



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

**“ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA
GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO
LLUSHCAPAMPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

Bach. DAVID SANTOS VILLALOBOS

Asesor:

MSc. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Marzo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO

ELECTRICISTA

**“ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA
GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO
LLUSHCAPAMPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

Bach. DAVID SANTOS VILLALOBOS

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Dr.. Aníbal Jesús Salazar Mendoza.

SECRETARIO: Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco.

VOCAL: Msc. Carlos Javier Cotrina Saavedra.

ASESOR: Msc. Juan Antonio Tumialan Hinostroza.

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TITULO

**“ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERAR ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL CASERÍO LLUSHCAPAMPA EN CHOTA
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”**

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. DAVID SANTOS VILLALOBOS

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por darme la vida para la realización del mismo, a mis padres Lorenzo y Lila por su apoyo incondicional al igual que a mis hermanos Edwin y Pedro y a mi novia Patricia, todos ellos son mi inspiración y fortaleza para emprender nuevos retos día a día.

Bach. David Santos Villalobos

AGRADECIMIENTO

Expresar mi gratitud a Dios, quien llena con su bendición mi vida y por permitir a mi familia estar aún presentes.

Mi profundo agradecimiento a mis padres Lorenzo y Lila, quienes con su paciencia y esfuerzo me permiten lograr un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y la valentía

Agradecer a mi asesor, el Ingeniero Msc. Juan Tumialán Hinostroza, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

De igual manera a todos los docentes y funcionarios de la Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Mi agradecimiento a todos los que de una u otra manera me brindaron su apoyo y se involucraron en este proyecto.

Bach. David Santos Villalobos

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue utilizar la energía eólica y la energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica en el caserío LLushcapampa ubicado en el distrito de Huambos provincia de Chota en la región Cajamarca con la finalidad de solucionar el problema de falta de suministro eléctrico. Luego de realizar los cálculos se obtuvo que: La energía promedio diaria promedio proyectada para el caserío LLushcapampa es de 49,432 KWh/día. Para 28 viviendas y 01 local comunal. La máxima demanda es de 16,844 KW. Se obtuvo los datos de velocidad y dirección del viento de la estación meteorológica Huambos para determinar los meses críticos de velocidad, luego se ha obtenido datos de la estación meteorológica automática de Huambos para el mes de enero (ANEXO 02) y agosto (ANEXO 03) con lo cual se obtuvo los parámetros de la distribución de WEIBULL. Con respecto de la radiación solar Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual donde según la NASA se ha obtenido un valor de $4,35 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y, según el atlas solar del Perú se ha obtenido un valor de $4,75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Se $4,35 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico. Se dimensiono y selecciono los equipos para el sistema híbrido eólico solar fotovoltaico el cual está compuesto por 01 aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3 kW, 40 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 190 Wp, la potencia del generador fotovoltaico es de 7,6 kWp ; 24 baterías de acumuladores ROLLS de 503 Ah, 02 controladores de carga VICTRON ENERGY 150/85 y 02 inversor Must Solar de 10 kW, conductores eléctricos para la red secundaria 1x16/25 y 2x16/25 .El costo total del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico es de S/ 399 267,54

Palabras clave: aerogenerador, irradiación solar, modulo fotovoltaico

ABSTRACT

The objective of this thesis was to use wind energy and photovoltaic solar energy to generate electricity in the LLushcapampa farm located in the district of Huambos province of Chota in the Cajamarca region in order to solve the problem of lack of electricity supply. After performing the calculations, it was obtained that: The average daily average energy projected for the LLushcapampa farm is 49,432 KWh / day. For 28 houses and 01 communal premises. The maximum demand is 16,844 KW. The wind speed and direction data of the Huambos weather station was obtained to determine the critical months of speed, then data was obtained from the Huambos automatic meteorological station for the month of January (ANNEX 02) and August (ANNEX 03) with which the parameters of the WEIBULL distribution were obtained. With respect to solar radiation The monthly average solar radiation data was obtained, according to NASA, a value of 4,35 kWh / m² / day was obtained and, according to the solar atlas of Peru, a value of 4,75 kWh / m² / day. 4,35 kWh / m² / day for the sizing of the photovoltaic solar wind hybrid system. The equipment for the photovoltaic solar wind hybrid system was dimensioned and selected, which is composed of 01 ENAIR 30 PRO 3 kW wind turbine, 40 photovoltaic panels of the SIMAX brand of 190 Wp, the power of the photovoltaic generator is 7,6 kWp; 24 ROLLS batteries of 503 Ah, 02 VICTRON ENERGY 150/85 charge controllers and 02 Must Solar 10 kW inverter, electric conductors for the secondary network 1x16 / 25 and 2x16 / 25. The total cost of the photovoltaic solar wind hybrid system is S/ 399 267,54

Keywords: wind turbine, solar irradiation, photovoltaic module

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Delimitación de la Investigación.....	3
1.3.1. Delimitación espacial	3
1.3.2. Delimitación temporal	7
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS.....	7
1.5. Limitaciones de la TESIS	8
1.6. Objetivos de la TESIS	8
1.6.1. Objetivo General.....	8
1.6.2. Objetivo Específicos	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de Estudios	10
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	14
2.2.1. Energías renovables en el mundo	14
2.2.2. Energía eólica en el Perú.....	16
2.2.3. Sistemas eólicos.....	19
2.2.4. Ley de Betz.....	21
2.2.5. Variación vertical del viento.	24
2.2.6. Aerogenerador	30
2.2.7. Tipos de aerogeneradores.....	30
2.2.8. Energía solar	37

2.2.9. Sistema fotovoltaico	46
2.2.10. La carga	68
2.2.11. Sistema hibrido solar fotovoltaico	73
2.2.12. Ecuaciones para la red de distribución secundaria.....	74
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	76
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	80
3.1. Tipo y diseño de investigación	80
3.2. Población y muestra.....	80
3.3. Hipótesis	81
3.4. Operacionalización de variables	81
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	83
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	84
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	85
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	86
4.1. Propuesta de la investigación	86
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	89
5.1. Calculo de la demanda promedio proyectada de energía eléctrica y máxima demanda para el caserío en el LLushcapampa.....	89
5.2. Datos de Irradiación solar y velocidad del viento en LLushcapampa.....	94
5.2.1. Irradiación solar	94
5.2.2. Evaluación del recurso eólico	98
5.3. Dimensionamiento del sistema hibrido eólico solar fotovoltaico	102
5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico.....	102
5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	108
5.3.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V.....	123
5.4. Metrado y presupuesto	133
5.4.1. Metrado y presupuesto del sistema fotovoltaico	133
5.4.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria.....	135
5.4.3. Presupuesto total del sistema distribución de energía eléctrica en 220 V	137
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	139
6.1. Conclusiones.....	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ubicación del caserío LLushcapampa.....	4
Tabla N° 2: valores de para algunos tipos de terreno	25
Tabla N° 3: Tabla de frecuencias de la velocidad del viento	28
Tabla N° 4: cálculo de "X" e "Y"	29
Tabla N° 5: Tipos de paneles fotovoltaicos	50
Tabla N° 6: Características de los principales tipos de baterías.....	61
Tabla N° 7: Energía promedia diaria	71
Tabla N° 8: Operacionalización de Variables	82
Tabla N° 9: Tasas de crecimiento para el departamento de Cajamarca hasta el 2017	89
Tabla N° 10: Tasa de crecimiento para el caserío LLushcapampa	90
Tabla N° 11: Energía total proyectado en el caserío LLushcapampa.....	92
Tabla N° 12: Data de irradiación solar en el caserío LLushcapampa según la NASA	97
Tabla N° 13: Velocidad promedio mensual en Huambos	98
Tabla N° 14: Frecuencia de la velocidad del viento.....	100
Tabla N° 15: Calculo de los parámetros de WEIBULL	101
Tabla N° 16: energía entregada por el aerogenerador ENAIR.....	104
Tabla N° 17: porcentaje de suministro de cada una de las fuentes de energía para el mes critico	105
Tabla N° 18: Suministro de energía eléctrica para el mes de mayor velocidad de viento-Agosto	105
Tabla N° 19: Tabla de frecuencias para el mes con mayor velocidad del viento	106
Tabla N° 20: Energía suministrada por el aerogenerador en el mes de mayor velocidad del viento -agosto	107
Tabla N° 21: Módulos fotovoltaicos posibles a utilizar.....	108
Tabla N° 22: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.....	110
Tabla N° 23: Características mecánicas	111

Tabla N° 24: Características del controlador 150/85	116
Tabla N° 25: Tabla de caída de tensión máxima.....	118
Tabla N° 26: Conductores eléctricos en los diferentes tramos	119
Tabla N° 27: Características eléctricas de los conductores NYY	120
Tabla N° 28: caída de tensión C-I	125
Tabla N° 29: Caída de tensión C-II.....	127
Tabla N° 30: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno...	127
Tabla N° 31: Lámparas de alumbrado y sus potencias	128
Tabla N° 32: Parámetros eléctricos de cables autoportantes.....	129
Tabla N° 33: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA	130
<i>Tabla N° 34: Tabla de cálculos mecánicos</i>	<i>131</i>
Tabla N° 35: Características de los cables autoportantes.....	132
Tabla N° 36: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico	133
Tabla N° 37: costo directo sistema hibrido eólico-fotovoltaico	134
Tabla N° 38: suministro de materiales para la red de distribución secundaria	135
Tabla N° 39: Valor referencial para el montaje de las redes secundarias	136
Tabla N° 40: Costo directo de la red de distribución de energía eléctrica	137
Tabla N° 41: Presupuesto referencial total	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Árbol causa y efecto	3
Figura N° 2: Ubicación del caserío LLushcapampa en Chota	4
Figura N° 3: Temperatura máxima y mínima promedio en Huambos.....	5
Figura N° 4: Velocidad promedio del viento mensual.....	6
Figura N° 5: Mapa del viento a 80 m promedio anual	18
Figura N° 6: Componentes un sistema eólico	20
Figura N° 7: Flujo a través de un disco	21
Figura N° 8: Flujo a través del aerogenerador.....	23
Figura N° 9: Limites Betz.....	24
Figura N° 10: Aerogenerador Savonius.....	31
Figura N° 11: Aerogenerador tipo Darrieus	32
Figura N° 12: Aerogenerador con rotor Giromill	33
Figura N° 13: Aerogenerador con rotor Windside.....	34
Figura N° 14: Aerogenerador con rotor tripala	35
Figura N° 15: aerogenerador con rotor bipala	36
Figura N° 16: Aerogenerador con rotor monopala.....	37
Figura N° 17: Mapa Irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe.....	38
Figura N° 18: Mapa solar del Perú	40
Figura N° 19: Concepto de horas sol pico	41
Figura N° 20: Componentes de la radiación solar	43
Figura N° 21: Gama de energía radiante	45
Figura N° 22: Esquema de un sistema fotovoltaico.....	47
Figura N° 23: Partes de un panel fotovoltaico	48
Figura N° 24: Panel fotovoltaico policristalino	49
Figura N° 25: Controladores para sistemas fotovoltaicos.....	51
Figura N° 26: Curva típica de eficiencia del inversor	55
Figura N° 27: Estructura Fija	56
Figura N° 28: Instalación de Seguidor Solar	57
Figura N° 29: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar	58
Figura N° 30: Baterías utilizadas en instalaciones solares	62
Figura N° 31: Sistema hibrido eólico fotovoltaico	73

Figura N° 32: Flujograma de la propuesta.....	88
Figura N° 33: Irradiación solar en Cajamarca	95
Figura N° 34: Ingreso a la página web de la NASA.....	96
Figura N° 35: Ingreso de latitud y longitud	97
Figura N° 36: Comparación de los datos de irradiación solar	98
Figura N° 37: Distribución de Weibull para el caserío LLushcapampa.....	102
Figura N° 38: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR.....	103
Figura N° 39: Controlador VICTRON ENERGY 150/85	115
Figura N° 40: inversor MUST SOLAR de 10 kW	118
Figura N° 41: Distancia entre filas de paneles solares	120
Figura N° 42: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano	122
Figura N° 43: Diagrama de carga C-I	124
Figura N° 44: Diagrama de carga C-II	126

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como finalidad Utilizar la energía eólica y la energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica en el caserío LLushcapampa ubicado en el distrito de Huambos provincia de Chota en la región Cajamarca.

La tesis inicia en el primer capítulo con una descripción de la realidad problemática actual en el caserío LLushcapampa, objetivos específicos con la finalidad de lograr el objetivo general. En el siguiente capítulo, se presenta los estudios anteriores información tesis, proyectos relacionados con nuestro tema investigación que sustentan y avalan la tesis.

En el Capítulo III, se describe el marco metodológico; es decir la estrategia, el plan que se va a seguir con la finalidad de alcanzar los objetivos desde la recolección de datos, procesamiento hasta obtención de los resultados. Luego en el capítulo IV se describe la propuesta que va dar una solución a la realidad problemática existente.

En el Capítulo V se presenta los resultados obtenidos: el dimensionamiento y selección de equipos hasta el presupuesto.

Por último, se describe las conclusiones a las que se llegó de acuerdo a los objetivos específicos planteados inicialmente en este trabajo de investigación y por último se adjuntan los anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el caserío LLushcapampa existen 28 viviendas y 01 local comunal, la población hasta la actualidad no cuentan con suministro de energía eléctrica, como consecuencia no cuenta con los servicios básicos como son la iluminación, información, comunicación, los cuales son totalmente necesarios. Las causas de la ausencia de energía eléctrica en el caserío son su lejanía La distancia del caserío al punto más cercano de red eléctrica (Huambos) es de aproximadamente **7 Kilómetros**.

El camino para llegar al caserío Llushcapampa Esperanza es tipo trocha o camino de herradura, escabroso en algunos puntos para su acceso, razón también por la cual a la concesionaria no le es atractivo expandir sus redes para un consumo reducido.

y la baja demanda debido a que se trata de personas con un nivel económico bajo lo cual ha generado que las empresas concesionarias de electricidad no se interesen en este centro poblado para suministrar energía eléctrica.

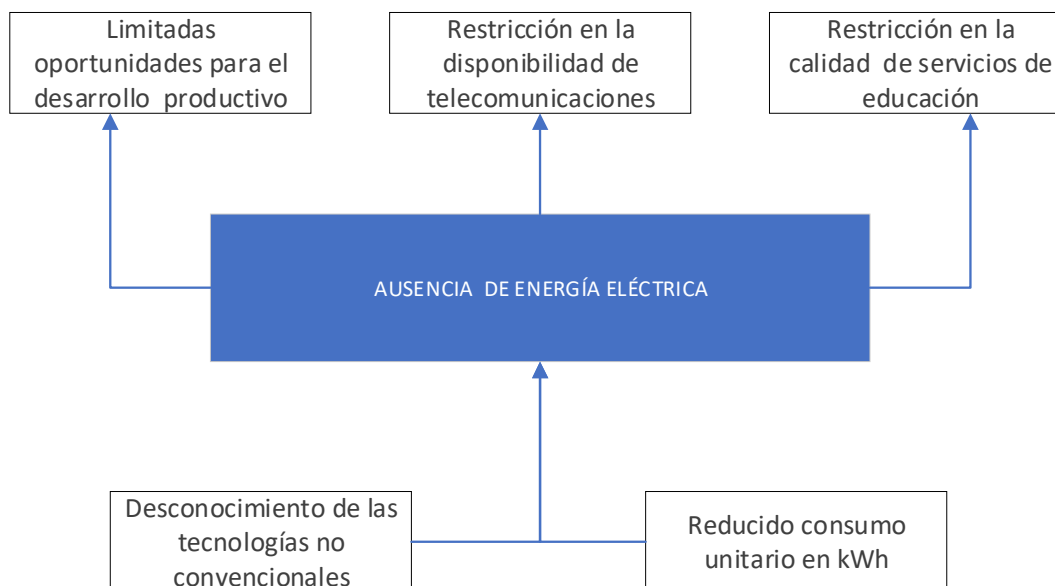


Figura N° 1: Árbol causa y efecto¹

1.2. Formulación del Problema

¿El recurso eólico y solar será suficiente para generar energía eléctrica en el caserío LLushcapampa en la provincia de Chota departamento de Cajamarca?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El desarrollo de esta tesis se realizó en el Caserío LLushcapampa Esperanza ubicado en el distrito de Huambos provincia de Chota en el departamento de Cajamarca.

La ubicación del caserío LLushcapampa en términos de latitud y longitud se encuentra en la siguiente Tabla N^a 1

¹ Adaptado de :
<http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/gu%EDa de electrificaci%F3n rural-actualizado.pdf>

Tabla N° 1: Ubicación del caserío LLushcapampa²

Latitud	-6.43926833333
Longitud	-78.9616733333

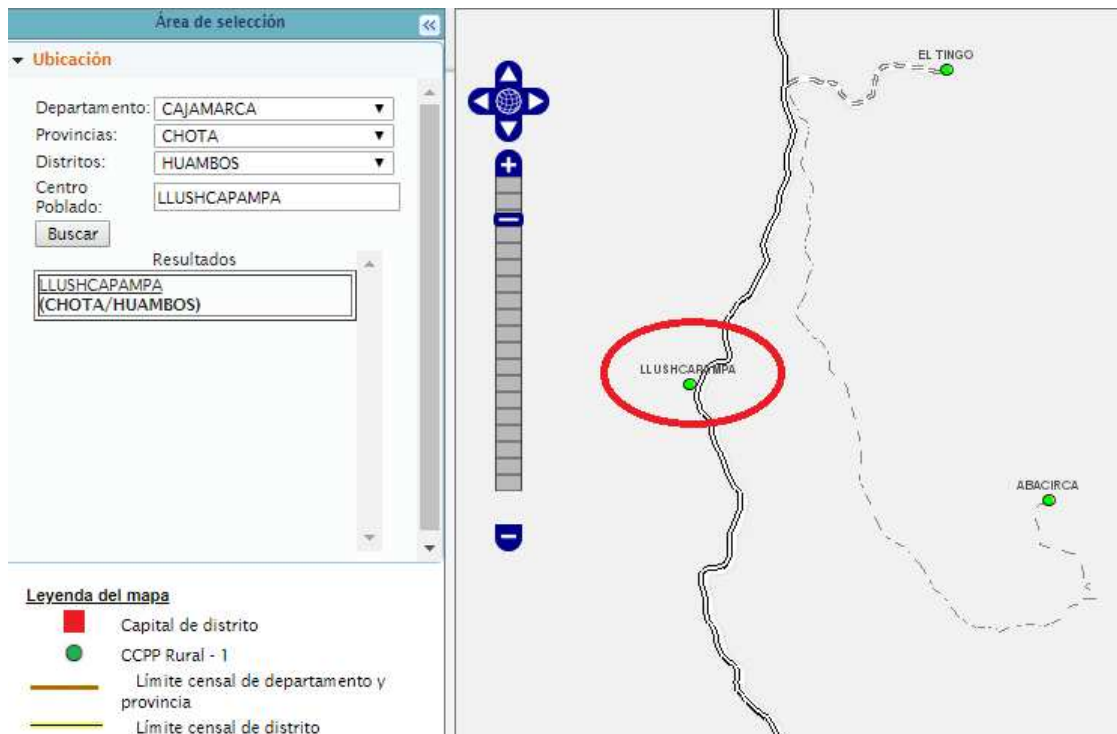


Figura N° 2: Ubicación del caserío LLushcapampa en Chota³

Temperatura⁴

La temporada templada dura 3,2 meses, del 3 de enero al 11 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 22 °C. El día más caluroso del año es el 24 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 23 °C y una temperatura mínima promedio de 11 °C.

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

³ https://chota.webcindario.com/Datos_Chota/Distritos/huambos.htm

⁴ <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

La temporada fresca dura 1,8 meses, del 4 de junio al 29 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 21 °C. El día más frío del año es el 21 de julio, con una temperatura mínima promedio de 7 °C y máxima promedio de 21 °C.

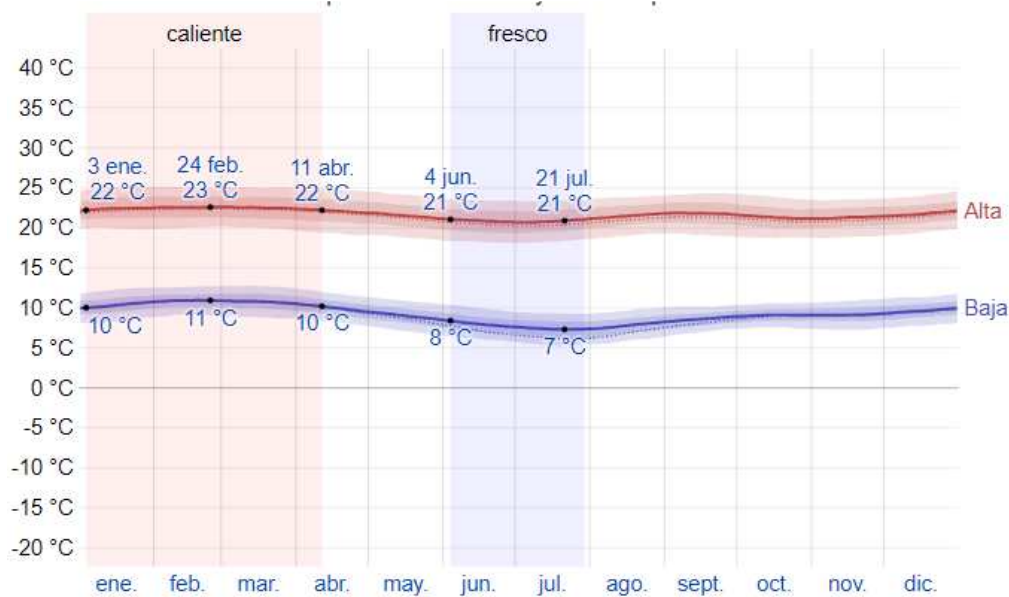


Figura N° 3: Temperatura máxima y mínima promedio en Huambos⁵

Viento⁶

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.

⁵ Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

⁶ <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

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

La parte más ventosa del año dura 3,4 meses, del 9 de junio al 23 de septiembre, con velocidades promedio del viento de más de 8,1 kilómetros por hora.

El día más ventoso del año es el 1 de agosto, con una velocidad promedio del viento de 9,9 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 8,6 meses, del 23 de septiembre al 9 de junio. El día más calmado del año es el 18 de abril, con una velocidad promedio del viento de 6,4 kilómetros por hora.

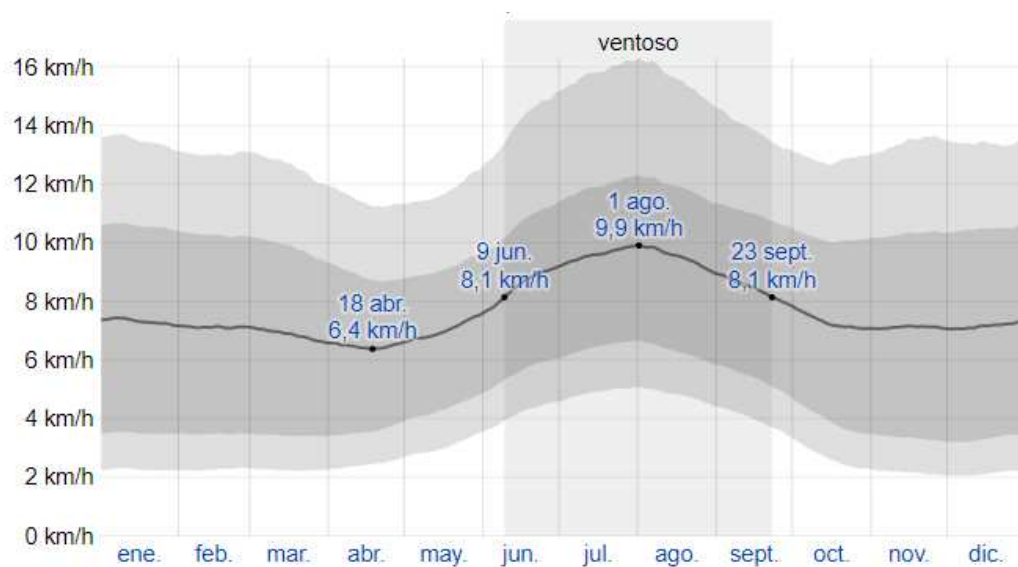


Figura N° 4: Velocidad promedio del viento mensual⁷

⁷ Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

1.3.2. Delimitación temporal

El tiempo que duró la investigación fue de 06 meses.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

El desarrollo de esta tesis es importante porque va a solucionar la problemática de falta de suministro eléctrico en el caserío LLushcapampa aprovechando la energía solar fotovoltaica y energía eólica, las cuales son energías renovables y limpias, lo que ayudará a la no utilización de combustibles fósiles y de esta manera contribuye a la conservación de nuestro medio ambiente, creando de esta manera una cultura enfocada a la conservación de nuestro medio ambiente.

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 produce gases de efecto invernadero en comparación con la generación de energía eléctrica que usa energías convencionales las cuales provienen de la quema del petróleo.

Justificación Social

Con el dimensionamiento del sistema eólico fotovoltaico se tendrá un aumento de la calidad de vida de los habitantes, solucionando el problema de falta de energía eléctrica dando lugar al inicio de expectativas de

progreso y desarrollo para la comunidad, brindándoles así un mejor futuro para sus familias.

Justificación técnica

La presente tesis es importante porque permite el acercamiento a las tecnologías fotovoltaica y equipos eólicos que transforman la energía eólica y solar respectivamente en energía eléctrica.

1.5. Limitaciones de la TESIS

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 datos de la NASA, con respecto de la velocidad del viento se ha obtenido datos de la estación meteorológica automática de HUAMBOS.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Utilizar la energía eólica y la energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica en el caserío LLushcapampa ubicado en el distrito de Huambos provincia de Chota en la región Cajamarca.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Calcular la energía eléctrica promedio diaria proyectada y la máxima demanda en el caserío LLushcapampa y obtener el porcentaje de distribución entre energía eólica y energía solar fotovoltaica.
- b) Obtener datos de la velocidad del viento y la irradiación solar en el caserío LLushcapampa perteneciente a la provincia de Chota.

- c) Dimensionar y seleccionar los equipos para el sistema eólico- solar fotovoltaico.
- d) Calcular el costo sistema eólico fotovoltaico.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Según **Luis David Guerra Baeza** 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 Diésel para el abastecimiento de electricidad. Si bien ésta solución es fácil de implementar, posee características que llevan a considerar otro tipo de soluciones. Las principales falencias de un generador Diésel 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 Diésel, 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 eólica⁸.

⁸ 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.

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 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 país⁹.

Contexto Nacional

Es así como **Jorge Serván Sócola** 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.

⁹ 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

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 proyecto¹⁰.

¹⁰ 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 Chozo Anthony Joel** en su tesis titulado “Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el Km 90, carretera a Lambayeque-Piura” Nos dice que el restaurant está en un lugar donde no hay el servicio eléctrico en redes de baja tensión, se optó por la implementación de un sistema fotovoltaico comercial, remplazando la generación eléctrica de un motor diésel. El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) autónomo en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados a comunidades de nuestra región que aún no cuentan con el suministro eléctrico, además de contribuir a la reducción de emisiones de 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 domicilios¹¹.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

Energías no convencionales

2.2.1. Energías renovables en el mundo¹²

Una docena de proyectos de generación de energía renovable iniciará operaciones en los próximos dos años con la capacidad de abastecer electricidad a 771,350 hogares salvadoreños, informó ayer el Consejo Nacional de Energía (CNE).

Este jueves, el CNE, institución adscrita al Ministerio de Economía, presentó su informe de rendición de cuentas, en el cual detalló que en los últimos meses de 2018 iniciarán operaciones dos plantas de energía solar

¹¹ Llauce Chozo , Anthony Joel. «Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.

¹² <https://elmundo.sv/preparan-12-nuevos-proyectos-renovables-que-daran-energia-a-700000-hogares/>

fotovoltaica y para 2019 se sumarán otros nueve proyectos de la misma tecnología. En 2020 se espera el primer parque eólico de El Salvador.

De los 12 proyectos, siete corresponden a generaciones adjudicadas en dos licitaciones públicas, de 100 y 170 megavatios (MW), respectivamente. Los cinco restantes forman parte de la segunda y tercera etapa de Bósforo, una inversión de AES El Salvador y la Corporación Multi Inversiones (CMI) que contempla la construcción de 10 plantas con tecnología solar fotovoltaica. Para 2019 se contempla el inicio de operaciones de los proyectos de energía solar contratados en marzo de 2017, para cubrir una generación de 119.9 MW. De éstos, indicó la institución, dos corresponden a las plantas de la compañía Capella Solar, de capital francés, ubicadas en Usulután con 50 MW de generación.

También se incorporará la planta del Asocio Ecosolar, ubicada en La Paz, con una potencia de 9,9 MW, mientras que la central de Sonsonate Energía LCV ofrecerá 10 MW. Todos estos proyectos corresponden a la licitación de 170 MW, misma que incluye la construcción del primer parque eólico del país en Metapán, Santa Ana.

Este proyecto está a cargo de la empresa guatemalteca Tracia Network con 50 MW. Se tiene prevista una inversión de \$120 millones y comenzará a suministrar energía hasta 2020. Por el momento, “tienen avances importantes”, aseguró el secretario del CNE.

Entre todos los proyectos de energía fotovoltaica y eólica se espera un suministro de 273,9 megavatios entre los últimos dos meses de 2018, así

como en 2019 y 2020. Ello sin considerar la licitación en marcha de 28 MW de tecnología solar y de biogás, que se contratarían en abril próximo.

2.2.2. Energía eólica en el Perú¹³

El Perú es uno de los principales países en América Latina con potencial de fuentes de energías renovables, como, por ejemplo: (a) el agua, (b) la geotermia, (c) el viento, (d) el gas natural, (e) el sol, y (d) la mareomotriz. El potencial para generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables en el país es muy grande sin embargo en el presente trabajo se estudia el potencial de la energía que se puede generar a partir del viento, es decir la energía eólica. Este tipo de energía se produce a través de máquinas llamadas aerogeneradores, el viento mueve una hélice que mediante un sistema mecánico hace girar el rotor del aerogenerador con lo cual se logra que se produzca la energía eléctrica, para que este mecanismo resulte rentable no basta con implementar un aerogenerador sino que se deben agrupar varios aerogeneradores y a este conglomerado se les llama parques eólicos (Osinerghmin, 2017b). En el país hay cuatro plantas de generación de energía eólica las cuales son: (a) el parque eólico de Marcona, ubicado en Ica – Nazca, con una producción anual de 148 GWh, este parque consta de 11 aerogeneradores de la marca Siemens, ocho de ellos de 3.15 MW y los otros de 2.3 MW, la planta posee una subestación de despacho y una línea de transmisión de 220 KV que se conecta directamente al sistema eléctrico interconectado nacional a través de la subestación Marcona 220 KV, (b) el parque eólico Tres Hermanas, ubicado en Ica - Marcona, con una producción

¹³ (Columbus Miyasato, y otros 2018)

anual de 415 GWh, este parque consta de 33 aerogeneradores. (c) el parque eólico Cupisnique también ubicado en La Libertad - Pacasmayo, con una producción anual de 303 GWh, este parque consta de 45 aerogeneradores de la marca Vestas de 1.8 MW cada uno, la planta posee una subestación y línea de transmisión de 200 KV que se conecta directamente al sistema eléctrico interconectado nacional a través de la subestación Guadalupe de 220 KV, finalmente (d) el parque eólico de Talara, ubicado en la Región Piura – Talara, con una producción anual de 120 GWh, este parque consta de 17 aerogeneradores de la marca Vestas de 1,8 MW cada uno, la planta posee una subestación y línea de transmisión 220 KV que se conecta directamente al sistema interconectado nacional a través de la subestación Pariñas (Osinermin, 2017b).

Según el Plan Energético Nacional 2014 – 2025 (MINEM, 2014), el objetivo del Perú es que la matriz energética nacional esté constituida del 60% de energía derivada de recursos renovables y el 40% restante derivada de combustibles fósiles. Los costos de la energía generada por los parques eólicos corresponden a uno de los más bajos en el mercado mundial, ya que se cotiza alrededor de 0.06 dólares por KWh y este valor está por debajo del costo de las energías convencionales, excepto la del gas natural (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [Osinermin], 2017a).

Respecto a evaluaciones del recurso eólico en el Perú, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) elaboró un primer mapa eólico en 1983, en base a información recogida por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el propio ITINTEC.(ver figura N° 5)

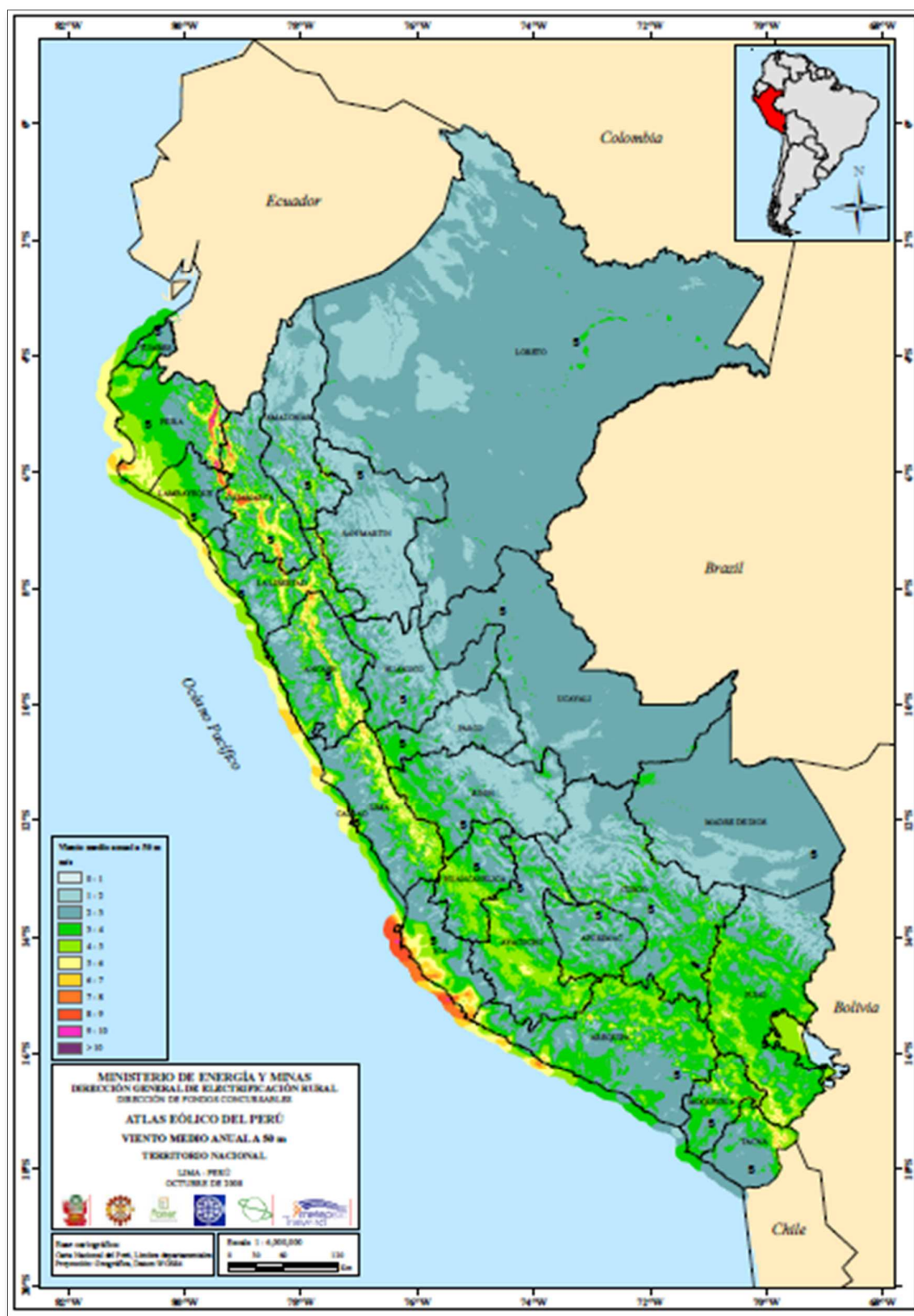


Figura N° 5: Mapa del viento a 80 m promedio anual¹⁴

¹⁴ Atlas eólico

2.2.3. Sistemas eólicos

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° 6)

El aerogenerador o parque eólico: son las máquinas que se encargan de capturar la energía del viento y transformarla en energía eléctrica.

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, ambos fenómenos muy perjudiciales para la vida de la batería.

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

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

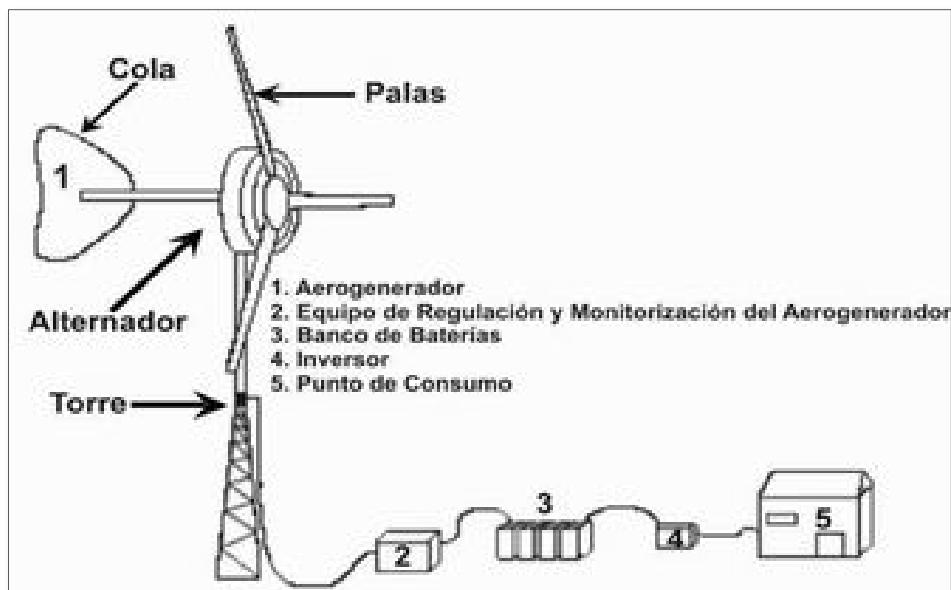


Figura N° 6: Componentes un sistema eólico¹⁵

3.1.4. PRINCIPALES VENTAJAS.

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

3.1.5. PRINCIPALES APLICACIONES.

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

¹⁵ <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml>

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

2.2.4. Ley de Betz¹⁶

Los aerogeneradores aprovechan la energía cinética del viento para transformarla en energía mecánica y mediante un generador producir energía eléctrica. Se puede deducir de manera sencilla la potencia que posee una corriente de viento uniforme para una determinada área A . Para ello partimos de un tubo de corriente de sección recta A , perteneciente al campo fluido del viento uniforme de velocidad V

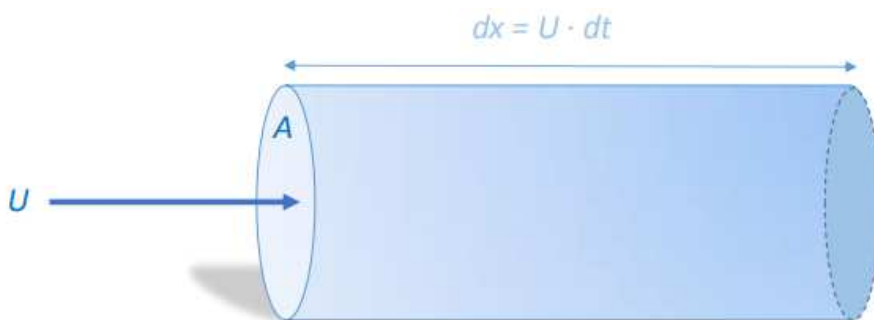


Figura N° 7: Flujo a través de un disco

¹⁶ <https://deltavolt.pe/documentos/Atlas-Eolico-del-Peru-2016.pdf>

La sección A está fija en el espacio y el fluido pasa a través de ella. El flujo que atraviesa el disco por unidad de tiempo según la ecuación de continuidad es:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho AV \dots (1)$$

Donde ρ : es la densidad del aire que se considera constante en el tiempo

Por otra parte, la energía cinética que atraviesa el tubo es de:

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \dots (2)$$

Y la potencia es igual a:

$$P = \frac{dE_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot U^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \dots (3)$$

De esta expresión puede verse que la energía que puede extraerse del viento es proporcional al área del rotor del aerogenerador, a la densidad del aire y al cubo de la velocidad del viento. No obstante, no todo el viento que atraviesa el área del rotor de un aerogenerador puede aprovecharse. Existe un límite físico, conocido como límite de Betz que establece la energía máxima extraíble por un aerogenerador. Si se intenta extraer con un aerogenerador la energía del viento, se verá que su velocidad disminuye al traspasar la máquina, dado que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento para transformar su energía cinética en rotacional.

Dado que la cantidad de aire que pasa a través del área barrida por el rotor por unidad de tiempo debe ser igual a la que abandona el área del rotor por el otro lado, el aire ocupará una mayor sección transversal (diámetro) detrás del plano del rotor.

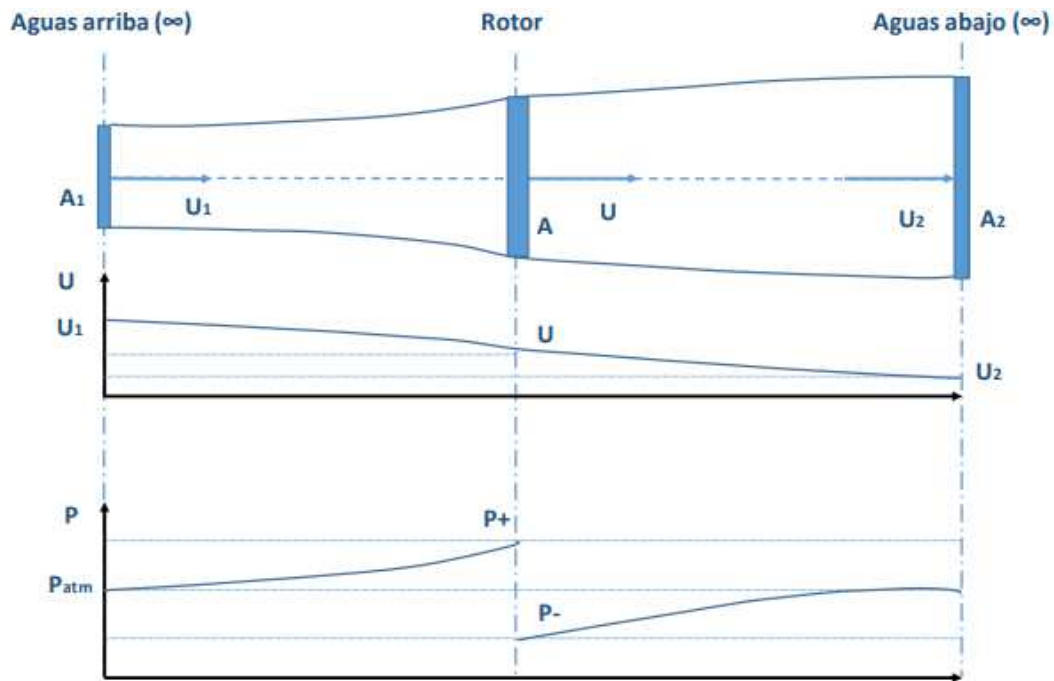


Figura N° 8: Flujo a través del aerogenerador¹⁷

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \dots (4)$$

Este valor C_p se conoce como el coeficiente de potencia de un aerogenerador y representa el rendimiento con el cual funciona el mismo, expresa que cantidad de la potencia total que posee el viento incidente es realmente capturada por el rotor de dicho aerogenerador. Este valor no es constante, puesto que varía en función de las condiciones de funcionamiento del aerogenerador.

La figura siguiente muestra el valor de C_p , como puede verse esta función alcanza un máximo para el valor $16/27$ ($\approx 0,59$).

¹⁷ <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>

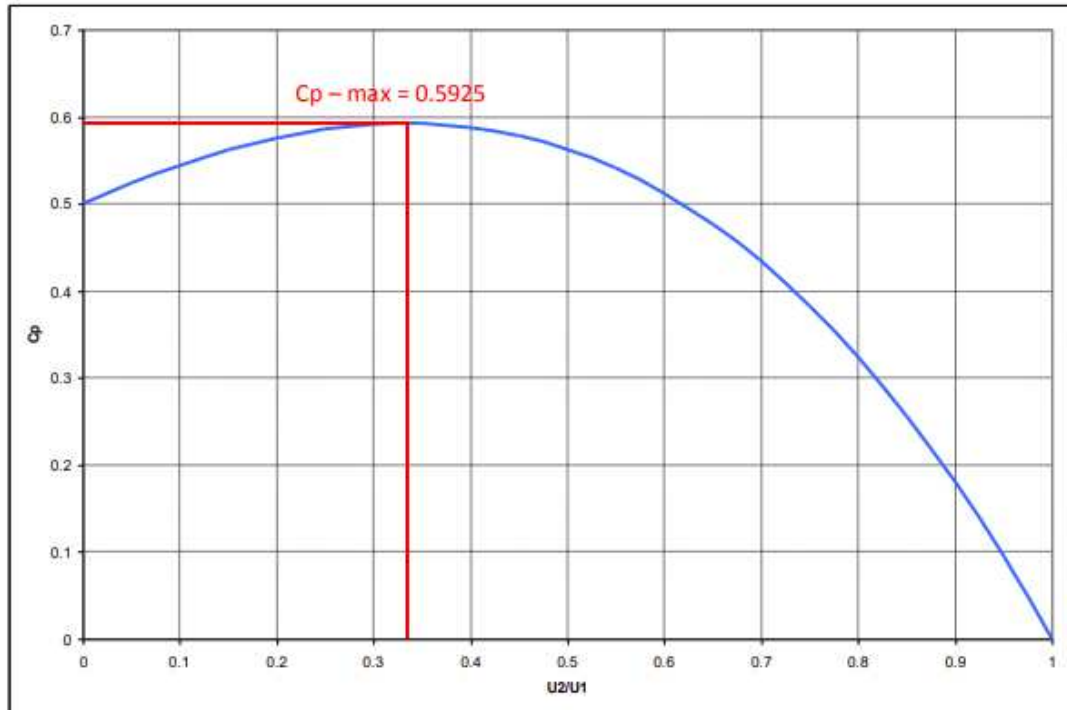


Figura N° 9: Limites Betz¹⁸

2.2.5. Variación vertical del viento¹⁹.

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

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha \dots (5)$$

Donde: α es un parámetro de que depende de la superficie

¹⁸ <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>

¹⁹ <https://deltavolt.pe/documentos/Atlas-Eolico-del-Peru-2016.pdf>

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

V₀ = Velocidad promedio del viento conocida a una altura (m/s)

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

H₀ = Altura a la que se midió Vref. (m)

Tabla N° 2: valores de para algunos tipos de terreno

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

Fuente: (Hualpa Mamani 2006, pag. 27)

Bajo atmósfera neutra y homogénea horizontalmente, sobre terreno horizontal se cumple la siguiente expresión:

$$V = \frac{V_*}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \dots (6)$$

Donde V_* es la velocidad de fricción, k es una constante y Z_0 es la llamada longitud de rugosidad superficial

2.2.5.1. Distribución de Weibull

La velocidad del viento se considera como una variable aleatoria que responde a la distribución de probabilidad de WEIBULL, el cual 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

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left[\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]} \dots (7)$$

Donde:

K: Parámetro de forma

C: Parámetro de escala

Distribución acumulativa: indica la probabilidad para que la velocidad del viento no se supere el valor de x y viene dado por la siguiente expresión:

$$F(v) = \int_0^v f(v) dv = \int_0^v \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv \dots (8)$$

$$= 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots (13)$$

Distribución acumulativa complementaria: indica la probabilidad para que la velocidad supere el valor de x , y viene dado por la siguiente expresión:

$$1 - \int_0^v f(v) dv = 1 - \int_0^v \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} =$$

$$1 - 1 + e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots (9)$$

Determinación de los parámetros de la función densidad de probabilidad de WEIBULL

Para determinar los parámetros debemos transformar la función de distribución acumulada en una función lineal

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \text{ entonces: } e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} = 1 - F(v)$$

$$\frac{1}{e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}} = 1 - F(v) \text{ entonces: } \frac{1}{1 - F(v)} = e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Aplicando logaritmo neperiano tenemos

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(v)}\right) = \ln\left(e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k}\right) \dots (10)$$

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

Nuevamente aplicamos logaritmo neperiano

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

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

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right) = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(c) \dots (11)$$

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

$$y = kx + b \dots (12)$$

Donde:

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(v)}\right)\right) \dots (13)$$

$$x = \ln(v) \dots (14)$$

$$b = -k \cdot \ln(c) \dots (15)$$

Identificados K y C, reemplazamos en la ecuación de Weibull

(ecuación (7))

Entonces de los datos venidos de la estación meteorológica automáticas se elabora la tabla de frecuencias absolutas, frecuencias relativas y frecuencias relativas acumuladas

Tabla N° 3: Tabla de frecuencias de la velocidad del viento²⁰

Velocidad (m/s)	frecuencia	Frecuencia acumulada relativa
V1	f1	F1
V2	f2	F2
V3	f3	F3
V4	f4	F4

Luego aplicamos las ecuaciones (13) y (14) y con ello elaboramos una nueva tabla que se muestra a continuación N°4

²⁰ Elaboración propia del autor

Tabla N° 4: cálculo²¹ de "X" e "Y"

X	Y
V1	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F1)))$
V2	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F2)))$
V3	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F3)))$
V4	$\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-F4)))$

Luego con los resultados de la Tabla N° 4, los graficamos y le hacemos un reajuste lineal en Excel o utilizamos el método de regresión lineal con las ecuaciones (16) y (17) ya que según la ecuación (12) responden a la ecuación de una recta; y con ello queda identificado:

$$k = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (16)$$

$$b = \frac{\sum y - k \sum x}{N} \dots (17)$$

Al obtener los valores de "k" y "b" lo reemplazamos en la ecuación (15) para hallar el parámetro "c", los cuales serán sustituidos en la función de distribución de WEIBULL.

²¹ Elaboración propia del autor

2.2.6. Aerogenerador

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

2.2.7. Tipos de aerogeneradores

En función de la potencia: De pequeña potencia, hasta 10 kW

De mediana potencia, desde 10 kW hasta 100 kW

De gran potencia, superiores a 100 kW

En función de la disposición del eje de giro:

2.2.7.1. Generadores de eje vertical:

Sus principales ventajas son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y que el generador, multiplicador, etc., son instalados a ras de suelo, lo que facilita su mantenimiento y disminuyen sus costos de montaje. Sus desventajas frente a otro tipo de aerogeneradores son sus menores eficiencias, la necesidad de sistemas exteriores de arranque en algunos modelos, y que el desmontaje del rotor por tareas de mantenimiento hace necesaria que toda la maquinaria del aerogenerador sea desmontada.

Aerogenerador con rotor Savonius: Es el modelo más simple de rotor, consiste en cilindros huecos desplazados respecto su eje, de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro, como se muestra en la figura N° 10. Se suele mejorar su diseño dejando un espacio entre ambas caras para evitar la sobre presión en el

interior de la parte cóncava. Pueden construirse superponiendo varios elementos sobre el eje de giro (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016).

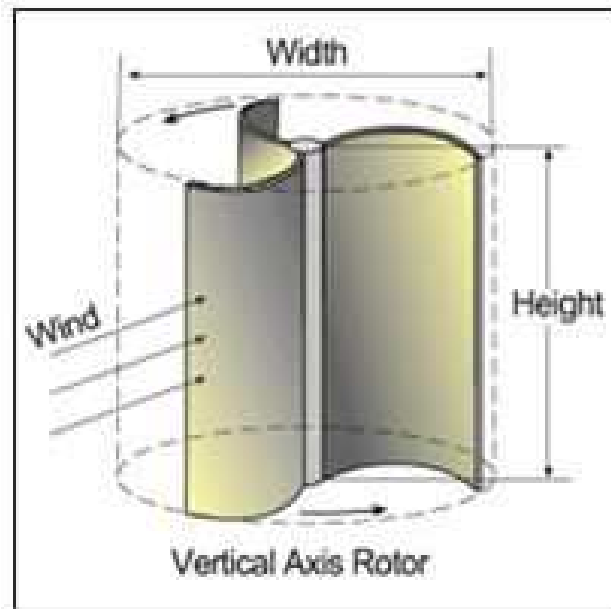


Figura N° 10: Aerogenerador Savonius²²

Aerogenerador con rotor Darrieus: Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, es el modelo de los aerogeneradores de eje vertical de más éxito comercial. Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión, el modelo de curva utilizado para la unión de las palas entre los extremos del rotor es el de Troposkien, aunque puede utilizarse también catenarias. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas, como se muestra en la figura N° 11, como los necesarios en los generadores de eje horizontal, permite mayores velocidades que las del rotor

²² <https://www.pinterest.es/pin/610097080741366414/?autologin=true>

Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016).



Figura N° 11: Aerogenerador tipo Darrieus²³

Aerogenerador con rotor Giromill: Este tipo de generadores también fueron patentados por G.J.M. Darrieus. Consisten en 8 palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, como se indica en la figura N° 12, que pueden salir por

²³ <http://energiaeolica1101-2016.blogspot.pe/2016/05/>

los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016).



Figura N° 12: Aerogenerador con rotor Giromill²⁴

Aerogenerador con rotor Windside: Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores

²⁴ http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

de eje horizontal (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016), como se muestra en la figura N°13.



Figura N° 13: Aerogenerador con rotor Windside²⁵

2.2.7.2. Aerogeneradores de eje horizontal

En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen conectados a red son tripalas de eje horizontal. Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre la torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016).

²⁵ http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

El modelo de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada:

Aerogenerador con rotor tripala: Es el más empleado en la actualidad, consta de 3 palas colocadas formando 120° entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y costo del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines generadores de energía de forma comercial, aunque si para fines mecánicos como bombeo de agua etc. (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016), la cual se indica en la figura N° 14



Figura N° 14: Aerogenerador con rotor tripala²⁶

Aerogenerador con rotor bipala: Ahorra el peso y costo de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripala, pero necesitan mayores velocidades de giro para producir la misma energía que aquellos, como se muestra en el gráfico

²⁶ <http://www.diariorenovables.com/2016/11/asi-son-los-aerogeneradores-que-instalara-iberdrola-en-el-parque-eolico-marino-de-wikinger.html>

Nº 15 Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre (Toapanta Aguilar y Hidalgo Guerrero 2016) .



Figura Nº 15: aerogenerador con rotor bipala²⁷

Aerogenerador con rotor monopala. Tienen, en mayor medida, los mismos inconvenientes que los bipala, necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo como se indica en el gráfico Nº 16.

²⁷ <http://www.sotaventogalicia.com/es/area-tecnica/instalaciones-renovables/minieolica>



Figura N° 16: Aerogenerador con rotor monopala²⁸

2.2.8. Energía solar

2.2.8.1. Energía solar en Latinoamérica

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en Latinoamérica y el Caribe (ver figura N°17), por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera.

²⁸ <http://energiaeolica1101-2016.blogspot.pe/2016/05/>



Figura N° 17: Mapa Irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe²⁹.

2.2.8.2. Energía solar en el Perú

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano. En la gran mayoría de localidades del

²⁹ Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.

Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 Kwh/m² día en la costa y selva y de 5-6 Kwh/m² día (ver figura N° 18), aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo³⁰.

³⁰ 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.



Figura N° 18: Mapa solar del Perú³¹

³¹ SENAMHI. «Atlas de energía solar del Perú.» 2003.

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

Las horas de sol pico son las horas que 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 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° 19. (Valdiviezo Salas 2014).

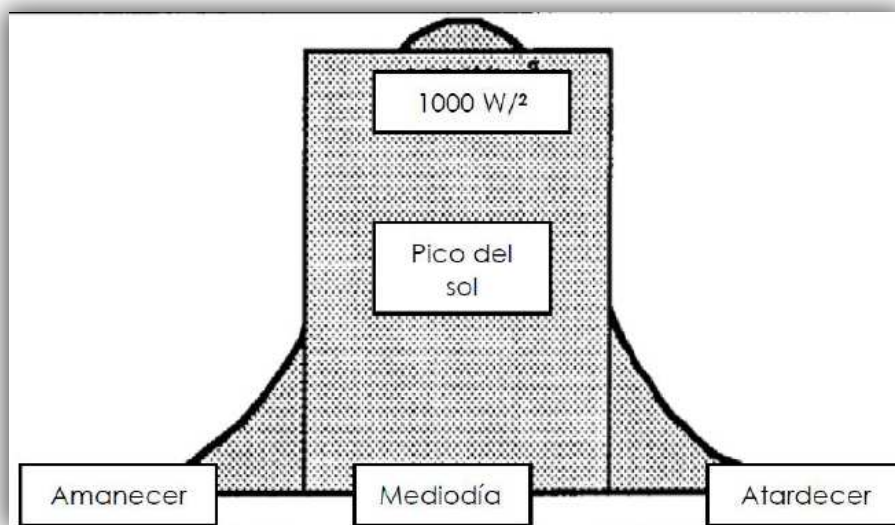


Figura N° 19: Concepto de horas sol pico³²

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

2.2.8.4. 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:

La radiación solar directa es aquella que llega al cuerpo desde la dirección del Sol

La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.

La radiación reflejada es, como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben.

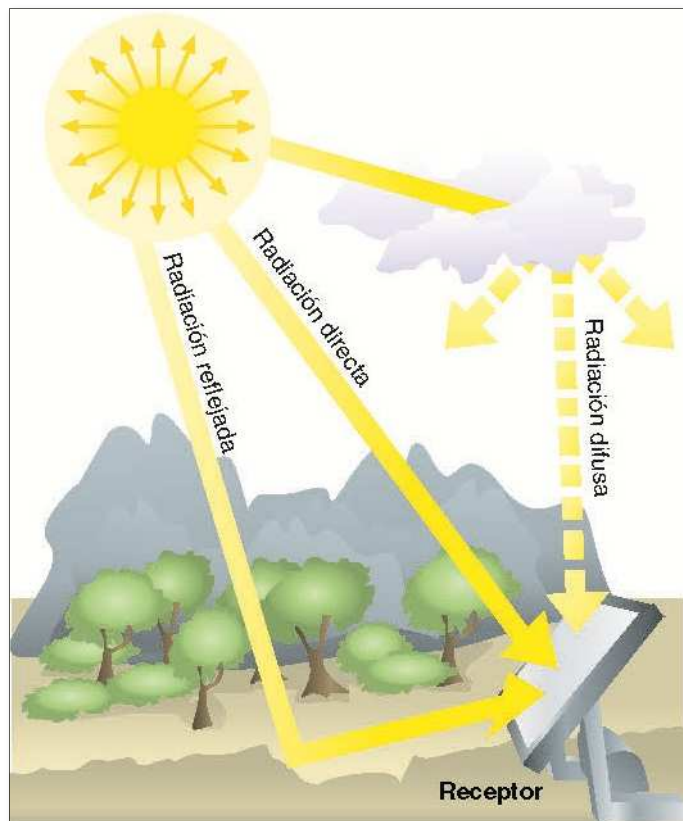


Figura N° 20: Componentes de la radiación solar³³

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico. (Ver Figura N° 20).

2.2.8.5. Efecto fotovoltaico

La electricidad es un flujo de electrones, cargas negativas que rodean el núcleo atómico. Se comprobó que en algunos cristales se producía un flujo eléctrico por la incidencia de la luz. En 1905 Albert Einstein descubrió que, en algunos casos, los fotones golpeaban a los electrones de un material al

³³ <http://calculationsolar.com/blog/wp-content/uploads/2013/04/figura14.jpg>

incidir sobre él, hasta llegar a liberarlos de sus átomos, permitiéndoles circular libres en forma de corriente eléctrica. La radiación electromagnética está compuesta por paquetes de energía o fotones. Cada fotón transporta una energía

$$E = h \cdot f \cdot (18)$$

Donde h es la constante de Planck y f la frecuencia del fotón en Hertz.

Cuando un fotón incide sobre el metal, transfiere toda su energía a alguno de los electrones. Si esta energía es suficiente para romper el enlace del electrón con el metal, entonces el electrón se desprende y se recombina (diferencia de potencial). Si el fotón transporta más energía de la necesaria, este exceso se transforma en energía cinética del electrón, saliendo del cristal al circuito exterior mediante conductores, la diferencia de potencial hará que fluya por el conductor exterior, esto dará lugar a la intensidad de corriente, que circulará en un solo sentido, es decir en corriente continua (cc). Es decir, que, si la energía del fotón es suficientemente grande, los electrones saldrán del cristal creando un flujo de electrones en el conductor del circuito, si la energía del fotón es pequeña, se desprenderán los electrones dentro del cristal, pero no saldrán de él, de esta manera tendremos una tensión en vacío o circuito abierto y ninguna o poca intensidad. Si los fotones tienen muy pocas energías son repelidas sin efecto alguno. No toda la energía de la luz se puede aprovechar para el efecto fotoeléctrico. Para el aprovechamiento total solo es importante la llamada radiación térmica, en la que se incluye la ultravioleta (UV), visible

(VIS) y la infrarroja (IR). (Figura N° 21) La temperatura en un cuerpo afecta a la hora de la radiación emitida por éste. (Gimenes, 2010)

Cuanto mayor es la temperatura mayor son los cambios:

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

$$\lambda = \frac{c}{T} \dots (19)$$

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

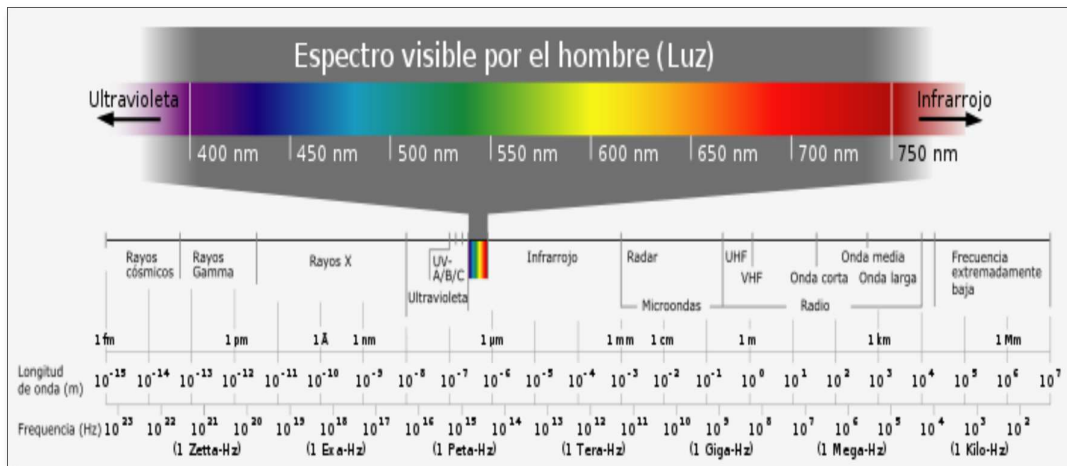


Figura N° 21: Gama de energía radiante

Fuente: (Gimenes, 2010)

2.2.9. Sistema 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.

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°22).

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

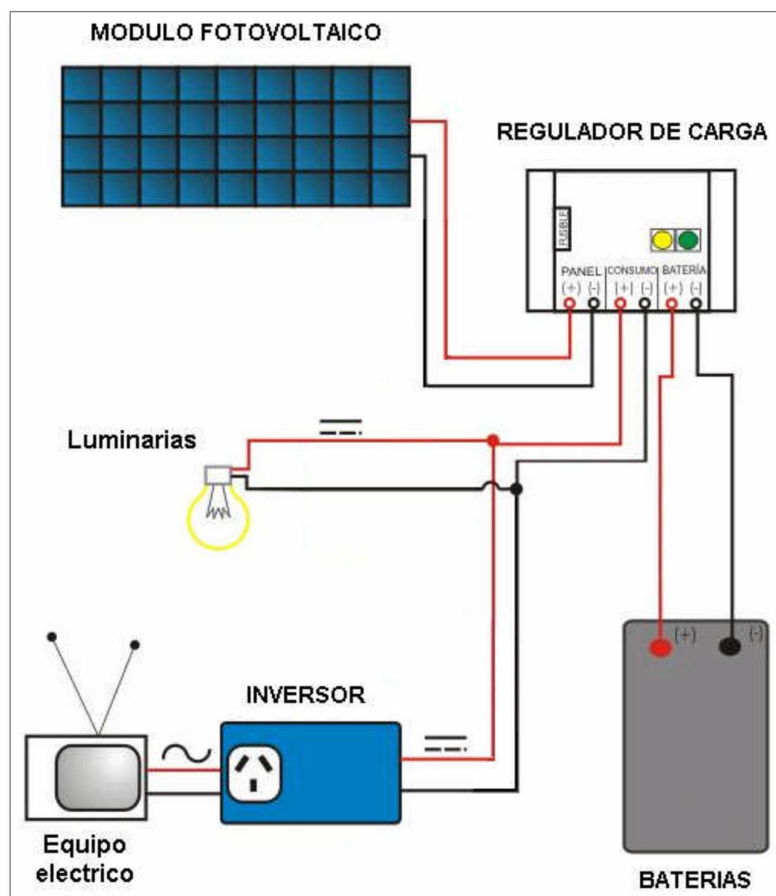


Figura N° 22: Esquema de un sistema fotovoltaico³⁴

2.2.9.1. Panel fotovoltaico

Una célula fotovoltaica por si sola solo es capaz de darnos un mínimo de tensión (0,5 V) e intensidad (2 A) por lo que es necesario juntar muchas células para tener valores suficientemente altos para trabajar. También son muy frágiles, no aisladas eléctricamente y sin un soporte mecánico. (Ver Figura N° 23) El módulo fotovoltaico tiene como misión captar la energía solar incidente y transformarla en energía eléctrica. Para eso tiene que tener una cantidad de células conectadas entre sí

³⁴ Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005

en serie y paralelo, de esta forma aumentará la tensión e intensidad y se podrá conectar a elementos de consumo para su uso posterior. La composición del panel fotovoltaico es la siguiente:

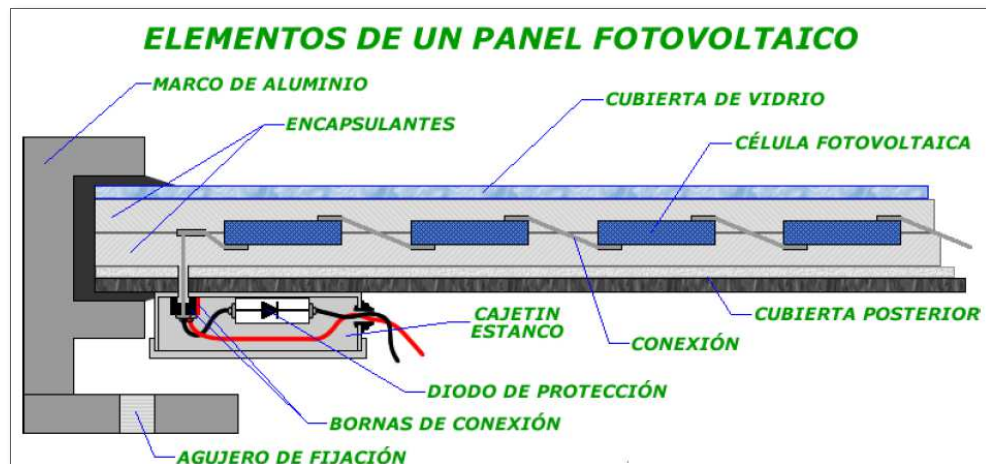


Figura N° 23: Partes de un panel fotovoltaico

Fuente: (Gimenes, 2010)

Las células están ensambladas entre dos capas de sostén. Las células se quedan entre dos capas en la llamada estructura “sándwich”, consiste en dos capas plásticas de protección, una traslúcida en la parte superior y protegida contra los UV. Otra inferior para aumentar la rigidez del “sándwich” (encapsulantes, EVA). Por encima de la capa superior se coloca un cristal de vidrio templado, con bajo contenido en plomo para no reducir la transmisividad de la luz a través del mismo, y en la capa inferior la cubierta posterior de material plástico (Tedlar). Estando preparado de esta forma se mete en un horno de alta temperatura al vacío. Cuando se saca del horno queda un único bloque laminado en el que las células están unidas al material plástico fundido. A continuación, se añade el marco de

aluminio anodizado o acero inoxidable para envolver el conjunto del módulo.

Esta estructura es estanca con goma butílica entre el marco y el módulo. El marco debe tener de fábrica agujeros de fijación para así evitar utilizar máquinas de perforar que puedan dañar el panel fotovoltaico. Una perforación es para la toma de tierra. (Gimenes, 2010)

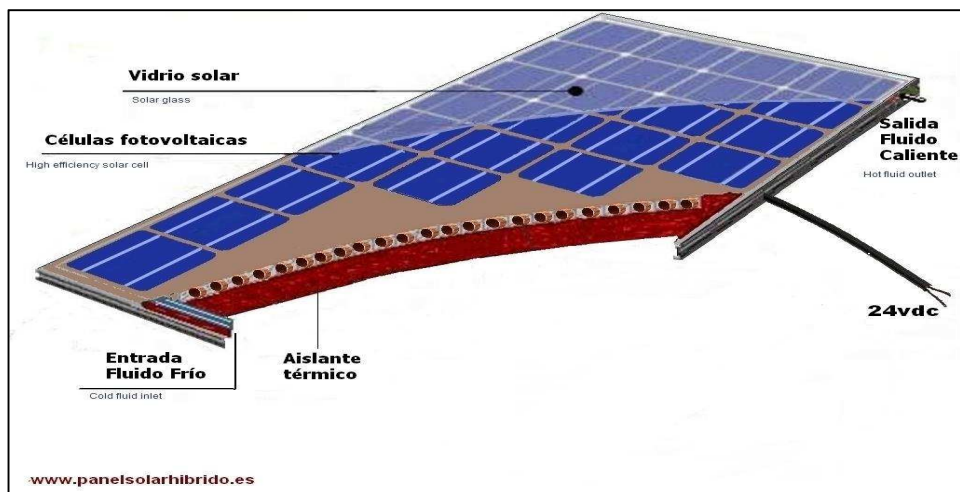


Figura N° 24: Panel fotovoltaico policristalino

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

Tabla N° 5: Tipos de paneles fotovoltaicos³⁵

CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

2.2.9.2. Regulador

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

³⁵ <http://www.electricidad-gratuita.com/curso-gratis-energia-solar-fotovoltaica/>

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)



Figura N° 25: Controladores para sistemas fotovoltaicos³⁶

³⁶ <http://luminasol.com.mx/controlador-de-carga-solar/>

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.

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

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

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

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

Tensión nominal (V)

Corriente máxima (A)

Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie

Polaridad de terminales y conexiones

2.2.9.3. 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.

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 N° 26) 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.

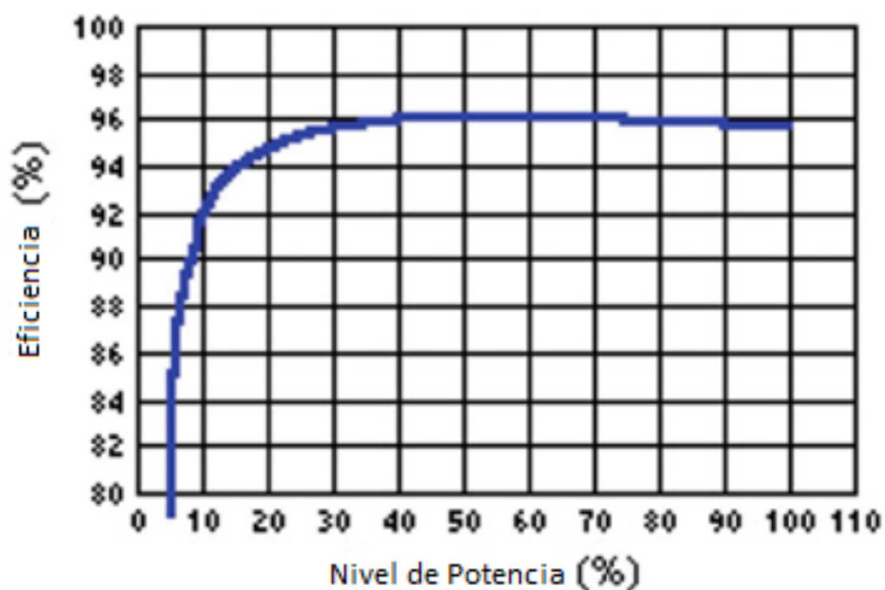


Figura N° 26: Curva típica de eficiencia del inversor

Fuente: (Valdiviezo Salas, 2014)

2.2.9.4. Montaje de paneles solares³⁷

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto. Para nuestro caso, analizaremos si se debe utilizar **seguidores solares** o **un sistema fijo**.

³⁷ (Valdiviezo Salas 2014)

Sistema Fijo

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.

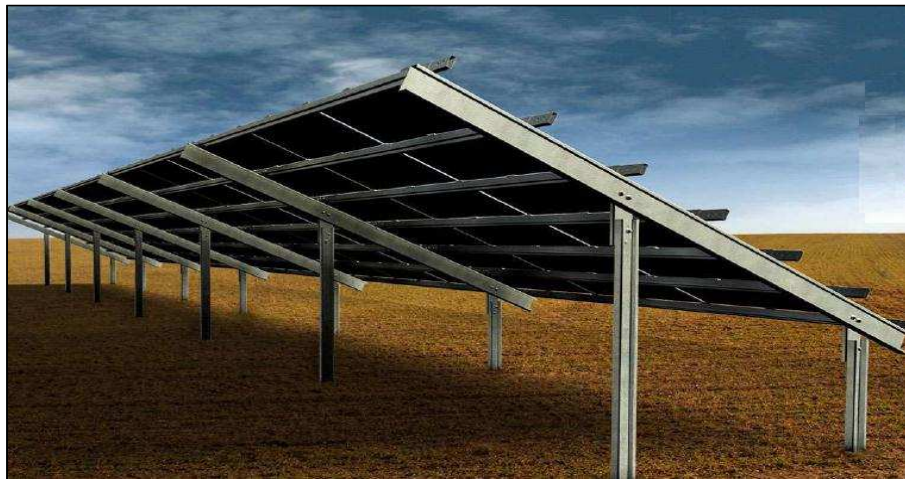


Figura N° 27: Estructura Fija³⁸

Seguidores Solares

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de

³⁸ (Valdiviezo Salas 2014)

control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

1. Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
2. Seguidores doble eje



Figura N° 28: Instalación de Seguidor Solar³⁹

³⁹ (Valdiviezo Salas 2014)



Figura N° 29: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar⁴⁰

2.2.9.5. Banco de baterías

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

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

⁴⁰ (Valdiviezo Salas 2014)

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

Energía eléctrica → Energía química → Energía eléctrica
(Generación) (Almacenamiento) (Consumo)

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

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

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

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

$$C = I \times T \dots (20)$$

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

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

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

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

2.2.9.6. Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla N° 6, podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas

Tabla N° 6: Características de los principales tipos de baterías

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

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf





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

Figura N° 30: Baterías utilizadas en instalaciones solares

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica.pdf

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

La Figura N° 30, nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.

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

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

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

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

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

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

b) Número de días de autonomía

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

aquellos sistemas que requieren mayor fiabilidad tendrán que estar proyectados para más días de autonomía (Castejon, 1998)

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

2.2.9.7. Cables

En los sistemas fotovoltaicos, como toda instalación que queda permanente al aire libre, los cables deben estar diseñadas para resistir las duras inclemencias meteorológicas (temperaturas ambientales extremas, radiación solar ultravioleta, humedad, resistencia a los impactos) que condicionan la calidad de los materiales empleados.

En las instalaciones eléctricas hasta hace relativamente poco, se utiliza para el cableado y conexionado entre los paneles, de éstos con la caja del regulador de carga, de regulador al inversor, baterías, etc. cables de polietileno reticulado de la cubierta de los cables tipo THW-90, NYY, etc.

2.2.9.8. Cálculos para el sistema fotovoltaico

Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Se selecciona la potencia del panel fotovoltaico en base al menor costo total y de marcas reconocidas, considerando las ecuaciones (21), (22)

$$Potencia\ del\ generador\ fotovoltaico(kWp) = \frac{E_{elec}}{HSP \times PR} \dots (21)$$

$$Numero\ de\ paneles(N_{MF}) = \frac{E_{elec}}{HSP \times Potencia\ panel(Wp)} \dots (22)$$

Luego calculamos el número de paneles fotovoltaicos en serie y luego el número de ramas de paneles en paralelo con las ecuaciones (23) y (24)

$$N_{paneles-serie} = V_{de\ trabajo} / V_{modulof} \dots (23)$$

$$N_{ramas-paralelo} = N_{modulos} / N_{paneles-serie} \dots (24)$$

La energía diaria que entregara el generador fotovoltaico es de:

$$E_{modulos-f} = P_{modulo-f} \times N_{paneles} \times HSP \dots (25)$$

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

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

donde:

β_{opt} : Angulo de inclinación optimo

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

Para el dimensionamiento del banco de baterías usaremos la siguiente ecuación

$$C_T = (N_{autonomia} \times E_{entregado\ a\ la\ carga}) / (P_D \times V_T) \dots (27)$$

Donde:

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

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

$P_D = 0,7$.

$V_T = 48 \text{ V}$.

El número de baterías que deben conectarse en serie:

$$N_{S \text{ bat.}} = V_T / V_{bat.} \dots (28)$$

Donde:

$N_{S \text{ bat.}}$ = 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).

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

$$N_{P \text{ bat.}} = C_T / C_{bat.} \dots (29)$$

Donde:

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

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

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

Para dimensionar el controlador hay que considerar la corriente máxima

que circulará con la siguiente ecuación:

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas-paralelo}} \dots (30)$$

La tensión a la que el controlador estará sometido se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{max-regulador}} = 1,25 \times V_{OC \text{ panel}} \times N_{\text{paneles-serie}} \dots (31)$$

Donde:

$V_{max-regulador}$ = Voltaje máx. que debe soportar el regulador (V).

$V_{OC\ panel}$ = Voltaje de circuito abierto (V).

$N_{paneles-serie}$ = Número de módulos conectados en serie.

El número de controladores se calculará con la siguiente ecuación:

$$N_{reguladores} = I_{minimo\ del\ regulador} / I_{regulador\ seleccionado} \dots (32)$$

$$N_{ramas\ de\ paneles\ solares\ por\ regulador} = N_{ramas\ de\ paneles} / N_{reguladores} \dots (33)$$

Para el dimensionamiento del inversor usaremos la siguiente ecuación

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{Maxima\ demanda\ de\ la\ carga}{eficiencia\ del\ inversor} \dots (34)$$

Para la selección de conductores eléctricos usaremos las siguientes ecuaciones:

$$I_{minimo\ del\ regular} = 1,25 \times I_{Cortocircuito\ del\ panel} \times N_{Pmf} \dots (35)$$

$$I_{MAX\ inv} = 1,25 \times P_{carga} / (V_{tension\ de\ trabajo} \times \eta_{inversor}) \dots (36)$$

$$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V) \dots (37)$$

2.2.10. La carga

La carga representa la demanda de energía eléctrica requerida, que, en nuestro caso, es el caserío LLushcapampa no existe suministro eléctrico y

la población utiliza para iluminación velas, mecheros, baterías que para cargarlos los habitantes tienen que recorrer largas distancias.

2.2.10.1. Ecuaciones para calcular la energía promedio diaria

Proyección de la población: para la proyección de la población usaremos la siguiente ecuación:

$$P_{20} = P_0(1 + i)^n \dots (38)$$

Donde la población en el año 1993).

P_{20} : Población después de n años

i: Taza de crecimiento poblacional

Calculado el número de habitantes proyectados para el año 20 procedemos a calcular el número de viviendas proyectadas utilizando la siguiente ecuación:

$$Vivivenda_{20} = Vivienda_0 \times \left(\frac{Poblacion_{20}}{Poblacion_0} \right) \dots (39)$$

Energía para el alumbrado publico

El número de puntos de iluminación (PI), se calcula de acuerdo a norma DGE “Alumbrado de vías públicas en áreas rurales”, el mismo que se presenta a continuación.

Consumo de energía mensual por alumbrado público (CMAP):

$$CMAP = KALP \times UN \dots (40)$$

Donde:

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kW.h

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

NU = Número de usuarios de la localidad

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

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{NHMAP \times PPL} \dots (41)$$

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).

Luego para determinar la energía eléctrica que será necesario suministrar a la unidades de vivienda, de los resultados de las entrevista se elabora la siguiente Tabla N° 7

Tabla N° 7: Energía promedio diaria⁴¹

Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso (horas/día)	Energía consumida (Wh)	Potencia Instalada (W)
Lámparas	P1	C1	h1	E1	P1
Televisor	P2	C2	h2	E2	P2
Carga de celular	P3	C3	h3	E3	P3
Radio	P4	C4	h4	E4	P4
Laptop	P5	C5	h5	E5	P5
TOTAL				Et	PT

Entonces a partir de la Tabla N° 7, se procederá al cálculo de la energía de la carga

$$E_i = P_i C_i h_i \dots (42)$$

$$E_{viviendas} = \left(\sum_{i=1}^n E_i \right) \times N_{viviendas} \dots (43)$$

El mismo procedimiento para las cargas especiales

$$E_{cargas\ especiales}$$

$$E_{alumbrado} = P_{lampara} \times P_l \times h_{uso} \dots (44)$$

$$\begin{aligned} \text{Entonces la energía total} &= E_{viviendas} + E_{cargas\ especiales} \\ &+ E_{alumbrado} \dots (45) \end{aligned}$$

⁴¹ Fuente: elaboración propia del autor

Debido a que la energía eléctrica producida por el sistema eólico fotovoltaico no llega en su totalidad a la carga debido a las pérdidas entonces se considera un factor de rendimiento (F)

$$E_{\text{sistema}} = E_{\text{entrega a la carga}} / F. \quad (46)$$

Donde F

$$F = 1 - \left[\frac{f_a x N}{p_d} \right] - f_b - f_i - f_j. \quad (47)$$

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

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

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

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

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

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

2.2.11. Sistema hibrido solar fotovoltaico



Figura N° 31: Sistema hibrido eólico fotovoltaico⁴²

1. Grupo de módulos fotovoltaicos
2. Regulador de carga solar
3. Grupo de acumuladores
4. Aerogenerador
5. Regulador eólico de carga
6. Inversor 48 V CC - 220 V AC

⁴² Energía-Eólica-guia-tecnica.pdf

CERDÁN (2011) En la tesis titulado: Diseño De Un Sistema De Bombeo Solar-Eólico Para Consumo De Agua En Cabañas Ecoturísticas En La Pitaya, Veracruz, México⁴³ nos explica:

El principal inconveniente de casi todas las fuentes renovables de energía es su naturaleza fluctuante que obliga a invertir en sistemas de almacenamiento a fin de asegurar el suministro continuo de energía. Los equipos de almacenamiento energético, además de encarecer el sistema, disminuyen su eficiencia. Sin embargo, se ha comprobado que el empleo de varias fuentes renovables combinadas en un sistema energético integrado produce un efecto sinérgico, esto es, que el beneficio total es mayor que la suma de los beneficios que se obtendrían con sistemas individuales.

2.2.12. Ecuaciones para la red de distribución secundaria

Se utilizará la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

Para la caída de tensión usaremos la siguiente ecuación:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3} \dots (48)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Por capacidad de corriente

⁴³ <https://www.soliclima.es/electrificacion-rural>

$$I_{MAX\ carga} = P_{inversor} / \text{tension del a red BT..} (49)$$

La carga Unitaria Resultante del Conductor está dado por las siguientes ecuaciones.

$$W_r = \sqrt{W_c^2 + W_v^2} \dots (50) \quad \text{Dónde:} \quad W_v = \frac{d * P_v}{1000} \dots (51)$$

Pv: Presión del viento (Kg/m²)

d: Diámetro del conductor (mm)

Wc: Peso propio del conductor (Kg/m)

La flecha se calculará con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{W_r * L^2}{8A\sigma} \dots (52)$$

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

L: Vano (m).

A: Sección del conductor (mm²).

σ²: Esfuerzo en la hipótesis considerada (Kg/mm²).

El vano básico se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{basico} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n a_i}} \dots (53)$$

Y la ecuación de cambio de estado con:

$$\sigma_F^2 \left[\sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 * L^2 * E}{24 * A^2 * \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 * L^2 * E}{24 * A^2} \dots (54)$$

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Estación meteorológica: Instalación equipada, donde se realizan mediciones pluviométricas, presión atmosférica, evaporación, temperatura, caudales, volúmenes y otros con fines estadísticos útiles para la operación de los sistemas hidráulicos.

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

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

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

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

Buje: Centro del rotor donde se acoplan las palas.

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

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

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

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

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

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

Límite de Betz (*Betz limit*): Máximo valor del coeficiente de potencia alcanzable por el rotor de una aeroturbina. Fue establecido por el físico alemán Albert Betz en el año 1919 y su valor es el 59,3%.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m^2 o unidades equivalentes.

Irradiación

Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 o, en caso de un día, en $\text{Wh/m}^2/\text{día}$ o unidades equivalentes.

Modulo o panel fotovoltaico

Serán los encargados de la generación eléctrica. Pueden ser de varios tipos, entre ellos, los más utilizados para este tipo de instalación son los paneles con tecnología mono cristalino y poli- cristalina.

Instalación fotovoltaica

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

Acumulador: Se encargan de acumular la energía eléctrica generada por el sistema de generación fotovoltaico para poder disponer de ella en las horas del día que no luzca el sol. Las más recomendadas para este tipo de instalaciones son las estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 o 48 Vcc que sea adecuado en cada caso

Inversor

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

a) La investigación es Aplicada: En esta tesis utilizaremos las teorías relacionadas a sistemas eólicos, fotovoltaicos y híbridos eólico fotovoltaicos para así volcarlo a la realidad y solucionar el problema de ausencia de energía eléctrica en el caserío LLushcapampa

b) Investigación Descriptiva: Porque además de dimensionar los equipos se seleccionan del mercado. Se describe la situación actual del caserío, a que se dedican, su condición económica.

El diseño de investigación es no experimental: Debido a que se estudia a la población sin alterarla. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para analizarlos con posterioridad. Los sujetos son observados en su ambiente natural⁴⁴.

3.2. Población y muestra

Población: Son las 28 unidades de vivienda y el local comunal del caserío LLushcapampa en la provincia de Chota.

Muestra: como muestra se tomará las 28 unidades de vivienda y el local comunal del caserío LLushcapampa en la provincia de Chota.

⁴⁴ https://www.ecured.cu/Investigaci%C3%B3n_no_experimental

3.3. Hipótesis

Si se utiliza la energía eólica y solar fotovoltaica entonces lograremos generar energía eléctrica suficiente para el caserío LLushcapampa ubicado en la provincia de Chota departamento de Cajamarca

3.4. Operacionalización de variables

X: Variable independiente:
Energía eólica y solar fotovoltaica

Y: Variable dependiente:
Energía eléctrica

Tabla N° 8: Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable independiente Energía eólica y solar fotovoltaica	<p>La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire⁴⁵</p> <p>La Energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear⁴⁶.</p>	Dimensionamiento de un sistema eólico - fotovoltaico.	<p>Velocidad del viento (m/s)</p> <p>seleccionar el aerogenerador (kW)</p> <p>Selección de paneles fotovoltaico (kWp). Selección de Controladores (V/A), baterías (Ah), inversores (P),</p>
Variable dependiente Energía eléctrica	<p>La energía eléctrica es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos como el cobre)⁴⁷.</p>	<p>Calcular la energía eléctrica promedio proyectada</p>	<p>Energía proyectada promedio diaria. (W.h)</p> <p>Máxima demanda (W)</p>

Fuente: Elaborado por el propio Autor a partir de conceptos

⁴⁵ <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-eolica/que-es-la-energia-eolica>

⁴⁶ http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm

⁴⁷ <https://twenergy.com/energia/energia-electrica>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

a) Deductivo: Debido a que se han considerado características generales del uso de energías renovables, para aplicaciones particulares como es el caso del caserío LLushcapampa.

b) Analítico: Porque se ha realizado el estudio de sistemas que usan sistemas con energía eólica y fotovoltaica para determinar las características eléctricas de todos sus componentes, cuyo objetivo es el suministro de energía eléctrica.

c) Histórico: En el desarrollo de la tesis se ha considerado como antecedentes estudios realizados en contextos internacionales, nacionales y locales por diferentes autores referentes a sistemas eólicos y fotovoltaicos.

Las técnicas principales que se usarán en el desarrollo de la presente tesis son las siguientes:

a) La Entrevista⁴⁸: es un diálogo entablado entre dos o más personas: el entrevistador interroga y el que contesta es el entrevistado. La palabra **entrevista** deriva del latín que significa "Los que van entre sí". Se realizó la entrevista a los habitantes de las viviendas del

⁴⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Entrevista_period%C3%ADstica

caserío con la finalidad de conocer los electrodomésticos que usan y las que usarían en caso de haber suministro de energía eléctrica.

Al llegar al caserío nos reunimos con el teniente de LLushcapampa el señor: Enrique Tello Chupillon.

b) La observación⁴⁹: Consiste en examinar directamente algún hecho o fenómeno según se presenta espontáneamente y naturalmente, teniendo un propósito expreso conforme a un plan determinado y recopilando los datos en una forma sistemática. Entonces esta técnica nos permitió conocer la situación actual de la población, determinar la posible ubicación del sistema eólico fotovoltaico, recorrido de la red secundaria, etc.

c) Análisis de contenido

Se utilizó esta técnica para obtener información de diferentes bibliografías sobre sistemas fotovoltaicos sistemas eólicos: tesis, revistas, textos, software páginas web, etc.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados en esta tesis son los siguientes:

En la técnica de la observación: en esta técnica se usó un cuaderno de apuntes y lapicero con la finalidad de recopilar información sobre la

⁴⁹ https://www.ecured.cu/Observaci%C3%B3n_cient%C3%ADfica

situación actual del caserío, unidades de vivienda, cargas especiales, ubicación del sistema eólico fotovoltaico, etc.

En la técnica del análisis documental: Se han revisado referentes libros, revistas, tesis, normas técnicas peruanas e internacionales relacionadas con los sistemas eólicos fotovoltaicos los cuales servirán de base para el capítulo II.

En la técnica de la entrevista: Se utilizó un cuaderno de apuntes y lapicero para recopilar datos relevantes para el dimensionamiento del sistema eólico fotovoltaico.

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Inicialmente recopilaremos información de la población: número de viviendas actuales, cargas especiales, número de habitantes, luego determinaremos un consumo promedio (considerando los artefactos electrodomésticos comunes para todos) como resultado obtendremos la energía eléctrica, es necesario proyectar la población para un horizonte de 20 que es la vida útil promedio de los paneles fotovoltaicos y del aerogenerador. En este caso recopilaremos información de las tasas de crecimiento poblacional de los diferentes censos y calcularemos el valor promedio, luego recopilaremos información de la irradiación solar y consideraremos el mes crítico, es decir con menor velocidad de viento para el cálculo a continuación dimensionaremos y seleccionaremos los equipos que utilizarán la energía eólica y solar fotovoltaica y logrará transformarla en energía eléctrica (usaremos hojas de cálculo en Excel 2016) luego con la finalidad de hacer llegar

la energía eléctrica a cada uno de las viviendas y local comunal se dimensionará la red de distribución secundaria. Para posteriormente elaborara los planos en AUTOCAD. Como vemos, haremos uso de la estadística descriptiva y en el caso de la velocidad del viento utilizaremos la distribución de WEIBULL.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

Con la finalidad de solucionar la problemática existente en el caserío LLushcapampa y con el objetivo de suministrar energía eléctrica; se propone el uso de la energía eólica y solar fotovoltaica a través de un sistema eólico fotovoltaico que tendrá los siguientes equipos mínimos.

a) Aerogenerador. En este trabajo se considerará un aerogenerador el cual esta implementado con su controlador de carga, compartirán el suministro de energía eléctrica con el generador fotovoltaico

b) Generador Fotovoltaico: Se considerará en paneles fotovoltaicos de reconocida marca por ejemplo SIMAX o YINGLI SOLAR y de una potencia lo suficiente como para poder suministrar en conjunto con el aerogenerador la energía demandada por la carga.

b) Controlador de carga solar: De marca reconocida por ejemplo VICTRON ENERGY 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 ROLLS, RITAR con la capacidad suficiente para poder suministrar energía eléctrica de acuerdo a los días de autonomía.

d) El inversor: La corriente eléctrica proveniente del sistema eólico-fotovoltaico es en CD con la finalidad de transformar la corriente eléctrica en CD a AC y poder suministrarle a la carga los 220 V se utiliza el inversor el cual debe ser de una marca reconocida y potencia comercial.

e) Red de distribución en 220 V:

La energía debe ser transportada desde el sistema eólico-fotovoltaico a cada una de las viviendas para ello es necesario una red de distribución en baja tensión el cual se dimensionara en base a las normas de electrificación rural del ministerio de energía y minas.

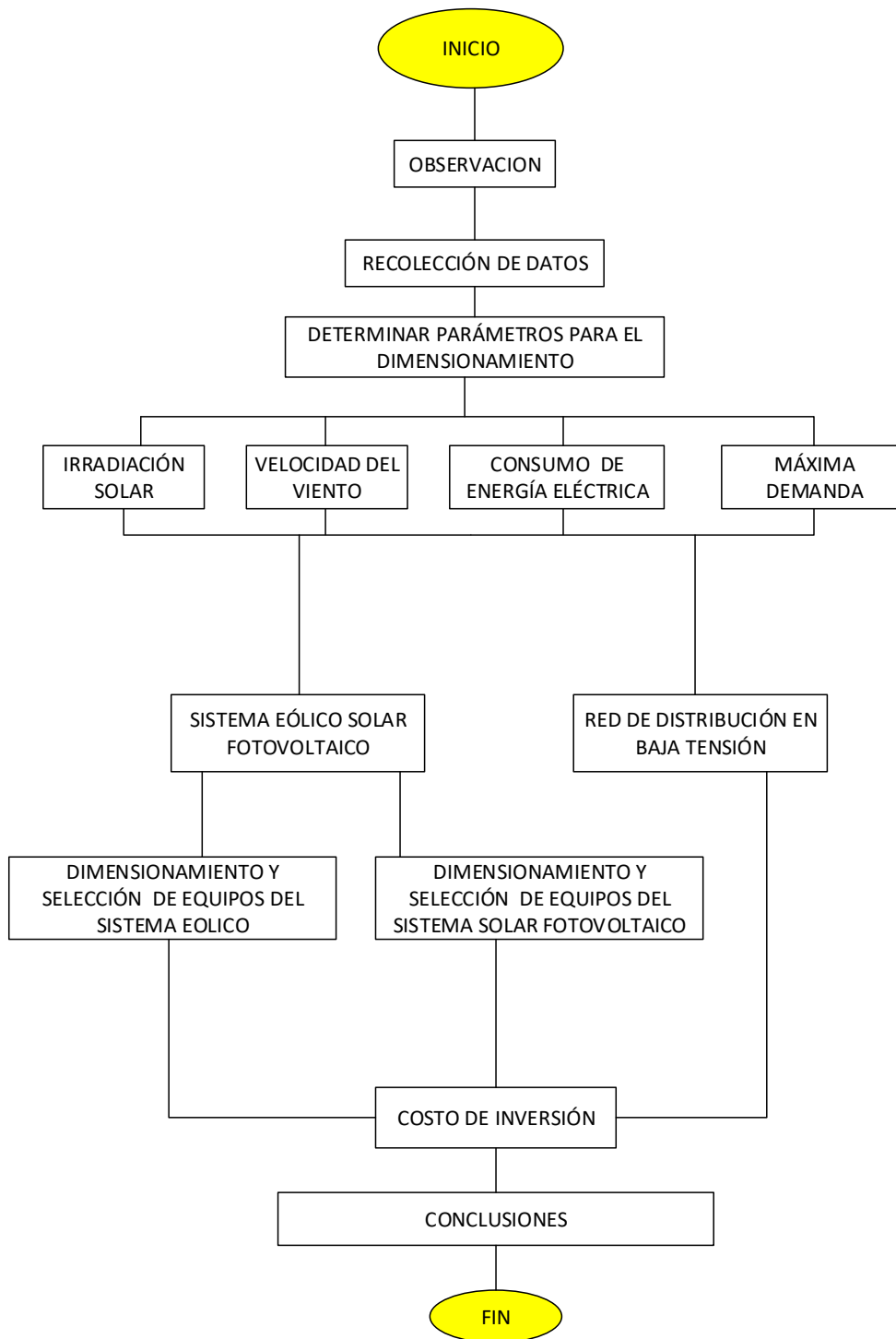


Figura N° 32: Flujograma de la propuesta⁵⁰

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Calculo de la demanda promedio proyectada de energía eléctrica y máxima demanda para el caserío en el LLushcapampa.

El caserío LLushcapampa ubicado en Huambos tiene 28 viviendas y 01 local comunal y 100 habitantes. El primer paso sería proyectar el número de viviendas, las tasas de crecimiento consideradas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 9: Tasas de crecimiento⁵¹ para el departamento de Cajamarca hasta el 2017

PERÚ: TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL DE LA POBLACIÓN CENSADA, SEGÚN DEPARTAMENTO, 1940 - 2017						
(Porcentaje)						
Departamento	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007-2017
Total	2,2	2,9	2,5	2,2	1,5	0,7
Amazonas	2,9	4,6	3,0	2,4	0,8	0,1
Áncash	1,5	2,0	1,4	1,2	0,8	0,2
Apurímac	0,5	0,6	0,5	1,4	0,4	0,0
Arequipa	1,9	2,9	3,2	2,2	1,6	1,8
Ayacucho	0,6	1,0	1,1	-0,2	1,5	0,1
Cajamarca	2,0	1,9	1,2	1,7	0,7	-0,3
Prov. Const. del Callao	4,6	3,8	3,6	3,1	2,2	1,2
Cusco	1,1	1,4	1,7	1,8	0,9	0,3
Huancavelica	1,0	0,8	0,5	0,9	1,2	-2,7
Huánuco	1,6	2,1	1,6	2,7	1,1	-0,6
Ica	2,9	3,1	2,2	2,2	1,6	1,8
Junín	2,1	2,7	2,2	1,6	1,2	0,2
La Libertad	2,0	2,8	2,5	2,2	1,7	1,0
Lambayeque	2,8	3,8	3,0	2,6	1,3	0,7
Lima	4,4	5,0	3,5	2,5	2,0	1,2
Loreto	2,8	2,9	2,8	3,0	1,8	-0,1

⁵¹ https://www.inei.gob.pe/media/menurecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/moro.pdf

A partir de la Tabla N° 9, elaboramos la tabla N° 10, con la finalidad de calcular la tasa de crecimiento promedio cuyo valor lo consideraremos como la tasa de crecimiento en el caserío LLushcapampa

Tabla N° 10: Tasa de crecimiento para el caserío LLushcapampa⁵²

Periodo	Tasa de crecimiento
1940-1961	2,0 %
1961-1972	1,9 %
1972-1981	1,2 %
1981-1993	1,7 %
1993-2007	0,7 %
2007-2017	-0,3 %
Promedio: 1,2 %	

Ahora proyectamos las viviendas para 20 años (teniendo en cuenta la vida útil promedio de los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador)

Aplicando la ecuación (38) proyectamos el número de habitantes con los siguientes datos:

Donde:

Po: Población actual (100 habitantes)

P₂₀ : Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,20 %)

⁵² Fuente: elaboración propia del autor a partir de los datos del INEI

El número de habitantes proyectados para el año 20 es de:

$$P_{20} = 100x(1 + 0,012)^{20} = 126,94 \approx 127 \text{ habitantes}$$

Utilizando la ecuación (39) calcularemos el número de viviendas proyectadas:

$$Vivienda_{20} = 28x\left(\frac{127}{100}\right) = 35,56 \approx 36 \text{ viviendas}$$

También calculamos el número de lámparas para el alumbrado público, utilizándolas ecuaciones (40) y (41) tenemos lo siguiente:

NU = Número de usuarios del caserío (28)

$$CMAP = 3,3x28 = 92,40 \text{ kW.h}$$

El número de punto de iluminación (PI):

$$PI = \frac{92,40x1000}{360x60} = 4,28$$

Donde:

PPL = Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watts (60 W). Entonces el número de unidades de alumbrado público es de 4.

Tabla N° 11: Energía total proyectado⁵³ en el caserío LLushcapampa

<i>Energía eléctrica promedio diaria y potencia instalada en el caserío LLushcapampa</i>					
Carga	Potencia (W)	Cantidad	Uso diario (h)	Consumo diario promedio (Wh)	potencia (W)
Viviendas proyectadas: 36					
Lámparas	8	4	3	96	32
Televisor	80	1	3	240	80
Carga de celular	10	2	1	20	20
PC	300	1	3	900	300
Radio	20	1	3	60	20
Sub total				1316	452
Local comunal					
Lámparas	8	4	3	96	32
equipo de sonido	300	1	3	900	300
Televisor	80	1	4	320	80
Carga de celular	10	2	1	20	20
Sub total				1 336,00	432
Alumbrado publico					
Lámparas	60	3	4	720	180
Sub total				720,00	180
Total				49 432,00	16 884,00

De la entrevista realizada a los pobladores del caserío LLushcapampa elaboramos la Tabla N° 11, considerando los artefactos electrodomésticos comunes, su potencia, horas de consumo

De la Tabla N°11 y utilizando las ecuaciones (42) y (43) la energía promedio diaria y para hallar energía total se usarán las ecuaciones (44) y (45) obteniendo que el consumo de energía eléctrica para el caserío LLushcapampa es de:
49 432,00 W.h

⁵³ Fuente: elaboración propia del autor

La energía que debe suministrar el conjunto generador fotovoltaico y aerogenerador se obtendrá multiplicando la energía de la carga por un factor de eficiencia global aplicando las ecuaciones (46) y (47) tenemos lo siguiente:

$$E_{sistema} = E_{entrega a la carga} / F$$

Donde F

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

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

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

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

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

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

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

Reemplazando en (5) obtenemos que $F = 0,76$

Ahora reemplazando en (4) obtenemos que la energía que suministra el sistema a la carga es de:

$$E_{entrega a la carga} = 49\,432,00 / 0,76 = 65\,042,11 \text{ W.h}$$

Entonces la energía del sistema es 65 042,11 Wh.

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 demanda:

$$\text{Maxima Demanda} = 16\,884, W$$

5.2. Datos de Irradiación solar y velocidad del viento en LLushcapampa

5.2.1. Irradiación solar

Para obtener la radiación solar en el caserío LLushcapampa, se han considerado dos fuentes: El atlas solar del Perú, y el uso de los datos de la NASA, Los datos obtenidos se detallan a continuación:

Atlas de energía solar del Perú, la radiación solar máxima y mínima, para el departamento de Cajamarca⁵⁴, observamos que la radiación solar más desfavorable varía entre 4,5 kWh/m²/día y 5 kWh/m²/día por lo que se considerará el valor promedio de 4,75 kWh/m²/día.

⁵⁴ SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Peru*.

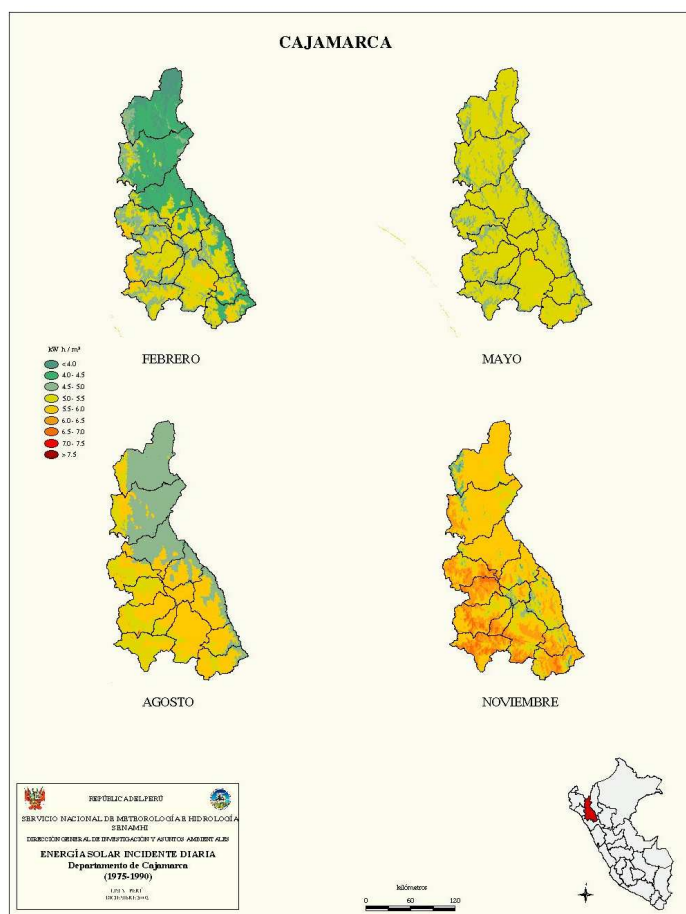
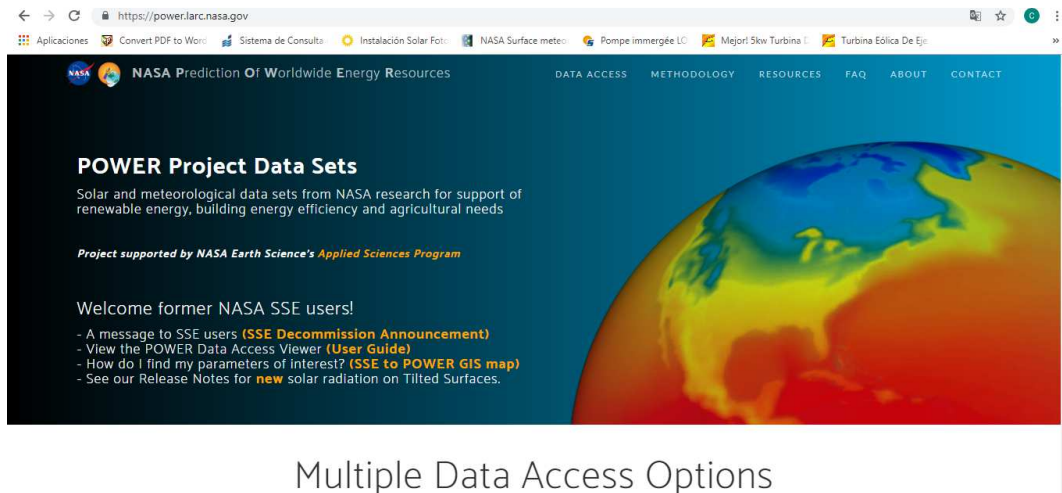


Figura N° 33: Irradiación solar en Cajamarca⁵⁵

Datos de la NASA

Con los datos de latitud y longitud consultamos la página web de la NASA, para ello ingresamos al siguiente link: <https://power.larc.nasa.gov/>

⁵⁵ <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-departamento>



Multiple Data Access Options

Figura N° 34: Ingreso a la página web de la NASA⁵⁶

Ingresamos a DATA ACCES y luego seleccionamos POWER DATA ACCES VIEWER

Luego de obtener los datos de las dos fuentes elaboramos la siguiente figura comparativa que se muestra a continuación

⁵⁶ <https://power.larc.nasa.gov/>

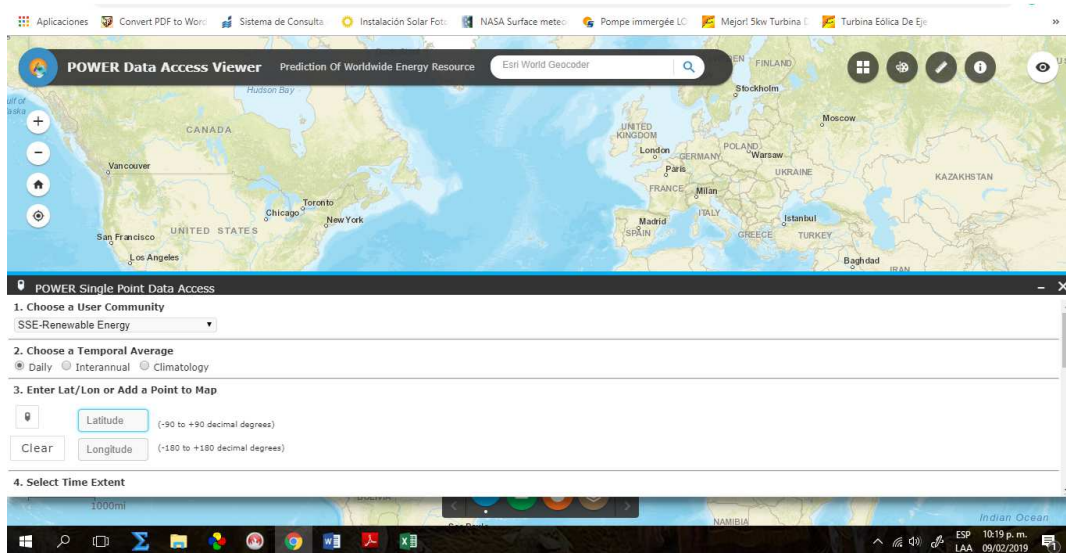


Figura N° 35: Ingreso de latitud y longitud⁵⁷

Tabla N° 12: Data de irradiación solar en el caserío LLushcapampa según la NASA⁵⁸

Mes	Irradiación (kWh/m ² /día)
Enero	4,74
febrero	4,35
Marzo	4,81
Abril	4,65
Mayo	4,87
Junio	4,88
Julio	5,03
Agosto	5,42
Septiembre	5,71
Octubre	5,59
Noviembre	5,78
Diciembre	5,29

⁵⁷ <https://power.larc.nasa.gov/>

⁵⁸

https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_06d445_78d96W_a8b7dccc.txt

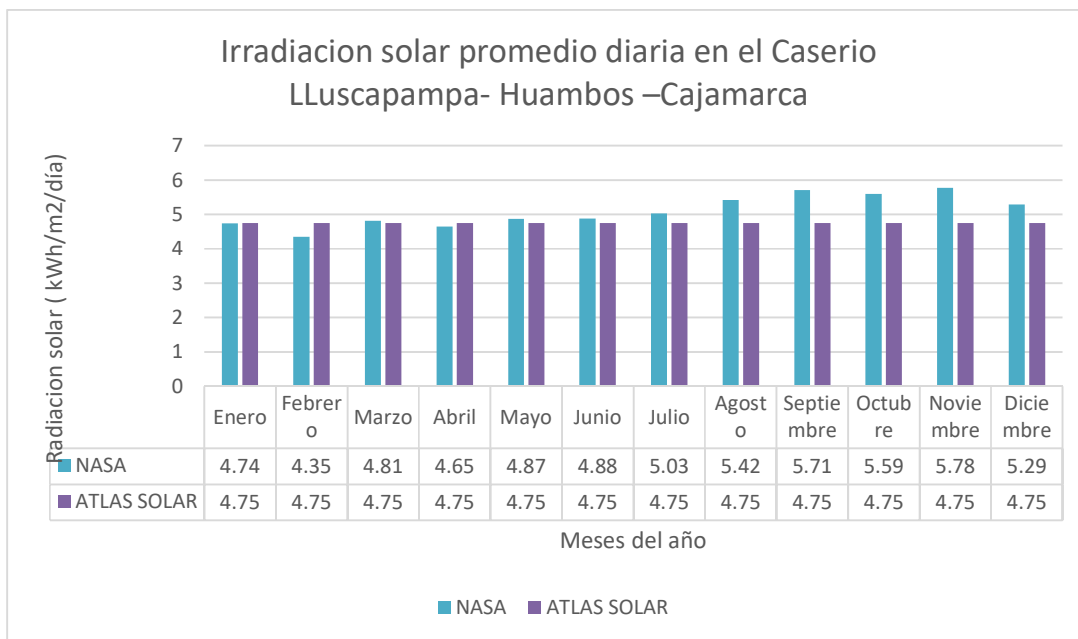


Figura N° 36: Comparación de los datos de irradiación solar⁵⁹

De los datos anteriores la irradiación solar en el caserío LLushcapampa es de 4,35 kWh/m²/día

5.2.2. Evaluación del recurso eólico

En primer lugar se obtuvo datos de la estación meteorológica convencional de Huambos (SENAMHI) para saber cuáles son los meses críticos, es decir con menor velocidad del viento, luego de procesar la información elaboramos la siguiente tabla N° 13:

Tabla N° 13: Velocidad promedio mensual⁶⁰ en Huambos

MES	PROMEDIO (m/s)
ENERO	5,93
FEBRERO	5,68

⁵⁹ Fuente: elaboración propia

⁶⁰ Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica Huambos

MARZO	7,13
ABRIL	6,47
MAYO	6,80
JUNIO	7,73
JULIO	7,35
AGOSTO	7,81
SETIEMBRE	7,80
OCTUBRE	5,86
NOVIEMBRE	6,00
DICIEMBRE	7,61

De la Tabla N° 13, obtenemos que uno de los meses críticos es de enero seguido del mes de octubre y luego enero.

Conocido uno de los meses críticos se ha optado por el mes de enero consultamos los datos de la estación meteorología automática Huambos, en la cual los datos se dan con un intervalo de tiempo de una hora y por un periodo de un mes. De los datos del ANEXO 02, elaboramos un nuevo cuadro, el que se muestra en el ANEXO 03 donde apoyándonos en la ley exponencial de HELLMAN pasamos los datos de la estación meteorológica automática (2 m) a una altura de 15 m que es la altura recomendada para aerogeneradores de 3 kW, con ello elaboramos la tabla de distribución de frecuencia acumulada tal como lo describe el ítem 2.3.2. utilizando el método de regresión lineal con las ecuaciones (16) y (17) de donde se puede determinar los parámetros "K" y "C" obteniendo los siguientes valores $k=2,3247$ y $C=11,62972$ tal como se observa en la Tabla N° 14 y Tabla N° 15. Luego sustituyendo en la función de WEIBULL podemos determinar la frecuencia.

Tabla N° 14: Frecuencia de la velocidad del viento⁶¹

Viento				Adaptacion de parametros		WEIBULL	
Velocidad (m/s)	Frecuencia absoluta (h)	Frecuencia acumulada (h)	Frecuencia acumulada porcentual (h)	ln(v)	ln(ln(1/(1-F(v))))	f(v)	frecuencia (h)
1	1	1	0,0013	0,00	-6,61	0,01	8,31
2	21,00	22	0,0296	0,69	-3,50	0,02	18,00
3	31,00	53	0,0713	1,10	-2,60	0,04	27,69
4	25,00	78	0,1050	1,39	-2,20	0,05	36,68
5	39,00	117	0,1575	1,61	-1,76	0,06	44,45
6	44,00	161	0,2167	1,79	-1,41	0,07	50,60
7	38,00	199	0,2678	1,95	-1,17	0,07	54,85
8	46,00	245	0,3297	2,08	-0,92	0,08	57,11
9	44,00	289	0,3890	2,20	-0,71	0,08	57,40
10	52,00	341	0,4590	2,30	-0,49	0,08	55,90
11	56,00	397	0,5343	2,40	-0,27	0,07	52,87
12	59,00	456	0,6137	2,48	-0,05	0,07	48,65
13	47,00	503	0,6770	2,56	0,12	0,06	43,61
14	45,00	548	0,7376	2,64	0,29	0,05	38,12
15	50,00	598	0,8048	2,71	0,49	0,04	32,51
16	37,00	635	0,8546	2,77	0,66	0,04	27,08
17	30,00	665	0,8950	2,83	0,81	0,03	22,03
18	26,00	691	0,9300	2,89	0,98	0,02	17,51
19	13,00	704	0,9475	2,94	1,08	0,02	13,61
20	19,00	723	0,9731	3,00	1,29	0,01	10,34
21	10,00	733	0,9865	3,04	1,46	0,01	7,68
22	7,00	740	0,9960	3,09	1,71	0,01	5,58
23	3,00	743	1,0000	3,14	#¡ DIV/0!	0,01	3,96

De los valores de $\ln(v)$ y $\ln(\ln(1/(1-F(v))))$ utilizamos el método de los mínimos cuadrados cuyas formulaciones matemáticas se detallan a continuación:

$$k = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y - k \sum x}{N}$$

⁶¹ Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica

Tabla N° 15: Calculo de los parámetros de WEIBULL⁶²

	X	Y	XY	X2
1	0,0000	-6,6100	0	0
2	0,6931	-3,5047	-2,42924712	0,480453014
3	1,0986	-2,6036	-2,86038001	1,206948961
4	1,3863	-2,1990	-3,04852396	1,921812056
5	1,6094	-1,7641	-2,83916481	2,590290394
6	1,7918	-1,4097	-2,52577685	3,210401996
7	1,9459	-1,1656	-2,26808275	3,786566308
8	2,0794	-0,9161	-1,90487417	4,324077125
9	2,1972	-0,7081	-1,55576713	4,827795843
10	2,3026	-0,4874	-1,12219503	5,30189811
11	2,3979	-0,2689	-0,64467608	5,749901739
12	2,4849	-0,0500	-0,12428607	6,174761058
13	2,5649	0,1223	0,31361169	6,578965206
14	2,6391	0,2909	0,76783134	6,964623589
15	2,7081	0,4910	1,32967411	7,333535892
16	2,7726	0,6568	1,82097003	7,687248223
17	2,8332	0,8127	2,30255459	8,027097853
18	2,8904	0,9781	2,82713103	8,354248899
19	2,9444	1,0808	3,18244772	8,669720902
20	2,9957	1,2851	3,84976112	8,974411855
21	3,0445	1,4605	4,44652354	9,269116874
22	3,0910	1,7069	5,27623244	9,554543448

$$k = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$K = 2,32470675$$

$$b = \frac{\sum y - k \sum x}{N}$$

$$b = -5,70377746$$

$$C = 11,6297201$$

22	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2$
	48,4712	-12,8018	4,7938	120,9884

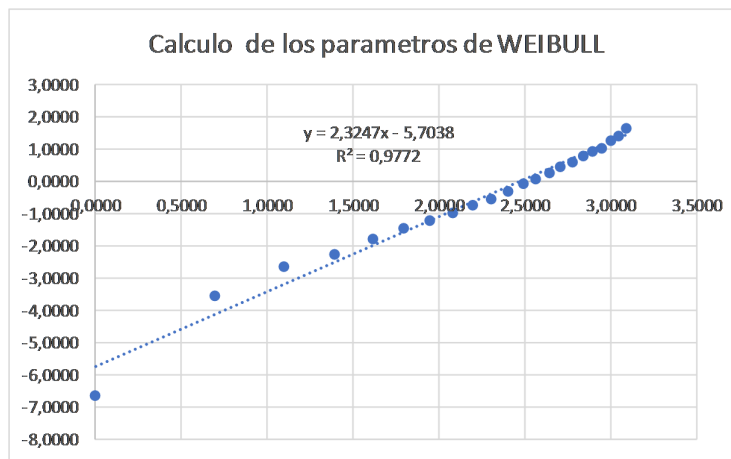


Figura N° 38: Determinación de los parámetros por reajuste lineal en Excel⁶³

⁶² Fuente: Elaboración propia

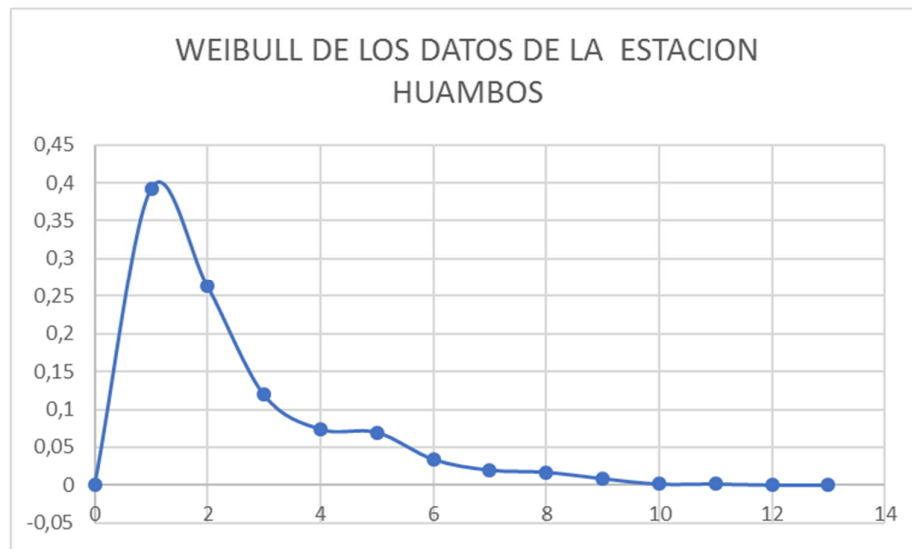


Figura N° 37: Distribución de Weibull para el caserío LLushcapampa⁶⁴

5.3. Dimensionamiento del sistema hibrido eólico solar fotovoltaico

5.3.1. Dimensionamiento del sistema eólico

⁶³ Fuente: Elaboración propia

⁶⁴ Fuente: elaboracion propia del autor

Debido a que las velocidades de viento son bajas entonces buscamos aerogeneradores que tengan una velocidad de arranque de 2m/s.

Proponemos el uso de un aerogenerador de ENAIR de 3 kW que tiene una velocidad de arranque de 2 m/s y que su curva de potencia se muestra a continuación

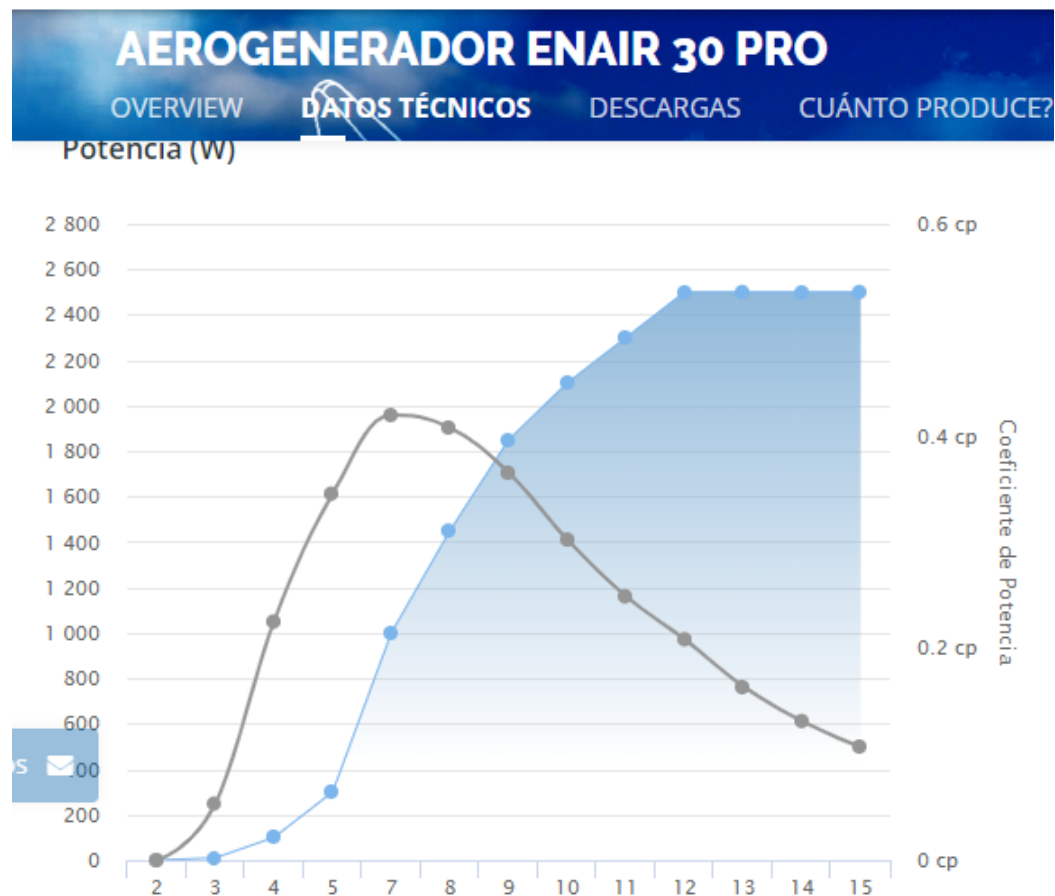


Figura N° 38: Curva de potencia del aerogenerador ENAIR⁶⁵

⁶⁵ Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>

De la curva de potencia y los resultados de la tabla N° 16 , podemos saber la cantidad de energía eléctrica que suministrará este aerogenerador.

Tabla N° 16: energía entregada por el aerogenerador ENAIR⁶⁶

AEROGENERADOR ENAIR PRO 30			
velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energía (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	5,74	0,00
2	5	14,18	70,91
3	10	23,64	236,40
4	100	33,22	3 322,35
5	300	42,18	12 654,43
6	700	49,87	34 905,77
7	1000	55,76	55 756,80
8	1450	59,50	86 281,82
9	1850	60,95	112 761,65
10	2100	60,14	126 300,16
11	2300	57,30	131 798,85
12	2500	52,81	132 019,68
13	2500	47,12	117 802,91
14	2500	40,74	101 860,90
15	2500	34,16	85 391,54
total, de energía (Wh)			1 001 164,19
energía promedio diaria (Wh/día)			32 339,09

⁶⁶ Elaboración propia a partir de la curva de potencia del aerogenerador

De la Tabla N° 16 observamos que la energía promedio diaria que puede suministrar el aerogenerador ENAIR de 3 kW es de 32,33909 kW.h/día.

Balance de energía

La energía que debe suministrar el conjunto aerogenerador y generador fotovoltaico es de 65 042,11 Wh, el aerogenerador suministrará 32 339,09 Wh lo tanto el generador fotovoltaico debe suministrar como mínimo 32 703,02 Wh

Tabla N° 17: porcentaje de suministro de cada una de las fuentes de energía para el mes crítico

Energía suministrada por:	Energía (Wh)	Porcentaje (%)
Aerogenerador	32 339,09	49,72 %
Sistema fotovoltaico	32 703,02	50,28 %
Total	65 042,11	100 %

Fuente: elaboracion propia del autor

En el caso del mes con mayor velocidad de viento que es agosto también se han hecho los cálculos obteniéndose lo siguiente.

Tabla N° 18: Suministro de energía eléctrica para el mes de mayor velocidad de viento-Agosto

Energía suministrada por:	Energía (Wh)	Porcentaje (%)
Aerogenerador	55 556,90	85,4 %
Sistema fotovoltaico	9 475,82	14,6 %
Total	65 042,11	100 %

Fuente: elaboracion propia del autor

El suministro de energía eléctrica para el mes con mayor de velocidad de viento

Obteniéndose la siguiente tabla de frecuencias:

Tabla N° 19: Tabla de frecuencias para el mes con mayor velocidad del viento⁶⁷

Viento			
Velocidad (m/s)	Frecuencia (h)	Frecuencia acumulada (h)	Frecuencia relativa acumulada porcentual (h)
1	0	0	0,00000
2	0	0	0,00000
3	4	4	0,00538
4	2	6	0,00808
5	3	9	0,01211
6	2	11	0,01480
7	2	13	0,01750
8	1	14	0,01884
9	15	29	0,03903
10	16	45	0,06057
11	26	71	0,09556
12	50	121	0,16285
13	53	174	0,23419
14	85	259	0,34859
15	80	339	0,45626
16	60	399	0,53701
17	51	450	0,60565
18	80	530	0,71332
19	61	591	0,79542
20	54	645	0,86810
21	49	694	0,93405
22	25	719	0,96770
23	10	729	0,98116
24	10	739	0,99462
25	2	741	0,99731
26	1	742	0,99865
	1	743	1,00000

⁶⁷ Fuente: elaborado a partir de los datos de estación meteorológica Huambos

Tabla N° 20: Energía suministrada por el aerogenerador en el mes de mayor velocidad del viento -agosto

AEROGENERADOR ENAIR PRO 30			
velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energia (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	0,06	0,00
2	5	0,42	2,11
3	10	1,29	12,88
4	100	2,84	284,30
5	300	5,24	1570,64
6	700	8,58	6005,92
7	1000	12,94	12938,29
8	1450	18,30	26535,71
9	1850	24,56	45439,43
10	2100	31,50	66157,59
11	2300	38,78	89197,82
12	2500	45,93	114826,86
13	2500	52,39	130977,05
14	2500	57,56	143898,39
15	2500	60,87	152170,52
16	2500	61,88	154689,87
17	2500	60,36	150896,31
18	2500	56,38	140938,26
19	2500	50,29	125720,40
20	2500	42,72	106798,63
21	2500	34,45	86127,77
22	2500	26,29	65714,62
23	2500	18,91	47265,43
24	2500	12,77	31923,82
25	2500	8,07	20165,68
total de energia (Wh)			1720258,30
energia promedio diaria (Wh/dia)			55566,89

5.3.2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

5.3.2.1. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Primeramente, debemos calcular la potencia del generador fotovoltaico teniendo en cuenta la energía eléctrica proyectada y las horas solar pico

Reemplazando los datos en la ecuación (21)

$$E_{elec} = 32\,703,02\,Wh \text{ y } HSP = 4,35\,h$$

Obtenemos:

$$Potencia\ del\ generador\ fotovoltaico(kWp) = \frac{32\,703,02}{4,35} = 7,52\,kWp$$

De las marcas recomendadas de paneles fotovoltaicos se realizó una cotización con la finalidad de determinar la potencia del módulo fotovoltaico a utilizar.

Tabla N° 21: Módulos fotovoltaicos posibles a utilizar⁶⁸

Marca	potencia del modulo fotovoltaico	Costo del modulo fotovoltaico (Soles)	Tension del modulo fotovoltaico	modulos en serie	Ramas en paralelo	Total de modulos fotovoltaicos	costo total	potencia del generador fotovoltaico (kWp)
yingli solar	120	520,83	12	4	16	64	33333,12	7,68
yingli solar	150	629,33	12	4	13	52	32725,16	7,80
yingli solar	240	1127,05	24	2	16	32	36065,60	7,68
simax	190	731,57	24	2	20	40	29262,80	7,60
simax	100	403,00	12	4	19	76	30628,00	7,60
simax	140	532,05	12	4	14	56	29794,80	7,84
simax	150	598,55	12	4	13	52	31124,60	7,80
simax	190	738,84	24	2	21	42	31031,28	7,98

De la tabla N° 21 seleccionamos los paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 190 (ANEXO 05), debido a que se tiene un costo menor y

⁶⁸ Elaboración propia a partir de los costos de los módulos fotovoltaicos

además el número de paneles es menor con lo que ocupan menos espacio y también tendremos un menor número de estructuras de apoyo ,se observa también que la potencia del generador fotovoltaico es de 7,60 kWp con lo que tenemos una reserva de energía.

Tabla N° 22: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos⁶⁹

Electrical Specifications

Parameters	SM572-165	SM572-170	SM572-175	SM572-180	SM572-185	SM572-190	SM572-195
Peak power P _m (W)	165±3%	170±3%	175±3%	180±3%	185±3%	190±3%	195±3%
Open circuit voltage V _{oc} (V)	42.7	43.3	43.3	43.9	43.9	44.5	44.5
Max. power voltage V _{mp} (V)	35	35.5	35.5	36.0	36.0	36.5	36.5
Max. power current I _{mp} (A)	4.71	4.79	4.93	5.00	5.14	5.21	5.34
Short circuit current I _{sc} (A)	5.04	5.08	5.23	5.30	5.45	5.52	5.77
Dimensions(L*W*H)	1580*808*45/35/50						
Weight(kg)	15.5						
Max. over-current (A)	10						
Max. system voltage (V)	1000V DC						
Application Class	Class A						
Mono crystalline silicon solar cell	125*125*0.19mm						
No. of cells and connections	72 series						
No. of bypass diodes	3						
Bypass diode rating (A)	10						
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200						
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0						
STC	Irradiance:1000W/m ² ,Cell temperature:25°C,AM:1.5						
Maximum No. of series connection	22						
Maximum No. of parallel connection	2						

Fuente: [https://www.proviento.com.pe/SM572\(165W-195W\).pdf](https://www.proviento.com.pe/SM572(165W-195W).pdf)

⁶⁹ [https://www.proviento.com.pe/SM572\(165W-195W\).pdf](https://www.proviento.com.pe/SM572(165W-195W).pdf)

Tabla N° 23: Características mecánicas⁷⁰

Mechanical Characteristics	
Solar Cell	Monocrystalline silicon solar cell 125x125(mm)
No.of Cells	72(6x12)
Dimensions	1580x808x45/35/50(mm)
Weight	15.5kg
Front Glass	3.2mm(0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos usaremos la ecuación (22)

De donde se obtiene que el número de paneles solares mínimos necesarios es de:

$$\text{Numero de paneles}(N_{mf}) = \frac{32\,703,01 \left(\frac{Wh}{dia}\right)}{4,35 \times 190} = 39,57 \approx 40$$

Se usaran 40 paneles fotovoltaicos SIMAX de 190 Wp

La tensión del sistema en CD se considerará 48 V; entonces el número de paneles en serie será de (usando la ecuación (23))

$$N_{\text{paneles-serie}} = \frac{48}{24} = 2$$

⁷⁰ [https://www.proviento.com.pe/SM572\(165W-195W\).pdf](https://www.proviento.com.pe/SM572(165W-195W).pdf)

El número de ramas de módulos fotovoltaicos se calcula mediante la siguiente ecuación (24)

$$N_{smf} = 40/2 = 20$$

5.3.2.2. Angulo óptimo de inclinación:

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual que es la ecuación (26):

Sabiendo que la latitud es de

Latitud: -6.43926833333

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,439268|)$$

$$\beta_{opt} = 8,15^\circ$$

Luego el ángulo óptimo es de 8,15°, consideraremos 10° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo y humedad.

5.3.2.3. Dimensionamiento del banco de baterías

La capacidad del banco de baterías se calcula en función de la actuación (27)

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.

$$C_T = (2 \times 49\,432,00) / (0,7 \times 48)$$

$$C_T = 2\,942,38 \text{ Ah}$$

Marca	Capacidad (A.h)	Costo de la batería (S/.)	Tension de la batería	Baterías en serie	Ramas de baterías en paralelo	Total de baterías	Costo total (S/.)	Capacidad total (A.h)
RITAR	100	729,31	12	4	1	4	2917,24	100
RITAR	150	1089,86	12	4	20	80	87188,80	3000
RITAR	200	1393,06	12	4	15	60	83583,60	3000
RITAR	260	2540,28	12	4	12	48	121933,44	3120
ROLLS	503	3469,09	12	4	6	24	83258,16	3018

Propinemos el uso de baterías ROLLS de 503 Ah (ANEXO 06), debido a que haciendo una evolución económica entre las marcas RITAR y ROLLS es la más económica

El número de baterías que deben conectarse en serie (ecuación (28))

Donde:

$N_{S \text{ bat.}}$ = 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).

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

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

El número de baterías que deben conectarse en paralelo (ecuación (29))

Donde:

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

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

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

$$N_{P \text{ bat.}} = 2\,942,38 / 503$$

$$N_{P \text{ bat.}} = 5,85 \approx 6$$

La cantidad de baterías es de:

$$N_{baterias.} = 4 \times 6 = 24$$

Se usaran 24 baterias RROLLS de 503 A.h

5.3.2.4. Calculo del controlador

Para seleccionar el controlador hay que considerar la corriente máxima que circulará en el generador fotovoltaico el cual se calcula con la siguiente ecuación:

a) Por corriente eléctrica

Usando la ecuación (30)

Reemplazando datos obtenemos lo siguiente:

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times 5,52 \times 20 = 138,00 \text{ A}$$

b) Por tensión máxima

Los paneles fotovoltaicos tienen una tensión máxima que ocurre en circuito abierto y es a esta tensión que el controlador estará sometido y cuyo valor se obtiene de la ecuación (31).

Donde:

$V_{max-regulador}$ = Voltaje máx. Que debe soportar el regulador (V).

$V_{OC\ panel}$ = Voltaje de circuito abierto (V).

$N_{paneles-serie}$ = Número de módulos conectados en serie.

$$V_{max-regulador} = 1,25 \times 44,5 \times 2 = 111,25\ V$$

Entonces se considerará trabajar con controladores de la marca VICTRON ENERGY 150/85



Figura N° 39: Controlador⁷¹ VICTRON ENERGY 150/85

El número de reguladores a utilizar se calcula con la ecuación (32):

Reemplazando datos obtenemos:

$$N_{reguladores} = 138,00 / 85 = 1,62 \approx 2$$

El número de ramas de paneles fotovoltaicos que se conectaran a cada regulador se calcula con la ecuación (33):

Reemplazando obtenemos lo siguiente:

$$N_{ramas\ de\ paneles\ solares\ por\ regulador} = 20 / 2 = 10$$

⁷¹ https://autosolar.pe/pdf/MPPT-150V-45A_a_150V-100A.pdf

Tabla N° 24: Características del controlador⁷² 150/85

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software)				
Corriente de carga nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Potencia FV máxima, 12V 1a,b)	650 W	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Potencia FV máxima, 24V 1a,b)	1300 W	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Potencia FV máxima, 48V 1a,b)	2600 W	3440 W	4000 W	4900 W	5800 W
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98 %				
Autoconsumo	10 mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobrettemperatura				

Comprobación

Como son 2 controladores los que se van a utilizar y a cada controlador van a ir conectados 10 ramas de paneles fotovoltaicos hay que comprobar que el regulador cumple con las exigencias del generador fotovoltaico

Para el caso de la tensión de circuito abierto : Se obtuvo que la tensión máxima a circuito abierto es de 111,25 V , de la tabla N° 24 : la tensión máxima del regulador es de 150 V por lo que $111,25 \text{ V} < 150 \text{ V}$ (Ok)

La potencia para el regulador es de 4 900 W, según la Tabla N°24; ahora la potencia de los 20 módulos fotovoltaicos es de:

$$20 \times 190 = 3\,800 \text{ W} < 4\,900 \text{ W}, (\text{Ok}).$$

⁷² https://autosolar.pe/pdf/MPPT-150V-45A_a_150V-100A.pdf

Entonces concluimos que se usarán:

Se usaran 02 controladores VICTRON ENERGY de 150/85

5.3.2.5. Dimensionamiento del inversor

Para el cálculo de la potencia requerida por el inversor usaremos la ecuación (34):

Reemplazando datos

$$Potencia \text{ de entrada al inversor} = \frac{16,844 \text{ kW}}{0,88} = 19,140 \text{ kW}$$

Consideramos trabajar con dos inversores Must Solar de 10 kW



Figura N° 40: inversor⁷³ MUST SOLAR de 10 kW

Se usaran 2 inversores Must Solar de 10 kW

5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

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

Tabla N° 25: Caída de tensión máxima⁷⁴

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

⁷³ <https://autosolar.pe/pdf/MUST-SOLAR-PV3500.pdf>

⁷⁴ <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Tabla N° 26: Conductores eléctricos en los diferentes tramos⁷⁵

Tramo: Generador fotovoltaico- Controlador	$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircutio del panel}} \times N_{Pmf}$ $I_{MAXmf} = 1,25 \times 5,52 \times 10 = 69,0 A$	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 7 \times 69,00 / (56 \times 1,44)$ $S_{CABLE} = 11,98 \text{ mm}^2$	De la Tabla N° 27, seleccionamos el conductor 16 mm² NYY
Tramo: Baterías- inversor	$I_{MAXinv} = 1,25 \times P_{inversor} / (V_{\text{tension de trabajo}} \times \eta_{inversor})$ $I_{MAXinv} = 1,25 \times 10\ 000 / (2 \times 48 \times 0,88) = 147,96 A$	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 1,5 \times 147,96 / (56 \times 0,48)$ $S_{CABLE} = 19,27 \text{ mm}^2$	De la Tabla N° 27, seleccionamos el conductor 25 mm² NYY

⁷⁵ Fuente: elaboración propia del autor

Tabla N° 27: Características eléctricas de los conductores NYY



TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE	N° HILOS	ESPEORES		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

Fuente: Catalogo de INDECO⁷⁶ (ANEXO 08)

Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos

Se procede a realizar los cálculos para determinar el espacio necesario para la colocación, instalación y distancia entre módulos fotovoltaicos (seleccionado el panel SIMAX 190W).

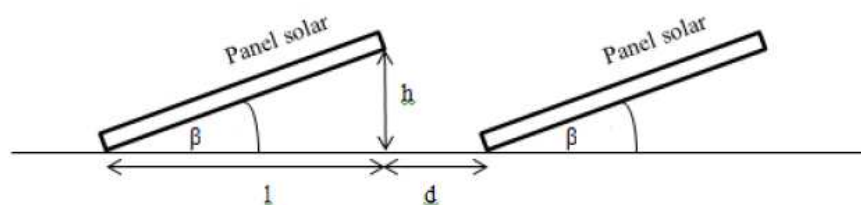


Figura N° 41: Distancia entre filas de paneles solares⁷⁷

⁷⁶ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>

⁷⁷ (Chicaiza, 2016)

Donde:

l : Proyección del panel en el suelo respecto al ángulo óptimo.

d : Distancia mínima entre filas de paneles solares.

h : Altura del panel respecto a la horizontal.

Entonces:

Se tiene que la longitud (L) del panel fotovoltaico es de 1580 mm (según especificaciones), el ángulo óptimo (β) es 10° y latitud del lugar (Φ) es -6.439° .

Se hará uso de las siguientes fórmulas (55):

$$l = L \cdot \cos(\beta)$$

$$h = L \cdot \sin(\beta)$$

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \Phi)}$$

Resolviendo se tiene:

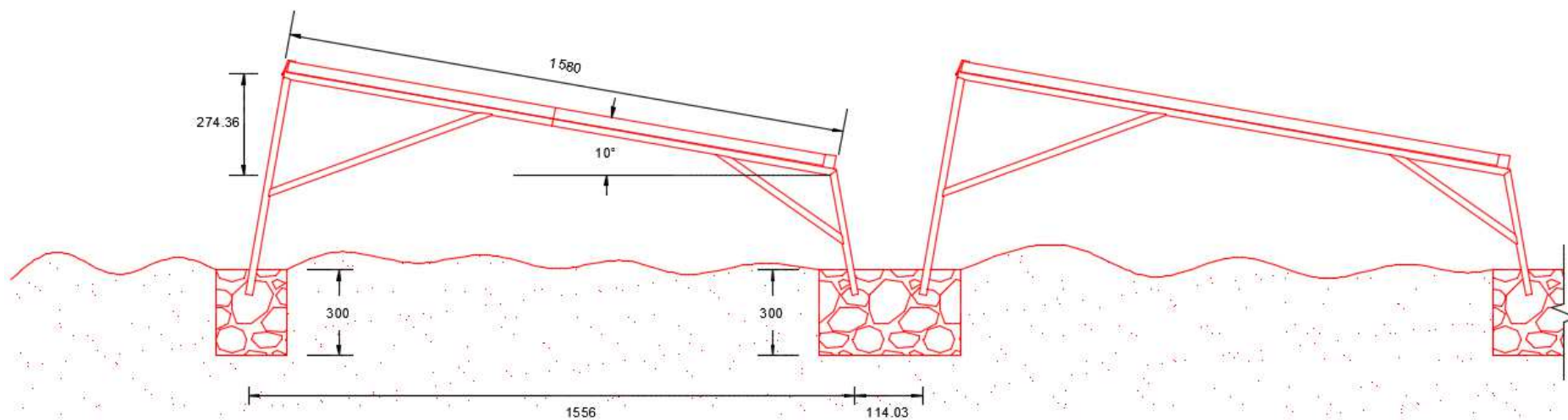
$$h = 274.36 \text{ mm}$$

$$l = 1556 \text{ mm}$$

$$d = 114.03 \text{ mm}$$

Número de paneles en serie: 2

Número de ramas de paneles: 20



VISTA DE ELEVACION

Figura N° 42: Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano⁷⁸

⁷⁸ Fuente: elaboracion propia del autor

5.3.3. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

La red de distribución en baja tensión que hace posible transportar la energía eléctrica desde el sistema híbrido hacia cada una de las viviendas para su dimensionamiento tendremos en cuenta la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

5.3.3.1. Cálculos eléctricos

5.3.3.2. Cálculo de caída de tensión

La ecuación para calcular la caída de tensión en redes aéreas es la (48)

El sistema de distribución que propone es monofásico en 220 V, se ha considerado el conductor 1x16+1x16/25 para aquellos tramos con alumbrado público y en los vanos en que no hay alumbrado 1x16/25, el cual tiene una capacidad de corriente de 64 A

El cálculo del conductor por capacidad de corriente (ecuación (49)):

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = 10\ 000 / (220)$$

$$I_{MAX\ carga} = 45,46\ A$$

Como: $45,46 < 64$ OK

5.3.3.3. Máxima caída de tensión permisible

Según la norma para (031-2003-DGE 2003) red de distribución rural la caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal.

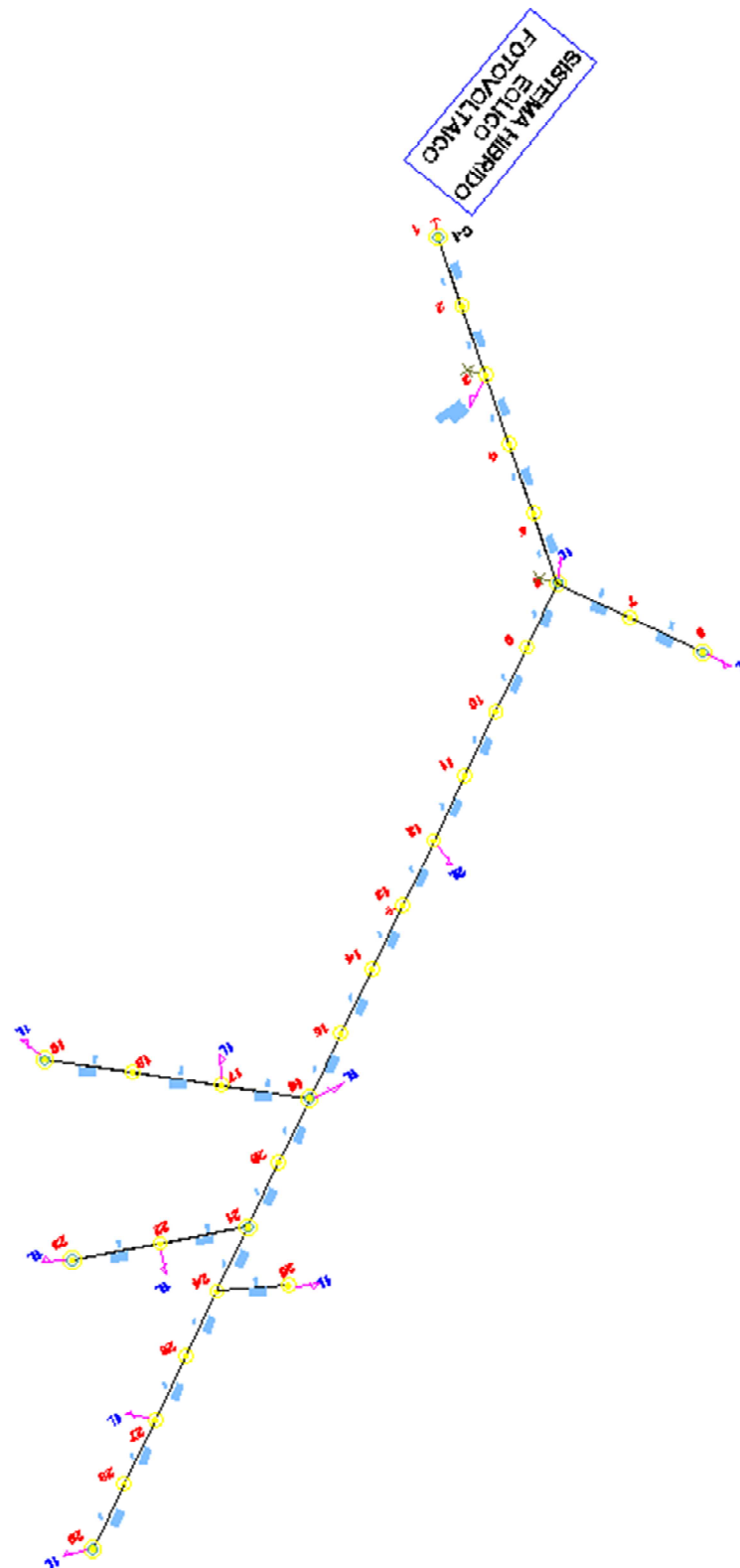


Figura N° 43: Diagrama de carga⁷⁹ C-I

⁷⁹ Fuente: elaboracion propia

Tabla N° 28: caída de tensión C-I

Punto	Servicio Particular					Long.	Tipo y Sección de Cond.	F.C.T.	Δ V S.P.	Σ Δ V Total	% de Δ V
	N° Lotes	Carga Especial	CORRIENTE [A]	POT. [W]	Σ I [A]						
1			0,0	0,0	6,3	30,0	1X16+1X16/25	3,272	0,62	0,62	0,28%
2			0,0	0,0	6,3	41,0	1X16+1X16/25	3,272	0,84	1,46	0,66%
3		1	1,0	216,0	6,3	41,0	1X16+1X16/25	3,272	0,84	2,30	1,05%
4			0,0	0,0	5,3	41,0	1X16+1X16/25	3,272	0,71	3,01	1,37%
5			0,0	0,0	5,3	41,0	1X16+1X16/25	3,272	0,71	3,72	1,69%
6	2		1,0	212,0	5,3	40,0	1X16+1X16/25	3,272	0,69	4,42	2,01%
9			0,0	0,0	4,3	40,0	1x16+N25	3,272	0,57	4,99	2,27%
10			0,0	0,0	4,3	40,0	1x16+N25	3,272	0,57	5,55	2,52%
11			0,0	0,0	4,3	40,0	1x16+N25	3,272	0,57	6,12	2,78%
12	2		1,0	212,0	4,3	40,0	1x16+N25	3,272	0,57	6,69	3,04%
13			0,0	0,0	3,4	40,0	1x16+N25	3,272	0,44	7,13	3,24%
14			0,0	0,0	3,4	40,0	1x16+N25	3,272	0,44	7,57	3,44%
15			0,0	0,0	3,4	40,0	1x16+N25	3,272	0,44	8,01	3,64%
16	3		1,4	318,0	3,4	40,0	1x16+N25	3,272	0,44	8,45	3,84%
20			0,0	0,0	1,9	40,0	1x16+N25	3,272	0,25	8,71	3,96%
21	2		1,0	212,0	1,9	40,0	1x16+N25	3,272	0,25	8,96	4,07%
24			0,0	0,0	1,0	40,0	1x16+N25	3,272	0,13	9,08	4,13%
25			0,0	0,0	1,0	40,0	1x16+N25	3,272	0,13	9,21	4,19%
26			0,0	0,0	1,0	40,0	1x16+N25	3,272	0,13	9,34	4,24%
27	1		0,5	106,0	1,0	40,0	1x16+N25	3,272	0,13	9,46	4,30%
28			0,0	0,0	0,5	40,0	1x16+N25	3,272	0,06	9,53	4,33%
29	1		0,5	106,0	0,5	40,0	1x16+N25	3,272	0,06	9,59	4,36%
7			0,0	0,0	0,5	45,0	1x16+N25	3,272	0,07	4,49	2,04%
8	1		0,5	106,0	0,5	45,0	1x16+N25	3,272	0,07	4,56	2,07%
17	1		0,5	106,0	1,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,24	8,69	3,95%
18			0,0	0,0	1,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,16	8,85	4,02%
19	1		1,0	212,0	1,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,16	9,01	4,09%
22	1		1,0	212,0	1,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,32	9,27	4,22%
23	1		1,0	212,0	1,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,16	9,43	4,29%
25	1		1,0	212,0	1,0	40,0	1x16+N25	3,272	0,13	9,21	4,19%

4,36% < 7% ok

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla N° 29: Caída de tensión C-II

Punto	Servicio Particular					Long. [m]	Tipo y Sección de Cond. [mm²]	F.C.T. [V/A-km]	Δ V S.P. [V]	Σ Δ V Total [V]	% de Δ V
	N° Lotes	Carga Especial	CORRIENTE [A]	POT. [W]	Σ I [A]						
30			0,0	0,0	6,7	30,0	1x16+N25	3,272	0,66	0,66	0,30%
31			0,0	0,0	6,7	42,0	1x16+N25	3,272	0,93	1,59	0,72%
32	1		0,5	106,0	6,7	42,0	1x16+N25	3,272	0,93	2,52	1,14%
33			0,0	0,0	6,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,86	3,38	1,53%
34	2		1,0	212,0	6,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,86	4,24	1,93%
35			0,0	0,0	5,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,73	4,97	2,26%
36	2		1,0	212,0	5,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,73	5,69	2,59%
37			0,0	0,0	4,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,60	6,29	2,86%
38			0,0	0,0	4,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,60	6,89	3,13%
39	2		1,0	212,0	4,3	42,0	1x16+N25	3,272	0,60	7,48	3,40%
42	2		1,0	212,0	3,4	45,0	1x16+N25	3,272	0,50	7,98	3,63%
43			0,0	0,0	2,4	45,0	1x16+N25	3,272	0,35	8,33	3,79%
44	3		1,4	318,0	2,4	45,0	1x16+N25	3,272	0,35	8,69	3,95%
45			0,0	0,0	1,0	42,0	1x16+N25	3,272	0,13	8,82	4,01%
46	2		1,0	212,0	1,0	42,0	1x16+N25	3,272	0,13	8,95	4,07%
47			0,0	0,0	1,0	42,0	1x16+N25	3,272	0,13	7,61	3,46%
48	1		1,0	212,0	1,0	42,0	1x16+N25	3,272	0,13	7,75	3,52%
49	1		1,0	212,0	2,9	45,0	1x16+N25	3,272	0,43	9,11	4,14%
50	2		1,9	424,0	1,9	45,0	1x16+N25	3,272	0,28	9,40	4,27%

4,27% < 7% ok

Fuente: elaboracion propia del autor

De las Tablas N° 28 y Tabla N° 29 observamos que la caída de tensión es menor del 7% por lo tanto el conductor propuesto cumple con los requerimiento eléctricos

5.3.3.4. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 30: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno

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

Fuente: Elaborado por el propio Autor

CARGAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

Los puntos de iluminación se han establecido según la Norma DGE de Alumbrado de Vías Públicas vigente para la zona; por lo tanto, en este caso la iluminación corresponde exclusivamente a lo indispensable y de acuerdo a los requerimientos de un sistema rural, limitándose únicamente a las plazas públicas, calles principales y/o vías de acceso a la localidad. (Sector Típico 3).

Tabla N° 31: Lámparas de alumbrado y sus potencias⁸¹

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

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

⁸¹ (031-2003-DGE 2003)

Tabla N° 32: Parámetros eléctricos de cables autoportantes⁸²

FORMACION	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE ALUMBRADO PUBLICO (O/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR NEUTRO (O/Km)		REACTANCIA INDUCTIVA (O/Km)		FACTOR DE CAÍDA DE TENSIÓN			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40 °C	
	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	XL(30)	XL (10)	K (380-220	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond.
3x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,094	0,123	1,607	-	3,272	102	64
3x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,100	0,116	2,223	-	3,272	83	64
3x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,110	0,110	3,538	-	3,272	64	64
3x35/25	0,868	0,929	-	-	1,38	1,478	0,091	-	1,607	-	-	102	-
3x25/25	1,200	1,285	-	-	1,38	1,478	0,095	-	2,223	-	-	83	-
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	64	-
2x35+16/25	0,868	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,086	0,114		3,780	3,272	102	64
2x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,093	0,109		3,776	3,272	83	64
2x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,096	0,096	3,538	3,765	3,272	64	64
2x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,096	-	3,765	3,272	64	-
1x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,094	-		3,272	64	-

⁸² (031-2003-DGE 2003)

5.3.3.5. Hipótesis de estado

De los datos de los factores meteorológicos se establecen los valores de:

- a) Velocidad del Viento
- b) Temperatura

Con respecto a la temperatura⁸³ se tiene que la temperatura mínima promedio es de 8° C, para el cálculo mecánico consideraremos 5°C

La temperatura máxima es de 25° C, para el cálculo mecánico consideraremos 40°C

La temperatura promedio anual es de 15° C

Para efectuar los cálculos mecánicos del conductor necesitamos determinar las condiciones meteorológicos (temperatura, velocidad del viento) tal como se observa en la tabla N° 33.

Tabla N° 33: hipótesis para usar la ecuación de TRUXA

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

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos

⁸³ <https://es.scribd.com/document/220196047/Clima-de-Huambos>

5.3.3.6. Esfuerzos mecánicos en el conductor⁸⁴

Según la norma para (031-2003-DGE 2003) establece lo siguiente:

- a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm², aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm².
- c) Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm².

Calculo del vano básico

Del Anexo N° 12 se observa que el vano con mayor longitud es de 50 m por lo que para los cálculos mecánicos del conductor se considerara esta longitud como vano básico.

Tabla N° 34: Tabla de cálculos mecánicos⁸⁵

Vano (m)	30	40	50	60	70
HIP. I σ (Kg/mm ²)	7,81	8,23	8,61	8,95	9,24
f (m)	0,30	0,51	0,76	1,06	1,39
HIP. II σ (Kg/mm ²)	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
f (m)	0,21	0,37	0,57	0,82	1,12
HIP. III σ (Kg/mm ²)	3,24	3,60	3,90	4,13	4,32
f (m)	0,35	0,55	0,80	1,09	1,41

⁸⁴ (031-2003-DGE 2003)

⁸⁵ Fuente: Elaboración propia del autor

Cálculo de la altura del poste:

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

La flecha según los vanos y tipo de conductores.

La longitud de empotramiento será:

$$\text{Atura de empotramiento} = \frac{H}{10} + 0,2 \dots (56)$$

La altura necesaria del poste será:

$$H = \frac{H}{10} + 0,2 + D_{\min} + F_{\max} + H_c \dots (57)$$

Donde:

H : Altura del poste en metros.

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

F_{máx} : Flecha máxima en metros.

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

Para: D_{mín} = 5,5 m. y F_{máx} = 0,55 m. se obtiene que H = 7,28 m.

Entonces la utilización de postes de concreto de 8,00 m. de longitud se justifica.

Tabla N° 35: Características de los cables autoportantes

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

Fuente: norma D.G.E. rd031-2003-EM

5.4. Medrado y presupuesto

5.4.1. Medrado y presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 36: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema fotovoltaico

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3 kW	24 878,00	24 878,60
01 Torre de 15 m, incluyendo accesorios	10 365,83	10 365,83
40 paneles solares SIMAX 190 Wp	731,57	29 262,80
24 baterías ROLLS de 503 Ah	3 119,80	74 875,20
02 Inversor MUST SOLAR de 10 kW	9 852,00	19 704,00
05 estructura para 08 paneles solares	2 352,10	11 760,50
02 controlador VICTRON ENERGY 150/85	3 621,13	7 242,26
Accesorios	1 000,00	1 000,00
Total, del Suministro		179 089,19

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 37: costo directo sistema hibrido eólico-fotovoltaico

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: : "ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERARA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO LLUSHCAPAMAPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"		
ITEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	179 089,19
B	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	17 908,92
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	5 372,68
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	202 370,78

Fuente: Elaborado por el propio Autor

5.4.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria

Tabla N° 38: suministro de materiales para la red de distribución secundaria

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "ENERGIA EOLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERARA ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO LLUSHCAPAMAPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	Metrado Total Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
1.00	POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO				
1.01	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	33,00	645,75	21 309,75
1.02	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	15,00	410,00	6 150,00
	SUB-TOTAL 1:				27 459,75
2.00	CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO				
2.02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	1,52	4000,00	6 085,20
2.05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km	0,83	6000,00	4 950,00
	SUB-TOTAL 2:				11 035,20
3.00	ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES				
3.01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	34,00	13,00	442,00
3.02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u	6,00	15,00	90,00
3.03	CONECTOR BIMETÁLICO , PARA Al 25mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3.04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 35mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3.05	CONECTOR, PARA Al 25mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	3,00	6,70	20,10
3.06	CONECTOR AISLADO, PARA Al 35mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3.07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	194,00	0,35	67,90
3.08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	20,00	3,05	61,00
3.09	CINTA AISLANTE	rl	100,00	3,60	360,00
	SUB-TOTAL 3:				1 041,00
4.00	CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE				
4.04	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm ² , CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4.07	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm ² , CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	645,00	4,90	3 160,50
4.08	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm ²	m	90,00	6,60	594,00
	SUB-TOTAL 4:				3 754,50
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	4,00	90,00	360,00
5.02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	4,00	196,00	784,00
5.03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	4,00	35,00	140,00
5.04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	4,00	25,00	100,00
5.05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 35 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	4,00	10,50	42,00
5.06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	4,00	5,92	23,68
	SUB-TOTAL 5:				1 449,68
6.00	RETENIDAS Y ANCLAJES				
6.01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	140,00	4,20	588,00
6.02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	84,00	9,50	798,00
6.04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2.40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	14,00	35,00	490,00
6.05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	14,00	5,00	70,00
6.06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	28,00	9,00	252,00
6.07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	28,00	2,00	56,00
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	42,00	1,00	42,00
6.10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	14,00	28,00	392,00
6.11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 25 mm ² Y COBRE DE 16mm ² , TIPO CUÑA	u	14,00	6,70	93,80
6.12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm ²	u	14,00	5,92	82,88
	SUB-TOTAL 6:				2 864,68
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	55,00	10,80	594,00
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	47,00	8,20	385,40
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	16,00	11,20	179,20
7.07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmø	u		8,30	
7.08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u	6,00	6,58	39,48
7.09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmø	u	29,00	2,00	58,00
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	97,00	4,28	415,16
	SUB-TOTAL 7:				1 671,24
8.00	PUESTA A TIERRA				
8.01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2.40 m	u	10,00	43,00	430,00
8.02	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm ² Y COBRE DE 16mm ² , TIPO CUÑA	u	10,00	7,20	72,00
	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm ²	u	10,00	6,50	65,00
	SUB-TOTAL 8:				567,00
9.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS				
9.01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	14,50	33,49	485,61
9.06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	29,00	1,20	34,80
9.07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	29,00	0,66	19,14
9.08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	116,00	1,00	116,00
9.09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	29,00	10,50	304,50
9.10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	29,00	4,30	124,70
9.11	TEMPLADOR DE A°G°	u	58,00	2,10	121,80
9.12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	29,00	76,66	2 223,14
9.13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE 1.	u	29,00	90,00	2 610,00
	SUB-TOTAL 9:				6 039,69
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	55 882,74

fuentes: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 39: Valor referencial para el montaje de las redes secundarias

MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: : "ENERGIA EOLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERARA ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO LLUSHCAPAMAPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	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	1,5	606,89	923,26
5.05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	0,8	510,25	420,96
	SUB-TOTAL 5:				1 344,22
6.00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>				
6.01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m ³	15,4	31,62	486,95
6.02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44	0,00
6.03	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	10,0	18,19	181,90
6.04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	20,0	45,57	912,31
	SUB-TOTAL 6:				1 581,16
7.00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>				
7.01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	4,0	19,63	78,52
7.02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	4,0	34,58	138,32
	SUB-TOTAL 7:				216,84
8.00	<u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u> INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE CONPRENDE : CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
8.01	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDIDOR)	u	15,0	35,26	528,90
8.02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	14,0	42,67	597,38
8.03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	29,0	11,09	321,61
8.04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	29,0	20,00	580,00
	SUB-TOTAL 8:				2 027,89
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/.	17 478,92

Fuente: Elaborado por el propio Autor

5.4.3. Presupuesto total del sistema distribución de energía eléctrica en 220 V

Tabla N° 40: Costo directo de la red de distribución de energía eléctrica

RESUMEN DEL VALOR REFERENCIAL - REDES SECUNDARIAS		
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: :"ENERGIA EOLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERARA ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO LLUSHCAPAMAPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"		
RESUMEN GENERAL DE REDES SECUNDARIAS		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	55 882,74
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	17 478,92
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	4 470,62
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	77 832,28

Fuente: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 41: Presupuesto referencial total

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: :"ENERGIA EOLICA Y SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GENERARA ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO LLUSHCAPAMAPA EN CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA"		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	77 832,28
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO	202 370,78
	TOTAL S/.	280 203,06
C	GASTOS GENERALES UTILIDADES	28 020,31
D		28 020,31
E	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	336 243,68
F	I.G.V. (S/.)	60 523,86
G	VALOR REFERENCIAL (S/.)	396 767,54
H	CAPACITACION (S/.)	2 500,00
	PRESUPUESTO TOTAL (S/.)	399 267,54

Fuente: Elaborado por el propio Autor

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

a) La energía promedio diaria proyectada para el caserío LLushcapampa es de 49,432 KWh/día para 28 viviendas y 01 local comunal. La máxima demanda es de 16, 844 KW. Para el mes critico el aerogenerador aporta el 49,72% de la energía a la carga mientras que el generador fotovoltaico el 50,28 % restante. En el mes de agosto de mayor velocidad de viento el aerogenerador aporta el 85,4% y el generador fotovoltaico el 14,6%

b) Se obtuvo los datos de velocidad y dirección del viento de la estación meteorológica Huambos (ANEXO 01) para determinar los meses críticos de velocidad , luego se ha obtenido datos de las estación meteorológica automática Huambos de los mes de enero y agosto en los cuales la velocidad del viento es menor y mayor respectivamente (ANEXO 02) y (ANEXO 03) con lo cual se obtuvo los parámetros de la distribución de WEIBULL. Con respecto de la radiación solar Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual donde según la NASA se ha obtenido un valor de $4,35 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y, según el SENAMHI (Atlas 2003) se ha obtenido un valor de $4,75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. De estos valores se ha considerado el menor es decir $4,35 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ para el dimensionamiento del sistema hibrido eólico solar fotovoltaico.

c) Se dimensionó y seleccionó los equipos para el sistema hibrido eólico solar fotovoltaico el cual está compuesto por 01 aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3 kW, 40 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 190 Wp, la potencia del generador fotovoltaico es de 7,6 kWp ; 24 baterías de acumuladores ROLLS de 503 Ah, 02 controladores de carga VICTRON ENERGY 150/85 y 02 inversor

Must Solar 48/10 000-230 V, conductores eléctricos para la red secundaria
1x16/25 y 2x16/25

d) El costo total del sistema hibrido eólico solar fotovoltaico es de S/ 399 267,54

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 2) Alvarado Guanin, Christian Rene. «ILUMINACIÓN AUTOSUSTENTABLE FOTOVOLTAICO PARA UNA PARADA DE BUSES Y SU VALLA INFORMATIVA DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE DE CUENCA.» 2015.
- 3) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 4) DGE-MINEM. «Ley de consecciones electricas y su reglamento.» 2009.
- 5) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 6) E. ALCOR. *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS*. s.f.
- 7) electricidad, Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector. «Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector electricidad.» peru, 2001.
- 8) 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.
- 9) IEA. «World energy Outllok.» 2016.
- 10) Indeco. «Catalogo de cables NYY -DUPLEX.» s.f.
- 11) Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.
- 12) Joachin Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.
- 13) 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.
- 14) MINEM, DGE. «Codigo Nacional de Eelectricidad Suministro.» 2001.
- 15) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais.» Lima, 2005.

- 16) Nuñez Rehbein, Fabian Alonso. «Utilización de sistema de energías renovables no convencionales híbrido solar-eólico, aplicado al sistema de iluminación del borde costero de la ciudad de Puerto Montt.» Chile, 2012.
- 17) PEREIRA RIVEIRO, FRANCISCO DE ASSIS. «PROYECTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACION PUBLICA.» 2002.
- 18) Sanchez Quiroga, David. «Sistema de energia solar fotovoltaica aislada para vivienda unifamiliar aislada.» 2012.
- 19) SENAMHI. «Atlas de energia solar del Peru.» 2003.
- 20) Servan Socola, Jorge. «Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red.» Piura, 2014.
- 21) TECSUP. *Generación de energía fotovoltaica.pdf* - TECSUP. s.f.
- 22) Toapanta Aguilar, Rodrigo Sebastian, y Jorge Lius Hidalgo Guerrero. «Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014.» Ecuador, 2016.
- 23) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP.» Lima, 2014.
- 24) Velazquez Cespedes, Roberto Andres. «Proyecto de instalacion solar fotovoltaica en el departamento de Ingenieria Electrica de la Uniersidad Santiago de Chile.» tesis, Uniersidad de Santiago de Chile, Santiago-Chile, 2012.

ANEXOS

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

ANEXO N°02. DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA HUAMBOS MES DE ENERO Y AGOSTO DEL 2018

ANEXO N°03. VELOCIDAD DEL VIENTO A 15 m

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR ENAIR 30 PRO

ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SIMAX DE 190 Wp

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

ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DEL CONTROLADOR 150 /85 VICTRON ENERGY

ANEXO N°08. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR DE 10 kW MUST SOLAR

ANEXO N°09. FICHA TÉCNICA DE CABLES NYY

ANEXO N° 10. PLANILLA DE METRADO RS

ANEXO N° 11. SISTEMA EÓLICO SOLAR FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 12. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

ANEXO N° 13. PANEL FOTOGRÁFICO