.3. Partes de un sistema eólico fotovoltaico

2.2.3.1. Sistema eólico

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

Los sistemas eólicos están conformados de los siguientes componentes (ver figura N° 14)

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

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

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

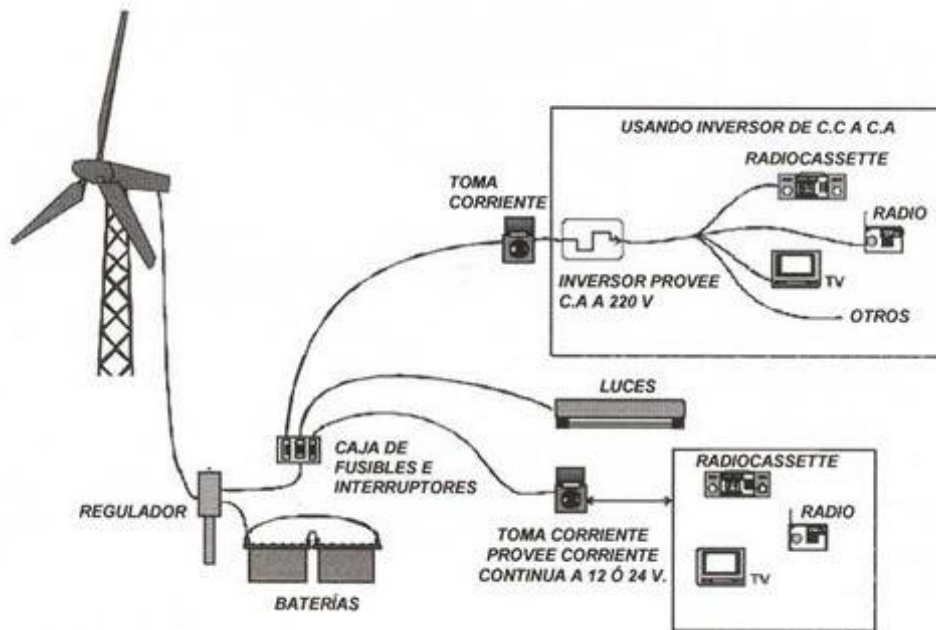


Figura N° 14: Sistema eólico⁴¹

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

2.2.3.2. Sistema solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos que son capaces de realizar suministro de electricidad para cubrir las necesidades planteadas a partir de la energía procedente del sol. El sistema Fotovoltaico está constituido por un conjunto de componentes básicos: paneles fotovoltaicos, regulador, baterías eléctricas, inversor y cargas.

⁴¹ <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas2.shtml>

Para que el sistema fotovoltaico funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad de suministro y durabilidad, debe estar conformado por:

Subsistema de captación: transforma la radiación solar en electricidad.

Subsistema de almacenamiento: almacena la energía.

Subsistema de regulación: regula la entrada de energía procedente del campo de captación (ver Figura N°15).

Subsistema de adaptación de corriente: adecua las características de la energía a las demandas por aplicaciones. (Muñoz Anticona 2005, 37)

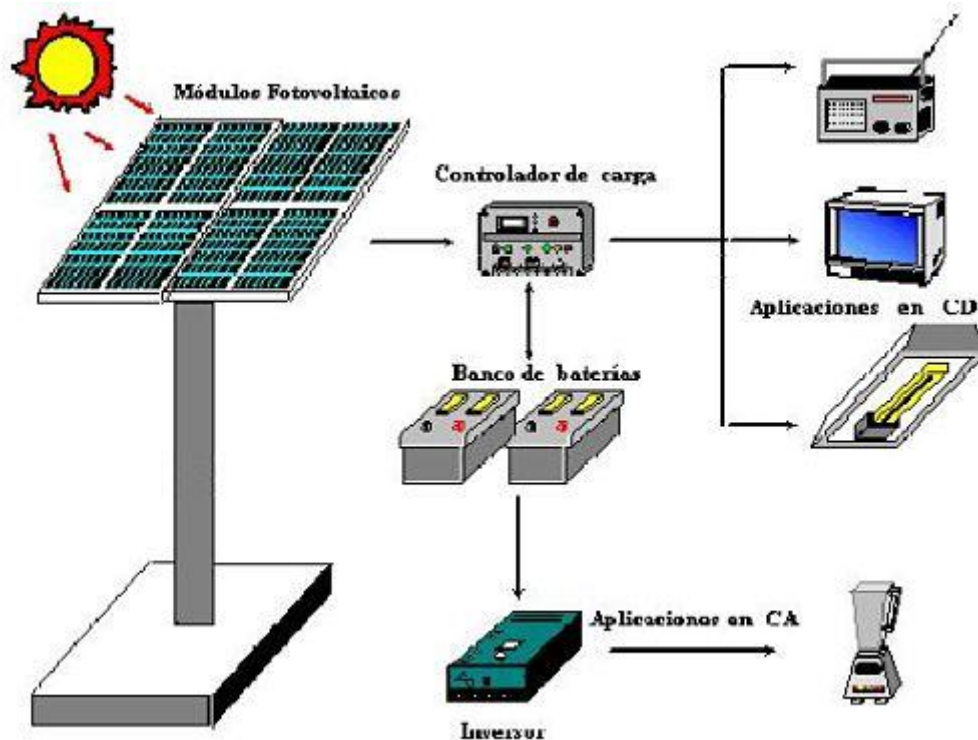


Figura N° 15: Esquema de un sistema fotovoltaico⁴²

⁴² <https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6702>

Paneles solares fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos transforman la luz solar en energía eléctrica, una partícula luminosa con energía (fotón) se convierte en una energía electromotriz (voltaica), de ahí su nombre, fotovoltaico.

Conversión fotovoltaica

Es un proceso por el cual la energía solar se transforma directamente en electricidad. El dispositivo o elemento que media en el proceso es la célula solar o célula fotovoltaica. A esta conversión fotovoltaica se le llama efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general). El efecto fotoeléctrico fue descubierto y descrito por Heinrich Hertz en 1887.

Cuando la energía luminosa, principalmente la radiación solar, incide en la célula fotoeléctrica, existe un desprendimiento de electrones de los átomos que comienzan a circular libremente en el material. Si medimos el voltaje existente entre los dos extremos del material, observamos que existe una diferencia de potencial entre 0,5 y 0,6 voltios.



Figura N° 16: Panel solar Monocristalino⁴³



Figura N° 17: Panel solar Policristalino⁴⁴

Célula Fotoeléctrica

Una célula fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. En la actualidad el material fotosensible más utilizado es el silicio, que produce corrientes eléctricas mayores.

⁴³ <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>

⁴⁴ <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>

Hoy se utilizan diferentes tecnologías en la producción de las celdas fotovoltaicas con el fin de aumentar su producción y reducir su coste.

Panel o Modulo Fotovoltaico

Al grupo de células fotoeléctricas o celdas fotovoltaicas se le conoce como panel fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usual-mente se utilizan 12V a 36V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) está alrededor del 16%. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye.

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.

Usos de los sistemas de energía fotovoltaica

El elemento principal de un sistema de energía fotovoltaica es la célula fotoeléctrica. Los paneles solares están constituidos por cientos de éstas células, que, conexas adecuadamente, suministran voltajes suficientes para, por ejemplo, la recarga de una batería. El principal uso de la energía fotovoltaica es hoy día la generación eléctrica conectada a

la red de distribución, con el fin de reducir las emisiones de CO₂. Igualmente, día a día el uso para autoconsumo está adquiriendo mucho auge.

Fabricación

Para su construcción, de la arena común (con alto contenido en silicio) se obtiene inicialmente una barra de silicio sin estructura cristalina (amorfo), una vez separados sus dos componentes básicos, y que acoge gran cantidad de impurezas.

Mediante un proceso electrónico, que también permite eliminar las impurezas, la barra de silicio amorfo es transformada en una estructura monocristalina, la cual posee características de aislante eléctrico, al estar formada por una red de uniones atómicas altamente estables. A continuación, con el material ausente totalmente de impurezas (una pequeña impureza lo hace inservible), es cortado en obleas (finas láminas de sólo una décima de milímetro).

Las obleas, son entonces fotograbadas en celdillas con polaridades positiva y negativa; la polaridad positiva se consigue a base de introducir lo que electrónicamente hablando se denominan huecos, es decir, impurezas que están compuestas por átomos que en su capa de valencia sólo tienen tres electrones (les falta uno para estar estables). Por su parte, en la zona negativa se sigue un proceso similar al de la zona positiva, pero en éste caso las impurezas que se inyectan son átomos que en su capa de valencia tienen cinco electrones, es decir, en la estructura de cristal sobra un electrón (sobra un electrón, por eso se dice que tiene carga negativa).

El conjunto de ambos materiales (positivos y negativos) forman un diodo; éste dispositivo tiene la característica de dejar pasar la corriente eléctrica en un sentido, pero en el otro no, y aunque los diodos son utilizados para rectificar la corriente eléctrica, en éste caso, permitiendo la entrada de luz en la estructura cristalina, permitiremos que se produzca movimiento de electrones dentro del material, por eso éste diodo es denominado «fotodiodo» o «célula fotoeléctrica».

Tipos paneles fotovoltaicos

Tradicionalmente estaban definidos tres tipos de paneles dependiendo de forma de procesar el Silicio: mono-cristalinos, poli-cristalinos y amorfos. Hoy día nuevas tecnologías en la producción de los paneles están revolucionando la generación eléctrica fotovoltaica.

Celdas Esféricas: están compuesto por pequeños corpúsculos de silicio como gotas de silicio, consiste en una matriz de pequeñas células solares esféricas capaces de absorber la radiación solar con cualquier ángulo.

Celdas Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular o hexagonal).

Celdas Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.

Celdas Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Células solares con forma esférica

Nuevas células solares con forma esférica y tamaño diminuto (entre 1 y 1,5 mm de diámetro) podrían suponer una importante revolución en la expansión y campo de aplicación de la energía solar fotovoltaica.

En Japón líder en tecnología fotovoltaica se ha desarrollado unas nuevas celdas solares con forma esférica y minúsculo tamaño entre 1 y 1,5 mm de diámetro, a diferencia de las celdas planas tradicionales de 72 mm. El avance podría suponer una revolución en la energía solar fotovoltaica. El producto desarrollado por la empresa japonesa Kyosemi y al que se ha denominado como Sphelar®, consiste en una matriz de pequeñas células solares esféricas capaces de absorber la radiación solar con cualquier ángulo, pudiendo aprovechar tanto la radiación reflejada como la difusa, con esta tecnología no es necesario el uso de seguidores y su eficiencia llega a superar el 20%.

La disposición de las células en un medio flexible y transparente, amplía el campo de aplicaciones para la energía solar fotovoltaica, como la posibilidad de incorporarlas en pequeños aparatos electrónicos o convertir grandes superficies acristaladas como generadores de electricidad. Su aplicación en España permitiría reducir el impacto visual, especialmente en grandes ciudades y zonas de interés turístico.



Figura N° 18: Célula solar de forma esférica⁴⁵

El gran auge del uso de Paneles fotovoltaicos para la generación eléctrica en los últimos años ha permitido que la industria de Paneles desarrolle nuevas tecnologías para producir paneles cada vez de menor coste.

Actualmente existen diversas soluciones técnicamente viables para la generación de electricidad a partir de luz solar basadas, fundamentalmente, en células fotovoltaicas de silicio relativamente caras. Las tecnologías actuales de película delgada basadas en el silicio podrían estar llegando al límite en cuanto a relación eficacia-coste.

Además, el nuevo precio de la energía para las instalaciones de tecnología solar fotovoltaica en España exige una importante reducción en la inversión para su viabilidad económica. El principal coste está en los paneles fotovoltaicos por ende se requiere de paneles fotovoltaicos de menor coste, viabilidad que está en el desarrollo de células fotovoltaicas orgánicas.

⁴⁵ <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>

Los fotovoltaicos orgánicos (OPV) cuentan con la ventaja de que se pueden pintar sobre una superficie, como las paredes exteriores de un edificio o el tejado.

Además, se pueden elaborar por medio de procesos de impresión y de recubrimiento de alta velocidad y escalables, como las pinturas en aerosol y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas.

Los módulos de película delgada (thin-film) no están hechos a base de células de silicio convencionales, sino que se basan en CIGS (Cobre Indio Galio Selenio) incrustadas en un soporte flexible y ligero y aptas para colocarlas no sólo sobre los tejados, sino también sobre las fachadas de los edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y coches.

Estas nuevas tecnologías, que se revelan como más rentables y eco eficientes, que constituyen, sin duda, una alternativa de bajo coste que permite la inversión acorde a las condiciones económicas del precio de la energía en España y el mundo.

España con la nueva ley, no solo reduce el precio de la energía producida si no que también reduce significativamente la cuota de instalaciones fotovoltaicas.

La importante reducción en el coste de puesta en marcha de las instalaciones fotovoltaicas compensa la importante reducción en la tarifa de compra. Pero por otro lado la deficiente infraestructura de las redes de transmisión eléctrica en Media Tensión de España, impide el desarrollo de este importante sector de la economía.

Células solares plásticas basadas en polímeros

Las células solares de polímeros son un tipo de célula solar flexible. Pueden venir en muchas formas incluyendo: células solares orgánicas (también llamados células solares de plástico), o la química orgánica de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz del sol usando polímeros.

También hay otros tipos de semiconductores de película delgada más estables, que pueden ser depositados en los diferentes tipos de polímeros para crear las células solares. Esta tecnología es relativamente nueva, se está investigando por las universidades, laboratorios y varias empresas de todo el mundo.

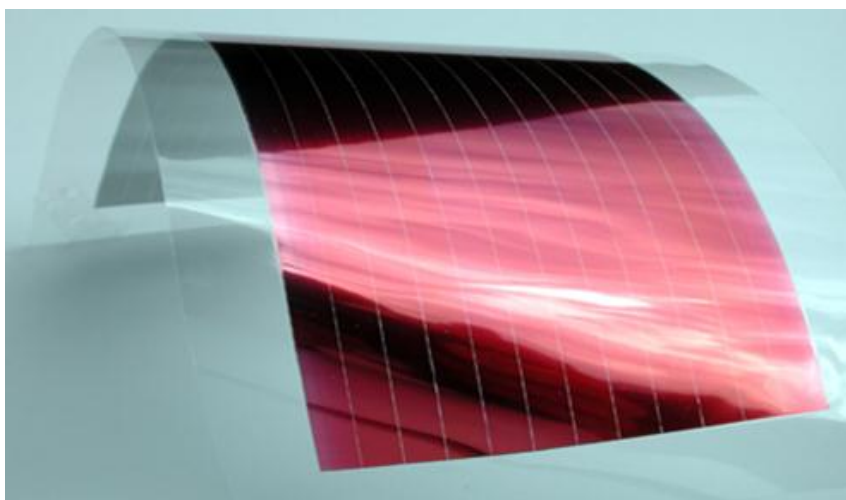


Figura N° 19: Células solares plásticas⁴⁶

Concepto básico de las células solares plásticas

En la actualidad, las células solares comerciales se hacen de un cristal refinado, de silicio altamente purificado, similar a los materiales utilizados

⁴⁶ <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>

en la fabricación de circuitos integrados y chips de computadora (obleas de silicio).

El alto costo de estas células solares de silicio, y su complejo proceso de producción ha generado interés en el desarrollo de tecnologías alternativas de energía fotovoltaica.

En comparación con dispositivos basados en silicio, células solares de polímeros son ligeros (lo cual es importante para los pequeños sensores autónomos), potencialmente desechables y baratos de fabricar (a veces utilizando la electrónica impresa), flexible, personalizable a nivel molecular, y tienen una menor posibilidad de negativa del medio ambiente impacto.

Las desventajas de las células solares de polímeros son también problemas serios: ofrecen aproximadamente 1 / 3 de la eficiencia de materiales duros, y son relativamente inestable hacia la degradación fotoquímica. Por estas razones, a pesar de los continuos avances en los polímeros semiconductores, la gran mayoría de las células solares se basan en materiales inorgánicos.

Ventajas de las células solares plásticas

A diferencia de las celdas basadas en cristales de silicio, las células solares de polímeros, no requieren una orientación optima al sol ya que plástico recoge energía de hasta 70° del eje de sol a sol al aire libre - y en cualquier orientación en el interior.

Banco de baterías⁴⁷

El sistema de almacenaje y de respaldo de energía es una de las características más importantes de una instalación FV debido a que es necesario utilizar la energía generada a cualquier hora del día. Para ello se utilizan las baterías, construidas a partir de una celda compuesta de placas llamadas Ánodo-Cátodo y un electrolito capaz de recibir, almacenar y entregar energía. De este modo, grupos de celdas conectadas eléctricamente en serie y paralelo, protegidas del medio ambiente conforman una batería.

Funcionamiento de las baterías.

El funcionamiento de las baterías se puede describir mediante dos principios: la capacidad en Amperes-hora (Ah) y la profundidad de descarga.

La capacidad en (Ah) es simplemente el número de Amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga. En teoría una batería de 200 (Ah) podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, este no es el caso ya que algunas baterías, como las automotrices, están diseñadas para grandes descargas en periodos cortos. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada, la capacidad en (Ah) puede variar.

⁴⁷ (Valdiviezo Salas 2014)

Generalmente, si la batería es descargada a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor (Velazquez Cespedes 2012).

Otro factor que influye en la capacidad de la batería es la temperatura. A menor temperatura aumenta la capacidad, a mayor temperatura disminuye la capacidad, no obstante, a mayor temperatura se incrementan las pérdidas evaporativas de la batería reduciéndose así el número de ciclos.

diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20%. De manera opuesta, las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo mismo éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética, siendo perfectas para aplicaciones fotovoltaicas. Su profundidad de descarga puede ser hasta del 80% al 100% aproximadamente (Velazquez Cespedes 2012).

Las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas y en automóviles son las de Plomo-ácido, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Así, por ejemplo, si las placas son de una aleación de plomo y antimonio, el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin que se dañen las placas, esto significa una mayor vida para la batería, y por lo tanto las baterías de Plomo-Antimonio-Ácido son de ciclo profundo. Por otra parte, el calcio aumenta la rigidez

del plomo y reduce la auto descarga, sin embargo, la aleación plomo calcio se ve dañada cuando las profundidades de descarga son mayores al 25%, en consecuencia, las baterías Plomo-Calcio-Ácido son de ciclo ligero.

Como la diferencia entre el costo de las baterías solares y de automóviles es notoria, automáticamente nace la idea de optar por ésta última en un sistema fotovoltaico, ver figura 9. Pero existen diferencias sustanciales, ya que la batería para automóviles fue diseñada para sostener corrientes elevadas por breves instantes (segundos) y el resto del tiempo está siendo cargada o permanece inactiva.



Figura N° 20: Baterías de uso fotovoltaico⁴⁸

En cambio, la batería solar ha sido diseñada para entregar corrientes moderadas, durante largos períodos (horas). Además de poseer una mayor profundidad de descarga.

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada Gel, en la que el electrolito o ácido se encuentra en estado gelatinoso. Tienen la ventaja de

⁴⁸ https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cuales-son-los-anyos-de-vida-de-cada-bateria-solar_1

que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Esta hermeticidad unida a una mayor eficiencia a bajas temperaturas (debido al tipo de electrolito) y la nula necesidad de mantención (agregado de agua) la convierten en la solución ideal para instalaciones marinas, de carreteras y de comunicaciones.

La batería de Níquel-Cadmio es otro tipo de batería solar que posee aún mejores características tales como: soportar cargas y descargas excesivas, así como una mayor profundidad de descarga cercana al 100%, sin daño. Ostenta una mayor eficiencia a baja temperatura, soportando una alta combinación de temperatura y humedad ambiente. Aunque el costo de éstas es muy superior al de las otras baterías (aprox. 6 a 8 veces el de una Plomo-ácido), el costo a largo plazo es mucho menor que una batería Plomo-ácido debido a su larga vida útil y baja mantención. Usualmente se forman grupos de baterías conectadas en serie y paralelo constituyendo bancos de baterías con el objetivo de aumentar la capacidad de energía. Las conexiones en paralelo aumentan la intensidad de corriente y las en serie aumentan la tensión de salida (Velazquez Cespedes 2012).

Características Eléctricas de las Baterías

Las características eléctricas más relevantes de las baterías son las siguientes:

Carga: Es el proceso por el cual se convierte la energía eléctrica generada por una fuente externa en energía química almacenada en la batería.

Descarga: Es la conversión de la energía química de una batería en la energía

eléctrica que se utiliza en un dispositivo de consumo eléctrico.

Ciclo: Cuando se refiere a las baterías, un ciclo es el proceso por el cual a partir de cierto nivel de energía almacenada la batería se descarga y posteriormente se carga hasta alcanzar el nivel original de energía.

Ciclos de vida: Es la cantidad de ciclos de carga y descarga, bajo condiciones determinadas, que una batería puede soportar antes de disminuir a las condiciones de capacidad que determinan el término de su vida útil.

Densidad de energía: Es la energía disponible de una batería por unidad de volumen (Wh/lts) o por unidad de peso (Wh/kg). El fabricante entrega este valor como característica inicial.

Densidad de potencia: Es la potencia disponible de una batería por unidad de volumen (W/lts) o de peso (W/kg). El fabricante entrega este valor como característica inicial.

Régimen de descarga: Valor de corriente que se extrae de la batería. Normalmente se expresa como una fracción de la capacidad nominal de la batería o se referencia la cantidad de horas de duración de la descarga.

Días de reserva: Es la cantidad de días que una batería con carga completa puede satisfacer una determinada demanda de energía, a una cierta tasa de descarga.

Profundidad de descarga: Son los Amperes-hora (Ah) extraídos desde una batería con carga completa, expresados como el porcentaje de su capacidad nominal a una tasa de descarga específica.

Descarga profunda: Se habla de descarga profunda cuando la batería entrega una cantidad de energía de hasta un 80% de su capacidad nominal, es decir mantiene un 20% de su capacidad.

Descarga superficial: Es cuando la batería entrega una cantidad de energía hasta un 20% de su capacidad nominal.

Tasa de descarga: Es la intensidad, en Amperes, en que la corriente eléctrica es entregada por la batería a una resistencia eléctrica conectada en sus bornes bajo condiciones específicas de operación.

Capacidad de energía: Es la energía, expresada en unidades de Ampereshora (Ah), que una batería puede entregar a una tasa de descarga especificada a partir de un nivel de carga completa hasta descarga completa. Es usual expresar esta capacidad en cantidad de Amperes-hora considerando tensiones nominales en la batería, sea de 6, 12, 24, 48 Volts (V) según corresponda.

Horas de capacidad: Es el número de horas que una batería puede entregar una corriente constante antes de alcanzar un nivel de descarga específica (80%, 60%) partiendo de carga nominal.

Sobrecarga: Es la corriente que se continúa entregando a la batería después que ésta ha alcanzado su plena carga. Esta energía adicional produce daño a las baterías ya que se producen transformaciones electroquímicas que deterioran los componentes internos.

Capacidad nominal: Es un dato proporcionado por el fabricante que indica la cantidad de Amperes-hora que puede ser extraído desde la batería con plena carga a una tasa de descarga específica y a temperatura de operación nominal hasta que se alcanza el valor de descarga nominal.

Pérdidas de capacidad: Es el proceso por el cual la capacidad disponible de la batería disminuye por efectos de las reacciones químicas internas de sus componentes básicos. Esta pérdida de capacidad puede ser paulatina producto del envejecimiento de los componentes o de forma imprevista producto de una operación inapropiada (descarga completa, falla en mantenimiento ó cortocircuito en sus bornes).

Tensión en circuito abierto: Diferencia de potencial, expresada en Volt, que aparece en los bornes de una batería cuando se encuentra en circuito abierto, esta tensión o voltaje depende del nivel de carga de la batería siendo mayor en la medida que tiene más carga.

Tensión nominal: Es la tensión que aparece en los terminales de la batería en condiciones de plena carga y con intensidad de corriente de descarga.

Tensión de descarga: Es la tensión que aparece en los terminales de la batería en condiciones de descarga o cuando se alcance un nivel de descarga determinado. Es recomendable que el fabricante proporcione el valor de la tensión en los bornes de salida en función del porcentaje de carga de la batería.

Baterías de ciclo profundo: Son aquellas que se fabrican especialmente para soportar descargas profundas sin sufrir deterioro en su conformación interna.

Baterías selladas: Son aquellas que constan de un sistema de protección que impide el derramamiento del electrolito.

Controlador⁴⁹

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

Tipos de controladores

En toda instalación fotovoltaica aislada existen dos tipos de reguladores de carga solares: los PWM y los MPPT. Ambos se encargan de lo mismo, controlar el flujo de energía entre el campo fotovoltaico y las baterías.

Controlador (o regulador) PWM: Un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone en su interior de un Diodo, por tanto el campo fotovoltaico funciona a la misma tensión que las baterías. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también.

Esto hace que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia, que puede llegar hasta el 25 - 30%.

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable. (Llauca Chozo 2016)

⁴⁹ (Llauca Chozo 2016)

Controlador (o regulador) MPPT: Un regulador MPPT o maximizador solar dispone, además del diodo de protección, de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Esto le permite dos cosas:

El convertidor de tensión CC-CC (de alta tensión en el campo fotovoltaico a baja tensión en las baterías) permite trabajar a tensiones diferentes en el campo fotovoltaico y en las baterías.

El seguidor del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que proporcione la máxima potencia.

Por tanto, en un regulador MPPT la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar en hasta un 30% respecto a los reguladores PWM, aunque también son más caros los MPPT.

Características del Controlador de carga

Para definir o caracterizar completamente un Regulador se deben especificar:

Tensión Nominal: el valor más común es 12 V, aunque existen modelos que permiten su selección manual o automática en un rango habitual entre 12 y 48 V.

Intensidad Nominal: define a la corriente procedente del Campo FV que puede manejar el Regulador.



Figura N° 21: Controladores para sistemas fotovoltaicos⁵⁰

Inversor

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

Para las aplicaciones de una instalación aislada, deben ser autoconmutados, es decir, no utilizan energía de una fuente exterior.

Debido a que se alimentarán cargas del tipo electrónico, es recomendable utilizar un inversor que genere una onda senoidal pura, es decir, muy similar a la de la red eléctrica. (Valdiviezo Salas 2014).

De acuerdo al Reglamento técnico “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp”, se deben cumplir las siguientes condiciones:

La distorsión armónica total en tensión del inversor debe ser inferior a 5 % en relación a la tensión fundamental RMS.

La frecuencia nominal se debe mantener entre ± 5 % del valor nominal.

La caja del inversor debe cumplir con un índice de protección de IP 54.

⁵⁰ <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-controlador-de-carga-necesito-para-mi-instalacion-solar>

Deben arrancar y operar todas las cargas especificadas en la instalación y entregar la potencia nominal de forma continua.

El autoconsumo del inversor sin carga conectada no deberá ser mayor al 2% de la potencia nominal de salida; (Figura 18) mientras que las pérdidas diarias por el inversor no deberán exceder el 5% del consumo total diario.

El inversor se debe proteger antes las siguientes circunstancias:

Tensión de entrada fuera del rango de operación.

Desconexión de las baterías.

Cortocircuito en la salida de corriente alterna.

Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o, en su defecto, arenado y pintados al horno, con doble base anticorrosiva (epóxica) o similar.

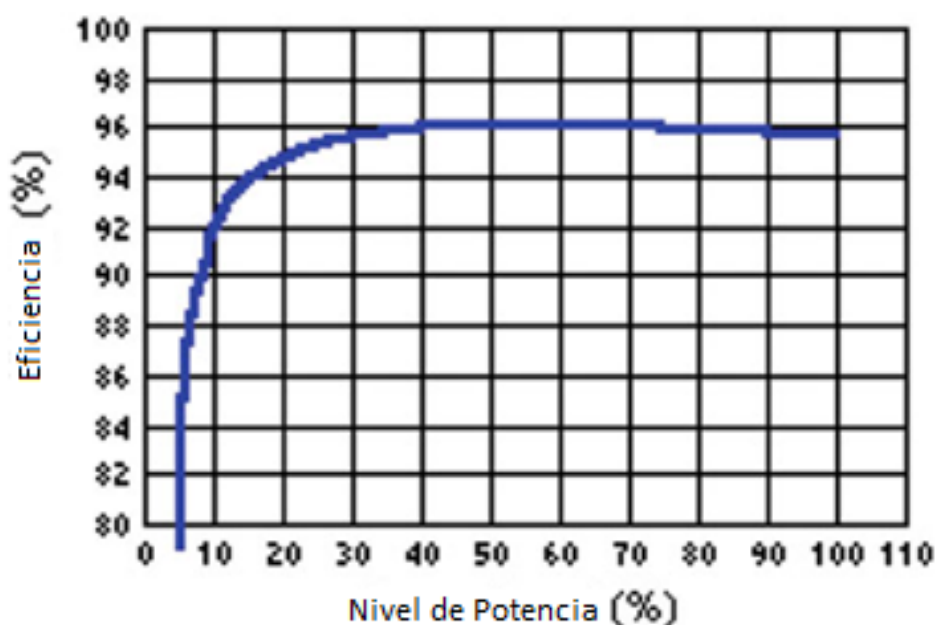


Figura N° 22: Curva típica de eficiencia del inversor⁵¹

⁵¹ Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.



Figura N° 23: Inversores para sistemas fotovoltaicos⁵²

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada⁵³.

Central eólica

Instalación en la que se produce electricidad a partir del viento.

El viento

Es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos»

Generador fotovoltaico

Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.

Rama o serie fotovoltaica

Subconjunto de módulos conectados en serie o asociaciones serie paralelo con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

Potencia nominal del generador

⁵² <http://panelessolarespr.com/microvstring.html>

⁵³ (Ixtebe Portabelle 2010)

Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Potencia instalada fotovoltaica o potencia nominal

Suma de potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de funcionamiento.

Célula solar o fotovoltaica

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

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

Irradiación

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

Instalación fotovoltaica

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

Instalaciones fotovoltaicas interconectadas

Aquellas que normalmente trabajan en paralelo con la empresa concesionaria de energía eléctrica.

Modulo o panel fotovoltaico

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

Arreglo solar: Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.

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

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

Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).

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

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

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

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

Constante solar: Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1,36 kW/m².

Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

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

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

Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.

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

Diodo de bloqueo: Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.

Diodo de bypass: Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.

Eficiencia de la celda: Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m^2 de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

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

Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)

Interruptor: Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.

Kilowatt: Mil watts ($1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W}$)

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

Megawatt: Un millón de watts ($1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W}$)

Módulo o módulo solar fotovoltaico: Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.

Potencia eléctrica: Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (kW) o el megawatt (MW).

Punto de máxima potencia: Punto de la curva I-V en donde el producto $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo.

Tensión eléctrica: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)

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

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

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m², 25°C y 1,5 de masa de aire).

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La metodología utilizada para desarrollar y concluir este examen de suficiencia se describe a continuación.

El tipo de investigación es Aplicada: La expresión "Investigación Aplicada" se popularizó durante el siglo XX para referirse al tipo de estudios científicos orientados a resolver problemas de la vida cotidiana y a controlar situaciones prácticas. Actualmente, este tipo de investigación se posiciona como un ámbito muy fértil, considerando la alianza establecida entre la educación y la industria.

De este modo, la Investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo⁵⁴. Aplicaremos los conocimientos de ingeniería para electrificar el caserío La Unión utilizando con un sistema eólico - fotovoltaico.

El tipo de investigación es Descriptiva: El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y

⁵⁴ <http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion-aplicada>

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 conocimiento⁵⁵. Entonces es descriptiva porque pretende describir las características de la población su problemática.

Es investigación de Datos Primarios: Debido a que los datos se han extraído de la misma población en estudio.

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 analizarlos⁵⁶.

3.2. Población y muestra

Se ha considerado para este estudio toda la población que son las unidades de vivienda del caserío La Unión en el Distrito de Jayanca en Lambayeque.

⁵⁵ <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigaci-n-descriptiva.php>

⁵⁶ <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion37.htm>

3.3. Hipótesis

Si se dimensiona un sistema eólico – fotovoltaico entonces se logrará electrificar el caserío La Unión ubicado en Jayanca en el departamento de Lambayeque.

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente:

Sistema eólico - fotovoltaico

Y: Variable dependiente:

Electrificación rural

Tabla N° 3: Operacionalización de variables⁵⁷

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable independiente Sistema eólico - fotovoltaico	Los sistemas híbridos son una tecnología preparada para responder a la demanda de los consumidores a través de la combinación de dos energías renovables. De esta forma, se resuelven los problemas que cada uno tiene de forma individual y al mismo tiempo se potencian todas sus virtudes ⁵⁸ .	Dimensionamiento del sistema eólico y el sistema fotovoltaico.	Data de velocidad y dirección del viento. Data de la radiación solar de diferentes fuentes. Selección del aerogenerador (Kw) potencia y unidades de paneles fotovoltaico (kWp). Controladores, baterías (Ah), inversores (P), elementos de protección
Variable dependiente Electrificación rural	La Real Academia Española ⁵⁹ define electrificación como «acción y efecto de electrificar» y electrificar como: 1. Hacer que algo funcione por medio de la electricidad. 2. Proveer de electricidad a un lugar.»	Determinar la energía promedio diaria, la tensión de salida	Energía promedio diaria. (W.h) Tensión de suministro (V) Potencia (W)

⁵⁷ Fuente: elaboración propia del autor

⁵⁸ <https://inarquia.es/sistema-hibrido-fotovoltaico-eolico-mixto>

⁵⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Electrificaci%C3%B3n>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Métodos

En este examen de suficiencia profesional utilizamos el método deductivo a partir de las teorías, leyes y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas las aplicamos para calcular, seleccionar los equipos. Las técnicas principales empleadas fueron las siguientes:

Técnicas

a) Observación directa

Con esta técnica conoceremos el estado en que se encuentra el caserío La Unión, ya sea en diferentes aspectos como social, económico, y ambiental.

b) La Entrevista

Así mismo utilizaremos la técnica de la entrevista con lo cual conoceremos el número total de habitantes, viviendas y posibles cargas que utilizaran en las viviendas.

c) Análisis de contenido

Este instrumento se utilizó para obtener información de diferentes bibliografías sobre sistemas eólicos- fotovoltaico: tesis, revistas, software páginas web, etc.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 4: Tecnicas e instrumentos⁶⁰

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

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

La información obtenida en el presente trabajo de investigación, como son datos de radiación solar (la cual es obtenida de diferentes fuentes de donde lo que vamos a hacer es promediar esos valores dado que sabemos que la media tiende al valor real de un conjunto de mediciones) es el menor de los valores con la finalidad de que aun en las condiciones de radiación y velocidad de viento críticas el sistema eólico- fotovoltaico sea capaz de suministrar energía eléctrica a la carga.

De los datos de velocidad del viento obtenidos del SENAMHI se calculará el valor promedio para cada mes con la finalidad de conocer cuáles son los meses críticos y con los datos de la estación meteorológica FIME haremos la distribución de WEIBULL. Para conocer las potencias energéticas eólicas.

⁶⁰ Fuente: elaboración propia del autor

El proceso de cálculo se ara utilizando hojas de cálculo de EXCEL 2016.

Los resultados se mostrarán en tablas y gráficos

De la entrevista realizada a los habitantes se considerará un consumo de energía eléctrica promedio.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

En este examen de suficiencia se propone la implementación de un sistema eólico- fotovoltaico para solucionar el problema de falta de suministro de energía eléctrica en el caserío La Unión en el distrito de Jayanca perteneciente al departamento de Lambayeque.

4.1.1. Equipamiento de la propuesta

Para lograra electrificar el caserío el La Unión que se encuentra ubicado en el Distrito de Jayanca, departamento de Lambayeque.

se propone el dimensionamiento de un sistema eólico fotovoltaico.

Para lo cual se propone o siguiente:

a) Aerogenerador. se considerará un aerogenerador de 3 kW el cual compartirá con el generador fotovoltaico el suministro de la carga. esta implementado con su controlador de carga

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

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

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

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

e) Red de distribución en 220 V:

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

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Población actual y proyección para el caserío La Unión en Jayanca.

El caserío La Unión tiene 20 viviendas 01 local comunal es decir 21 lotes y el número de habitantes es de 65. Para determinar la energía para el dimensionamiento se tendrá en cuenta que la vida útil de los paneles fotovoltaicos el cual es de 20 años por lo que se hace necesario proyectar la población considerando este número de años.

Tabla N° 5: Tasa de crecimiento poblacional⁶¹

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
SIERRA				
Ancash	1.0	0.9	0.8	0.7
Apurímac	0.9	1.0	1.0	1.0
Arequipa	1.8	1.7	1.5	1.3
Ayacucho	0.1	0.3	0.4	0.4
Cajamarca	1.2	1.2	1.1	0.9
Cusco	1.2	1.2	1.1	1.0
Huancavelica	0.9	1.0	0.9	0.9
Huánuco	2.0	1.8	1.7	1.6
Junín	1.2	1.2	1.0	0.9
Pasco	0.4	0.6	0.5	0.4
Puno	1.2	1.2	1.1	1.0
SELVA				
Amazonas	1.9	1.8	1.7	1.5
Loreto	2.5	2.2	2.0	1.9
Madre de Dios	3.3	2.9	2.6	2.3
San Martín	3.7	3.3	2.9	2.6
Ucayali	3.7	3.3	2.9	2.5

⁶¹ https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm

Tabla N° 6: Tasa de crecimiento para el departamento de Lambayeque⁶²

Año	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
Tasa de crecimiento	2,00 %	1,90 %	1,70 %	1,50 %

Para la proyección de las viviendas se tendrá en cuenta la tasa de crecimiento poblacional que se termina según la siguiente tabla N° 5, datos que los utilizaremos para calcular la Tabla N° 6

De la tabla N° 6, consideramos el valor promedio, obteniendo un valor de: 1,78 %, proyectado para 20 años

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (5)$$

Donde:

P₀: Población actual (65 habitantes)

P₂₅ : Población proyectada al año 20

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

reemplazando en la ecuación (5) obtenemos que el número de habitantes proyectados para el año 20 es de:

$$P_{20} = 65x(1 + 0,0178)^{20} \approx 93 \text{ habitantes}$$

$$NV_{20} = NV_0x\left(\frac{20}{65}\right) = 29 \text{ viviendas}$$

⁶² Fuente: elaboración propia del autor

5.2. Calculo de la energía promedio diaria

Tabla N° 7: Energía promedio diaria⁶³ en el Caserío La Unión- Jayanca

Energia electrica promedio diaria para el Caserio La Union en Jayanca					
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso diario (h)	Consumo diario promedio (Wh)	potencia (W)
viviendas: 29					
Lamparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	5	50	10
Carga de celular	5	3	1	15	15
Televisor	60	1	4	240	60
Sub total				377,00	109
Local comunal: 1					
Lamparas	8	3	3	72	24
Radio	10	1	4	40	10
Televisor	60	1	3	180	60
Equipo de sonido	200	1	3	600	200
Carga de celular	5	1	2	10	5
Sub total				902,00	299
Total				11835,00	3460

5.2.1. Alumbrado de vías publicas

El número de puntos de iluminación (PI), se calculó 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):

$$CMAP = KALPxUN \dots (6)$$

Donde:

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW.h

⁶³ Fuente: elaboración propia del autor

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

NU = Número de usuarios de la localidad (20)

$$CMAP = 66 \text{ kW.h}$$

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

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{NHMAP \times PPL} \dots\dots (7)$$

Donde:

PI = Puntos de iluminación.

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

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

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

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

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

Reemplazando los datos en la siguiente formula obtenemos:

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{NHMAP \times PPL} \approx 3$$

El resumen de alumbrado público se muestra en la siguiente tabla:

La energía por alumbrado público lo obtenemos multiplicando la potencia por 12h de utilización obteniendo:

$$(0,18 \text{ kW}) \times (12 \text{ h}) = 2,16 \text{ kW.h}$$

Entonces la energía promedio diaria para el caserío La Unión es de:

Energía promedio diaria para el caserío La Unión

$$= 11,835 \text{ kW.h} + 2,160 \text{ kW.h} = 13,995 \text{ kW.h}$$

Con respecto a la máxima demanda se considerará la situación crítica que es cuando la potencia instalada es igual a la máxima demanda, por lo tanto, la máxima

$$\text{Maxima Demanda} = 3,460 \text{ kW} + 0,18 \text{ kW} = 3,64 \text{ kW}$$

5.3. Evaluación de la energía solar disponible

La radiación solar en el caserío La Unión se hará en base a los datos del atlas solar del Perú, el uso del software Solarius Plus:

ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PERÚ⁶⁴, del cual podemos obtener la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Lambayeque⁶⁵, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,5 kWh/m²/día y 5,0 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m²/día.

⁶⁴ (SENAMHI 2003)

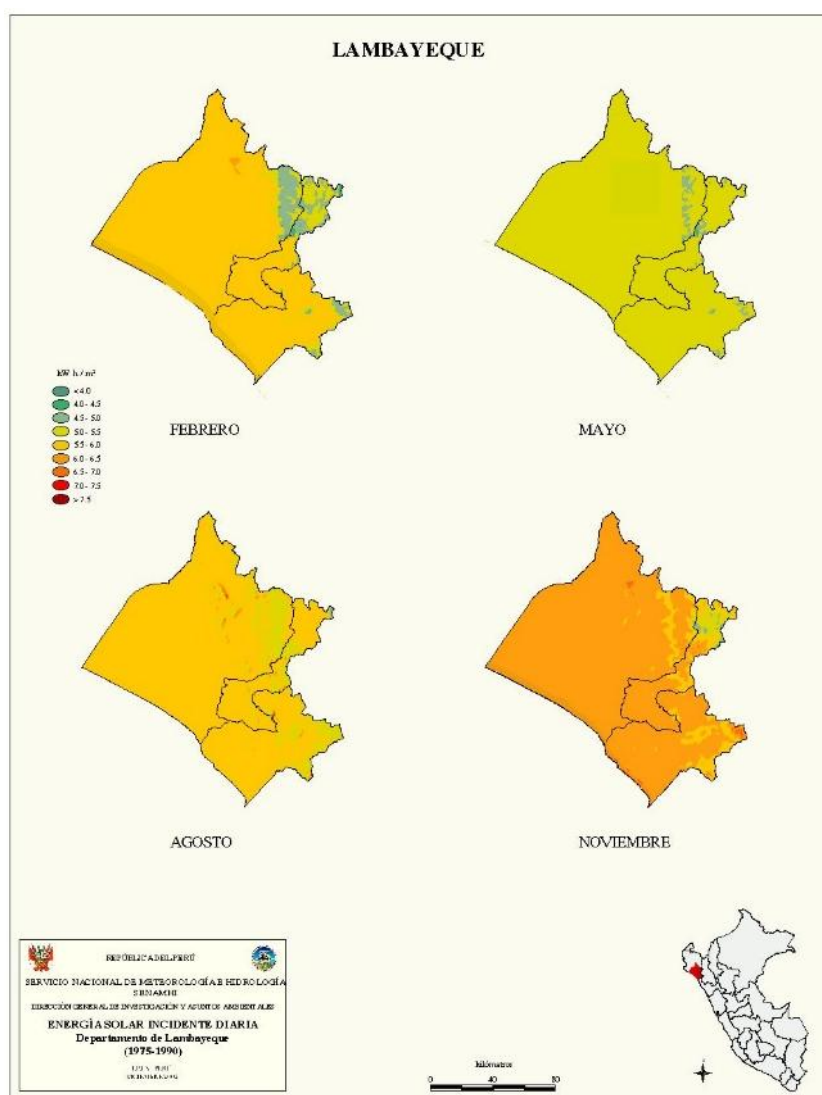


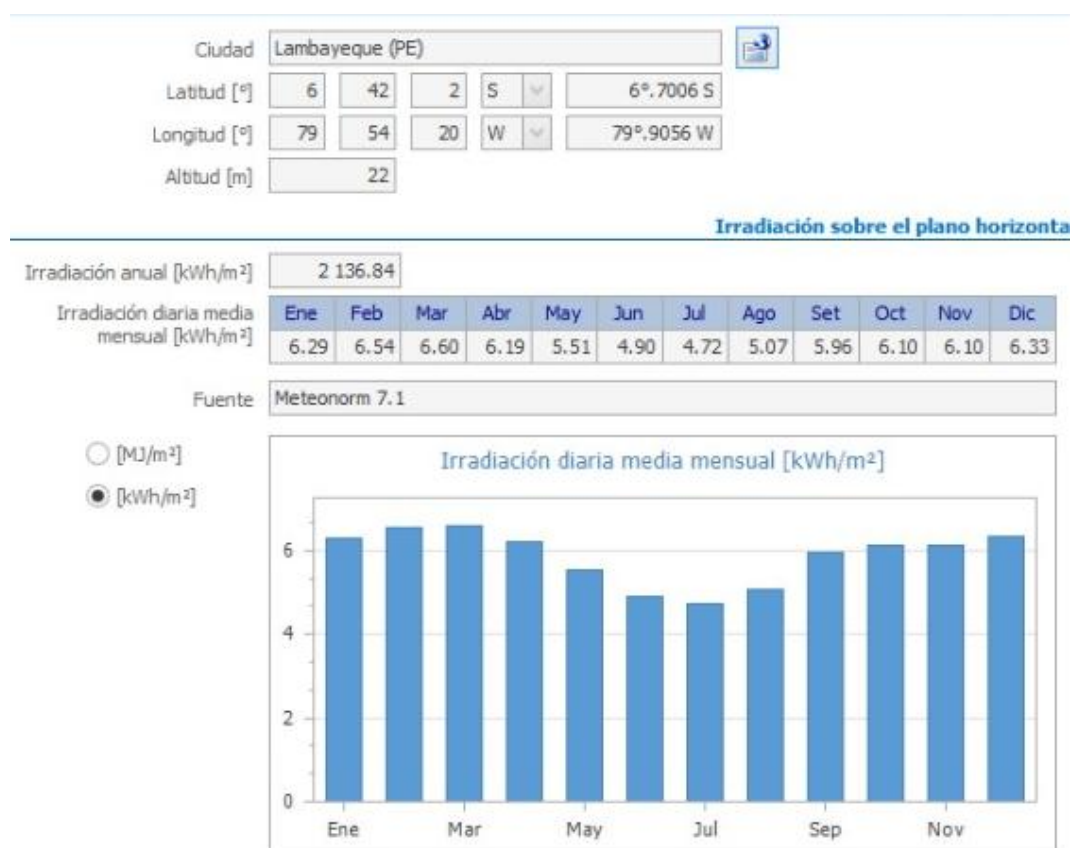
Figura N° 24: Radiación solar en el departamento de Lambayeque⁶⁶

SOFTWARE SOLARIUS PLUS

Haciendo uso del software Solarius Plus en la Tabla N° 8 se muestran los resultados. De donde se obtiene que el valor de la radiación solar más baja es de 6,15 kWh/m²/día

⁶⁶ (SENAMHI 2003)

Tabla N° 8: Radiación solar en el departamento de Lambayeque con el software Solarius Plus⁶⁷



Fuente: Solarius plus

De la Tabla N° 8 se puede observar que la radiación solar más baja es de 4,72 kWh/m²/día, en el mes de julio.

La radiación solar para el cálculo del sistema eólico-fotovoltaico es de 4,72 kWh/m²/día

⁶⁷ Software SOLARIUS PLUS

5.4. Evaluación de la energía eólica

Para la evaluación del recurso eólico en primer lugar se ha considerado los datos de la estación meteorológica convencional de Jayanca⁶⁸, de los cuales se ha tomado la velocidad promedio del viento para cada mes y que queda resumido en la siguiente figura N° 25

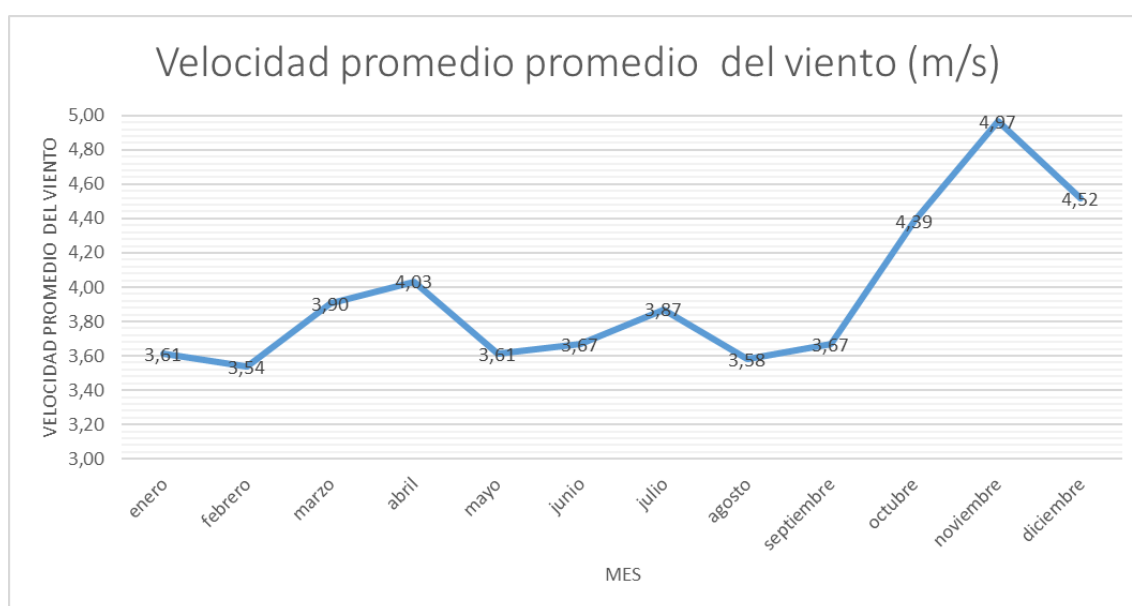


Figura N° 25: Velocidad promedio del viento según la estación meteorológica Jayanca (m/s)⁶⁹

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

La estación meteorológica de la FIME nos ha facilitado los datos de la velocidad del viento para el mes de mayo (ANEXO 01) datos cada 15 minutos. El número total de datos es de: 2 976

⁶⁸ <https://www.senamhi.gob.pe/site/sea/www/?p=estaciones-convencionales>

⁶⁹ <https://www.senamhi.gob.pe/site/sea/www/?p=estaciones-convencionales>

Los datos de la estación meteorológica de la FIME son a una altura de 20 m aplicando la ley exponencial de Hellman los pasamos a 15 m que es la altura a la cual trabajaremos (ANEXO 02) y luego elaboramos la tabla N° 9 de frecuencias, utilizando la función CONTAR.SI

Tabla N° 9: Distribución de frecuencias y distribución acumulada de las velocidades de viento⁷⁰

Velocidad del viento (m/s)	Frecuencia de la velocidad	Frecuencia acumulada	Frecuencia acumulada porcentual
1	8	8	0,00269
2	37	76	0,02554
3	521	597	0,20060
4	947	1544	0,51882
5	626	2170	0,72917
6	577	2747	0,92305
7	150	2897	0,97345
8	71	2968	0,99731
9	7	2975	0,99966
10	1	2976	1,00000

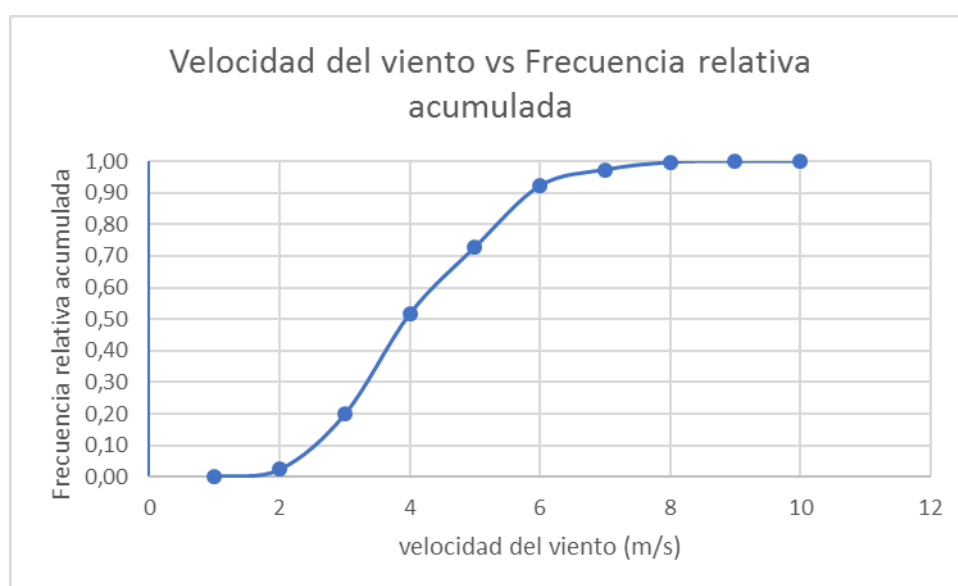


Figura N° 26: Distribución de frecuencia acumulada⁷¹

⁷⁰ Fuente: elaboración propia del autor

⁷¹ Fuente: elaboración propia del autor

De los valores de la tabla N° 10 se utilizan para dar forma a la recta expresada en la ecuación:

$$Y = K.x + B..(8)$$

Hacemos que:

$$Y = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - F(v)} \right) \right) .. de (9)$$

$$X = \ln(v) ... de (10)$$

$$B = -k. \ln(C) ... de (11)$$

Donde “k” es el parámetro de forma y “C” el parámetro de escala. Al graficar los valores de X vs Y , se obtiene lo siguiente

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

Tabla N° 10: Valores para graficar y elaborar el reajuste lineal⁷²

Velocidad(m/s)	ln(v)	ln(ln(1/(1-F(v))))
1	0,0000	-5,9175
2	0,6931	-3,6547
3	1,0986	-1,4966
4	1,3863	-0,3126
5	1,6094	0,2672
6	1,7918	0,9418
7	1,9459	1,2889
8	2,0794	1,7781
9	2,1972	2,0792

⁷² Fuente: elaboración propia del autor

Graficamos los puntos de la tabla N° 10 en Excel tal como se muestra en la figura N° 27 y le hacemos un reajuste lineal

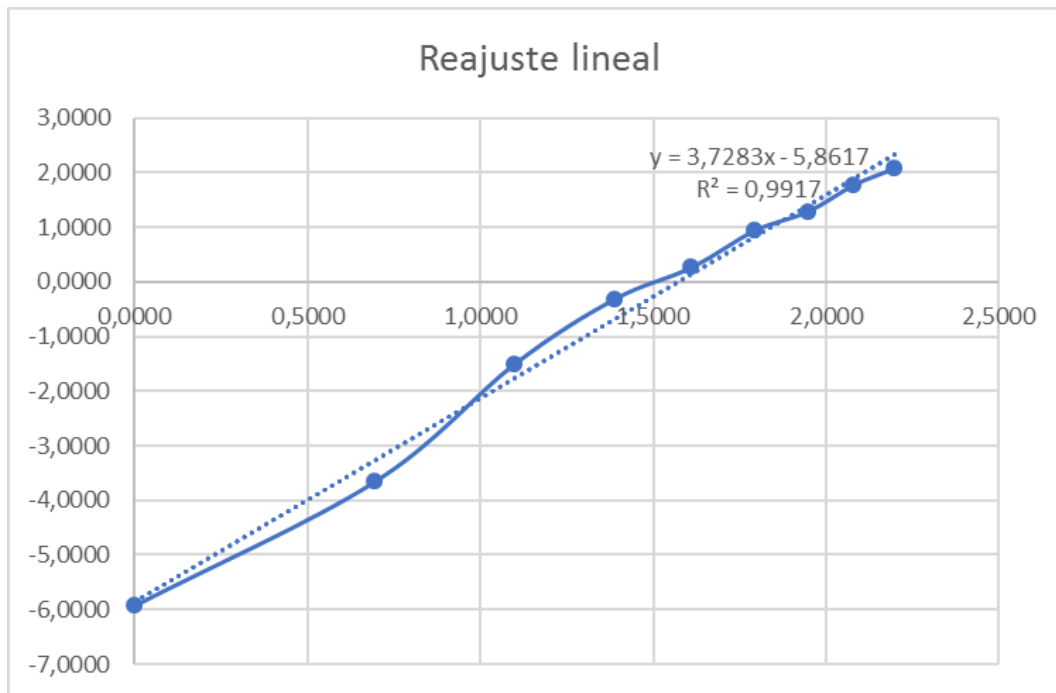


Figura N° 27: Curva de Reajuste⁷³

Y obtenemos la función lineal

$$Y = 3,7283X - 5,8167 \dots (12)$$

Entonces identificando los términos se obtiene que:

$$k = 3,7283$$

$$b = -5,8167 \text{ de donde obtenemos que } C = 4,8173$$

Si se sustituyen los valores determinados de forma y escala en la función de Weibull, se obtiene la siguiente función de probabilidad:

⁷³ Fuente: elaboración propia del autor

$$f(v) = \left(\frac{3,7283}{4,8173}\right) \left(\frac{v}{4,8173}\right)^{3,7283-1} e^{-\left(\frac{v}{4,8173}\right)^{3,7283}} \dots (13)$$

A partir de esta función se podrán determinar las horas del día aprovechables según la velocidad del viento.

Tabla N° 11: Probabilidad de horas de velocidad del viento en el periodo de tiempo de los datos⁷⁴

velocidad (m/s)	f(v)	Numero de horas
0	0,000000	0,00
1	0,010582	7,87
2	0,067721	50,38
3	0,179162	133,30
4	0,282662	210,30
5	0,271559	202,04
6	0,145960	108,59
7	0,038213	28,43
8	0,004091	3,04
9	0,000146	0,11

5.5. Dimensionamiento del sistema solar eólico

5.5.1. Dimensionamiento del sistema eólico

En el sistema eólico fotovoltaico en la parte eólica se utilizar un aerogenerador E30 PRO (ANEXO 03).

⁷⁴ Fuente: elaboración propia del autor



Figura N° 28: Aerogenerador E30 PRO⁷⁵

Tabla N° 12: Curva de potencia del aerogenerador⁷⁶ AIR 50 3000 de 3 kW

velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energia (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	7,87	0,00
2	0	50,38	0,00
3	10	133,30	1332,97
4	100	210,30	21030,02
5	300	202,04	60612,02
6	650	108,59	70586,09
7	1000	28,43	28430,25
8	1450	3,04	4413,48
9	1850	0,11	201,10
10	2100	0,00	2,16
Energia total (Wh)			186608,09

⁷⁵ <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/precios>

⁷⁶ Fuente: elaboración propia

La energía total suministrada por el aerogenerador es de 186608,09 W.h y considerando los 31 días del mes, entonces la energía promedio diaria entregado por el aerogenerador es de: 6 019,62 W.h/día

5.5.2. Generador fotovoltaico

5.5.2.1. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

En la parte fotovoltaica se considera trabajar con 14 paneles fotovoltaicos SIMAX de 190 Wp (ANEXO 04)

La tensión de trabajo será de 48 V, por lo tanto, el número de paneles fotovoltaicos en serie es de:

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

$$N_{mserie} = 2$$

El número de ramas de paneles fotovoltaicos en paralelo es de:

$$\text{Numero de ramas de paneles} = \frac{14}{2} = 7$$

La energía diaria que entregara el generador fotovoltaico es de:

$$14 \times 190 \times 4,72 = 12\,555 \text{ W.h}$$

Se usaran 14 paneles fotovoltaicos SIMAX de 190 Wp

El sistema eólico fotovoltaico que se propone suministran:

Tabla N° 13: Energía suministrada por el sistema eólico fotovoltaico⁷⁷

	Equipos	Energía
Aerogenerador	01 Aerogenerador de E30 PRO	6 019,62 W.h/día
Generador fotovoltaico	14 paneles fotovoltaicos de 190 Wp de la marca SIMAX	12 555,20 W.h/día
Total		18 574,82 W.h/día

De la tabla N° 14, y teniendo en cuenta un factor de global de funcionamiento de 0,76 entonces la energía suministrado a la carga es de: 14 116,86 W.h/día y la que requiere la carga es de

$$E_{sistema} = 13\,995\,W.h$$

Por lo que se concluye entonces que el sistema eólico fotovoltaico es capaz de suministrar energía eléctrica a la carga.

5.5.2.2. Dimensionamiento del controlador fotovoltaico

En el dimensionamiento del controlador, utilizaremos la siguiente ecuación

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{Pmf} \cdot (14)$$

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times 5,52 \times 7 = 48,30\,A$$

⁷⁷ Fuente: elaboración propia del autor

Se usaran 01 controladores VICTRON ENERGY de 60 A

5.5.2.3. Dimensionamiento del banco de baterías

Tendremos en consideración que la energía suministrada a la carga por el sistema eólico fotovoltaico es de:

14 116,86 kW.h/día

Ahora para el dimensionamiento de baterías utilizaremos las ecuaciones

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

$$C_T = (N_{autonomia} \times E_{entregado\ a\ la\ carga}) / (P_D \times V_T) \dots (15)$$

Donde:

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

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

P_D = 0,7.

V_T = 48 V.

$$C_T = (2 \times 14\ 116,86) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 840,29\ Ah$$

Propinemos el uso de baterías ROLLS de 503 Ah (ANEXO 06), por ser de marca reconocida y además de capacidad ampliamente comerciable

El número de baterías que deben conectarse en serie:

$$N_{S\ bat.} = V_T / V_{bat.} \dots (16)$$

Donde:

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

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

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

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

$$N_{S\ bat.} = 4\ baterías$$

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

$$N_{P\ bat.} = C_T / C_{bat.} \dots (17)$$

Donde:

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

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

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

$$N_{P\ bat.} = 840,29 / 503$$

$$N_{P\ bat.} = 1,67 \approx 2$$

Luego el número total de baterías es de 8

Se usaran 08 baterías ROLLS de 503 Ah

5.5.2.4. Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor se considerará la siguiente ecuación.

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{\text{Maxima demanda}}{\text{Rendimiento del inversor}} \dots (18)$$

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{3,64}{0,94} = 3,87 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se trabajará con un inversor de la marca VICTRON ENERGY de 5 kW (ANEXO 07)



Figura N° 29: Inversor⁷⁸ VICTRON ENERGY de 5 kW

⁷⁸ <https://autosolar.pe/pdf/Ficha-tecnica-3003019.pdf>

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Para el dimensionamiento de conductores eléctricos tendremos en cuenta las caídas de tensión recomendadas:

Tabla N° 14: Tabla de caída de tensión máximas⁷⁹

Subsistema	Caída tensión Máxima	Recomendada
Paneles – Regulador	3%	1%
Regulador – Baterías	1%	0,5%
Baterías – Inversor	1%	1%

⁷⁹ <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Tabla N° 15: Conductores eléctricos en los diferentes tramos⁸⁰

Tramo: Generador fotovoltaico- Controlador	$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircutio del panel}} \times N_{Pmf}$ $I_{MAXmf} = 1,25 \times 5,85 \times 7 = 51,19 A$	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 5 \times 51,19 / (56 \times 1,44)$ $S_{CABLE} = 6,35 mm^2$	De la Tabla N° 16, seleccionamos el conductor 10 mm² NYY
Tramo: Baterías- inversor	$I_{MAXinv} = 1,25 \times P_{\text{inversor}} / (V_{\text{tension de trabajo}} \times \eta_{\text{inversor}})$ $I_{MAXinv} = 1,25 \times 5\,000 / (48 \times 0,94) = 138,51 A$	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 2 \times 138,51 / (56 \times 0,48)$ $S_{CABLE} = 20,61 mm^2$	De la Tabla N° 16, seleccionamos el conductor 25 mm² NYY

⁸⁰ Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 16: Características eléctricas de los conductores NYY



TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE	N° HILOS	ESPESORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
N° x mm²		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

fuelle: Catalogo de INDECO⁸¹ (ANEXO 08)

5.5.2.5. Angulo óptimo de inclinación:

El Angulo de inclinación óptima de una superficie fija se usa a ecuación

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-Latitud|) \dots (19)$$

sabiendo que la latitud es de

Latitud: -6.3341800

luego el ángulo óptimo es de 8,07°, consideraremos 15° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo humedad.

⁸¹ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>

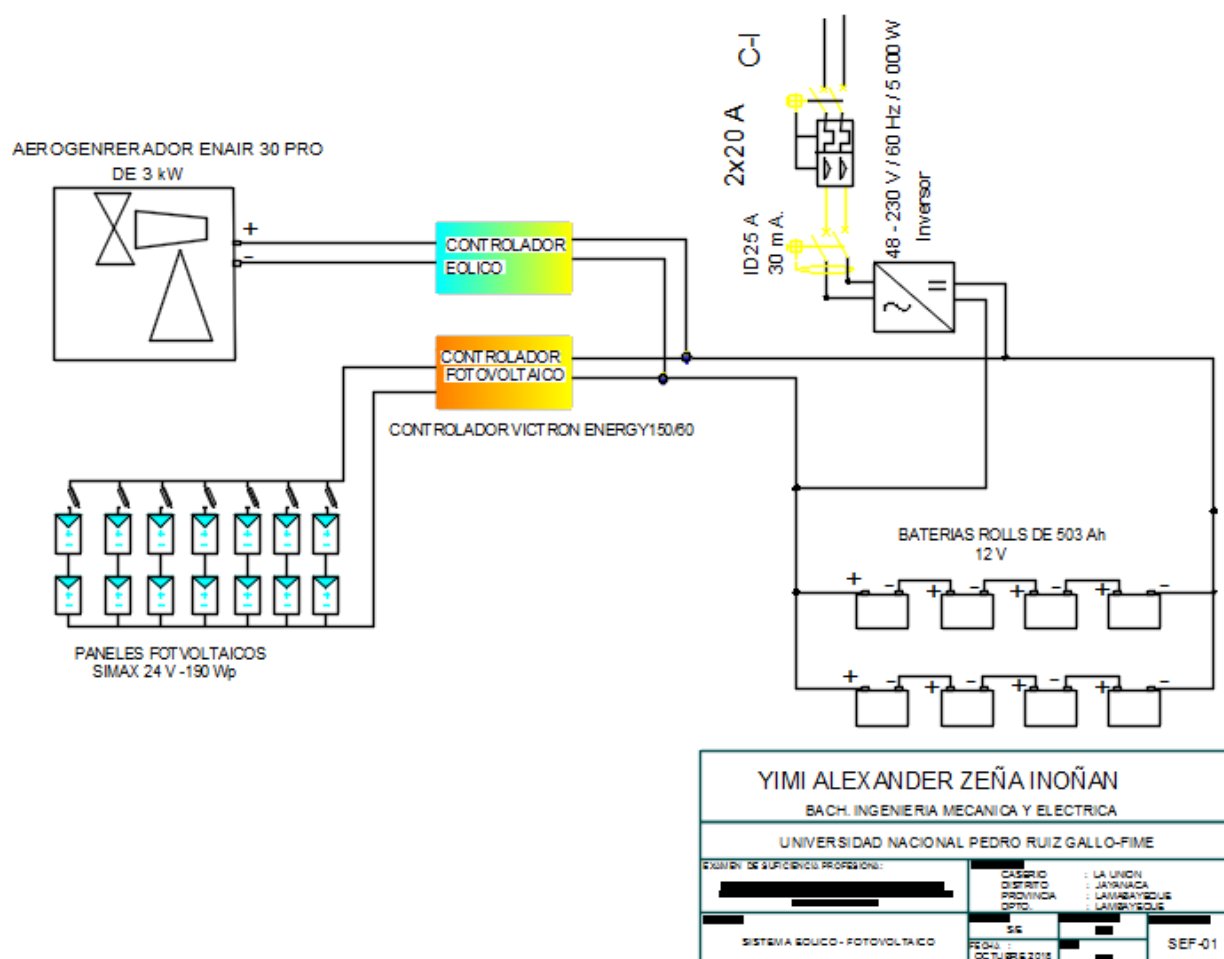


Figura N° 30: sistema eólico - fotovoltaico⁸²

5.6. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

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

Proponemos en la red de distribución secundaria usar el conductor 2x16/25 y 1x16/25

⁸² Fuente: elaboración propia

5.6.1. Cálculos eléctricos

5.6.1.1. Máxima caída de tensión permisible

La máxima de tensión entre la sistema eolico-fotovoltaico y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal.

La ecuación para calcular la calidad de tensión es la siguiente:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3}.. (20)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Los valores de K, se pueden observar en la

Por capacidad de corriente:

consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = 5\ 000 / (220)$$

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

Comparando con la, la capacidad de corriente del conductor propuesto es de 64 A (Del anexo N° 11), por lo tanto

$$12,63\ A < 64\ A \quad \text{ok}$$

Por caída de tensión:

5.6.1.2. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 17: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno⁸³

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

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

5.6.1.3. Hipótesis de estado

Para los cálculos mecánicos del conductor la hipótesis de estado se define sobre la base de los factores meteorológicos, tal como se observa en la tabla N° 18.

Del ítem 1.4.1: 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 el 17 de septiembre, con una temperatura mínima promedio de 17 °C y máxima promedio de 28 °C.

⁸³ (RD031-2003-EM 2003)

la temperatura mínima en el caserío La Unión es de: 17° C, pero consideraremos
5 ° C

la temperatura Máxima en el caserío La Unión es de: 33° C, pero consideraremos
40 ° C

Tabla N° 18: hipótesis para usar la ecuación⁸⁴ de TRUXA

HIPÓTESIS N° 1: Condición de máximo esfuerzo	Temperatura: 5°C. Velocidad de viento: 70 Km/h.
HIPÓTESIS N° 2: Condición de mayor duración (EDS)	Temperatura: Media anual (entre 17 y 33°C, salvo excepciones) 20° C. Velocidad de viento: Nula.
HIPÓTESIS N°3: Condición de flecha máxima	Temperatura: 40°C. Velocidad de viento: Nula.

⁸⁴ Fuente: CNE

Características de los postes de concreto armado

Tabla N° 19: Características De Los Postes De Concreto Armado

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

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Con relación a los soportes para redes secundarias utilizaremos la norma: especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes primarias para electrificación rural⁸⁵

⁸⁵ (RD024-2003-EM 2003)

Tabla N° 20: Características de los cables autoportantes⁸⁶

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

⁸⁶ (RD031-2003-EM 2003)

5.6.2. Presupuesto referencial del sistema eólico - fotovoltaico

5.6.2.1. Costo del sistema eólico- fotovoltaico

Tabla N° 21: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema eólico-fotovoltaico⁸⁷

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 Aerogenerador E30 PRO de 3kW, incluido controlador eólico	25 339,07	25 339,07
01 Torre de 12 m, más extensión de 3m , incluyendo accesorios	10 557,95	10 557,95
14 paneles solares SIMAX 190 Wp	721,00	10 094,00
8 Baterías Rolls de 503 Ah	3 425,00	27 400,00
01 Inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	8 789,62	8 789,62
02 estructura para 06 paneles solares+01 estructura de 02 paneles	3 685,68	3 685,68
01 Controlador 150/60	3 807,23	3 807,23
Accesorios	500,00	500,00
Total, del Suministro		90 173,55

⁸⁷ Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 22: costo directo del sistema eólico fotovoltaico⁸⁸

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO LA UNION EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE "			
RESUMEN GENERAL DEL SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO			
ITEM	DESCRIPCION		TOTAL
A	SUMINISTROS DE MATERIALES		90 173,55
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO		4 508,68
C	TRANSPORTE DE MATERIALES		6 312,15
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (\$/.)		100 994,38

5.6.2.2. Costo del sistema de distribución

⁸⁸ Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 23: presupuesto de La red secundaria- suministro⁸⁹

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO LA UNION EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE "					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO	Metrado Total Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
		UNID.			
1,00	POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	16,00	645,75	10 332,00
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	14,00	410,00	5 740,00
	SUB-TOTAL 1:				16 072,00
2,00	CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO				
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	1,01	4000,00	4 034,80
2,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km	0,51	6000,00	3 051,84
	SUB-TOTAL 2:				7 086,64
3,00	ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	16,00	13,00	208,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	24,00	15,00	360,00
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO , PARA Al 25mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 35mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,05	CONECTOR, PARA Al 25mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	3,00	6,70	20,10
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA Al 35mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	130,00	0,35	45,50
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	14,00	3,05	42,70
3,09	CINTA AISLANTE	rl	150,00	3,60	540,00
	SUB-TOTAL 3:				1 216,30
4,00	CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE				
4,04	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm2, CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4,07	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm² , CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	345,00	4,90	1 690,50
4,08	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm²	m	54,00	6,60	356,40
	SUB-TOTAL 4:				2 046,90
5,00	LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS				
5,01	PASTORAL TUBO A° G° 38 mm f. INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVISTO DE 2 ABRAZADERAS DOBLES PARA POSTE DE CAC	u	3,00	90,00	270,00
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	3,00	196,00	588,00
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	3,00	35,00	105,00
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	3,00	25,00	75,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 35 mm² /Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	3,00	10,50	31,50
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² /Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	3,00	5,92	17,76
	SUB-TOTAL 5:				1 087,26
6,00	RETENIDAS Y ANCLAJES				
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	180,00	4,20	756,00
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A° G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	108,00	9,50	1 026,00
6,04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 240 mm, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	18,00	35,00	630,00
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	18,00	5,00	90,00
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	36,00	9,00	324,00
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	36,00	2,00	72,00
6,08	SOPORTE DE CONTRAPUNTA DE 51 mmøx1000mm DE LONG. CON ABRAZADERA PARTIDA EN UN EXTREMO	u		70,00	
6,09	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	54,00	1,00	54,00
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	18,00	28,00	504,00
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	18,00	6,70	120,60
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm²	u	18,00	5,92	106,56
	SUB-TOTAL 6:				3 683,16
7,00	ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS				
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,80	
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm Ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	16,00	10,80	172,80
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		7,70	
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	30,00	8,20	246,00
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30	
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	17,00	11,20	190,40
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmØ	u	7,00	8,30	58,10
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u		6,58	
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmØ	u	50,00	2,00	100,00
7,11	CAJA DE DERIVACION PARA ACOMETIDAS, SISTEMA 220 V (10 BORNERAS EN CADA BARRA DE Cu)	u		185,00	
7,12	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm Ø	u	60,00	4,28	256,80
	SUB-TOTAL 7:				1 024,10
8,00	PUESTA A TIERRA				
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 240 m	u	6,00	43,00	258,00
	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	6,00	7,20	43,20
8,02	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	6,00	6,50	39,00
	SUB-TOTAL 8:				340,20
9,00	CONEXIONES DOMICILIARIAS				
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	10,50	33,49	351,65
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm fx 64mm DE LONGITUD	u	21,00	1,20	25,20
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	21,00	0,66	13,86
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	84,00	1,00	84,00
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	21,00	10,50	220,50
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	21,00	4,30	90,30
9,11	TEMPLADOR DE A°G°	u	42,00	2,10	88,20
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	21,00	76,66	1 609,86
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE	u	21,00	90,00	1 890,00
	SUB-TOTAL 9:				4 373,57
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	36 930,13

⁸⁹ Fuente: elaboración propia

Tabla N° 24: Montaje de la red secundaria⁹⁰

MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS					
"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO LA UNION EN EL DISTRITO DE JAYANCA-LAMBAYEQUE "					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO UNID.	METRADO TOTAL CANT.	PRECIO UNIT. S/.	TOTAL S/.
5,00	<u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u> COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :				
5,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm2	km	0,0		0,00
5,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm2	km	1,0	606,89	612,17
5,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	1,0	510,25	514,69
	SUB-TOTAL 5:				1 126,86
6,00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>				
6,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m ³	9,2	31,62	292,17
6,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44	0,00
6,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	6,0	18,19	109,14
6,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	12,0	45,57	547,30
	SUB-TOTAL 6:				948,61
7,00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>				
7,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	3,0	19,63	58,89
7,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	3,0	34,58	103,74
	SUB-TOTAL 7:				162,63
8,00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u>				
	INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE : CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
8,03	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDI	u	9,0	35,26	317,34
8,04	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDI	u	7,0	42,67	298,69
8,05	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	16,0	11,09	177,44
8,06	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	16,0	20,00	320,00
	SUB-TOTAL 8:				1 113,47
9,00	<u>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:</u>				
9,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97	452,97
9,02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INCLUYE LA PRESENTACIÓN DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1,0	150,00	150,00
	SUB-TOTAL 9:				602,97
TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO				S/.	13 539,55

⁹⁰ Fuente: elaboración propia

Tabla N° 25: Costo directo de la red de distribución secundaria⁹¹

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO LA UNION EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE "		
RESUMEN GENERAL DE REDES SECUNDARIAS		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	36 930,13
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	13 539,55
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	2 954,41
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	53 424,09

⁹¹ Fuente: elaboración propia del autor

5.6.2.1. Costo total del sistema eólico fotovoltaico

"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO LA UNION EN EL DISTRITO DE JAYANCA- LAMBAYEQUE "		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	53 424,09
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE GENERACION	100 994,38
	TOTAL S/.	154 418,47
G	GASTOS GENERALES	7 720,92
H	UTILIDADES	7 720,92
I	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	169 860,31
J	I.G.V. (S/.)	32 273,46
	COSTO TOTAL INLUIDO I.G.V. (S/.)	202 133,77

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) La energía promedio diaria requerida por el caserío La Unión es de 13,995 kWh, con una máxima demanda de 3,64 kW.
- b) Los datos de radiación solar según el SENAMHI se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m²/día y según el software SOLARIUS PLUS 4,72 kWh/m²/día. Para el dimensionamiento se ha considerado 4,72 kWh/m²/día. Con respecto de la velocidad del viento se ha obtenido los valores de la estación meteorológica convencional de Jayanca y se determinó que uno de los meses críticos es mayo y con ello consultamos los datos de estación meteorológica de la FIME, Donde tenemos los datos para ese mes y en intervalos de media hora.
- c) Se dimensiono el sistema eólico- fotovoltaico el cual está compuesto por 01 aerogenerador E30 PRO, 14 paneles fotovoltaicos SIMAX de 190 Wp, 08 baterías ROLLS de 503 Ah, 01 regulador de carga 150/60 y 01 inversor 48/5000-230 V.
- d) El Costo referencial para el sistema eólico- fotovoltaico es de S/.202 133,77

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 2) Alata Rey, Josue Eliezer. *Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares- caso UNALM*. Lima, 2015.
- 3) Cabrera peña, Ignacio, y Rigoberto Fermin Montiel. «Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua.» Mexico, 2003.
- 4) Campuzano Bautista, Luis David, y Carlos Javier Campuzano Bautista. *Estudio de perfil de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del municipio Dirimaba*. Managua, 2016.
- 5) Canales Ciudad, Carlos. «Guia solar fotovoltaica 2012.» 2012.
- 6) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 7) Cerdan Cabrera, Ana Maria. «Diseño de un sistema solar eolico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya Veracruz Mexico.» Veracruz, 2011.
- 8) Cespedes Molano, Luis Ernesto. «Evaluacion tecnica y diagnostico de la calidad de la nergia electrica en la planta Quala S.A.» Bogota, 2007.
- 9) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 10)Energia Innovadora. «Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua.» 2017.
- 11)FOTOVOLTAICA, ENERGIA. «manual sobre tecnologias, proyecto e instalacao .» s.f.
- 12)Heras Sanchez, Miguel Armando. «Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC.» Ecuador, 2017.
- 13)Hernandez Quijaite, Luis Eugenio. «Bombeo de agua con energia solar en el departamento de Ica.» Ica, s.f.
- 14)Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.

- 15) Joachin Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a la comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.
- 16) Lima Solares, Job Lizardo. «Control electrónico de un sistema de bombeo de agua accionado por energía solar.» 1997.
- 17) Maldonado Rodas, Eddi Alberth. «Paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en el departamento de quiché.» 2011.
- 18) Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y Evaluación para la Viabilidad Técnico Económico en el uso de la Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado Cruz de Pañalá – Distrito de Jayanca.» Lambayeque, 2013.
- 19) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.» Lima, 2005.
- 20) Natael Elenes, Felix. «Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora.» Sonora, 2012.
- 21) Natanael Elenes, Felix. «Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora.» 2012.
- 22) Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001.
- 23) Salmeron Rodrigues, David Antonio, y Jimmy Alexander Blando Rivas. «“ESTUDIO DE PREINVERSIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA EN LA COMUNIDAD DE SAN ANTONIO DEL MUNICIPIO DE JINOTEPE”.» Managua, 2014.
- 24) SENAMHI. «Atlas de energía solar del Perú.» 2003.
- 25) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.

ANEXOS

ANEXO N°01. DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA FIME

ANEXO N°02. VELOCIDAD DEL VIENTO A 15 m DE ALTURA

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR E30 PRO

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SIMAX DE 190 Wp

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

ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA ROLLS DE 503 A.h

ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR VICTRON ENERGY 5000 W

ANEXO N°08. FICHA TÉCNICA DE CABLES NYY

ANEXO N° 09. SISTEMA EÓLICO FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 10. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA (220 V)

ANEXO N° 11. CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES AUTOPORTANTES