



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“DISEÑO DE SISTEMA HIBRIDO EÓLICO
FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO
CHORURO EN HUAMBOS DEPARTAMENTO DE
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

Bach. JEAN SIMONS JESÚS INFANTE REYES

Asesor:

Msc. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

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

**“DISEÑO DE SISTEMA HIBRIDO EÓLICO
FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO
CHORURO EN HUAMBOS DEPARTAMENTO DE
CAJAMARCA”**

Presentado Por:

Bach. JEAN SIMONS JESÚS INFANTE REYES

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Dr. Aníbal Jesús Salazar Mendoza.

SECRETARIO: Msc. Juan Antonio Tumialan Hinostroza.

MIEMBRO: Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco.

ASESOR: Msc. Carlos Javier Cotrina Saavedra.

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TITULO

**“DISEÑO DE SISTEMA HIBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA
ELECTRIFICAR EL CASERÍO CHORURO EN HUAMBOS 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. JEAN SIMONS JESÚS INFANTE REYES

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

Lambayeque – Perú

Marzo del 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Bach. JEAN SIMONS JESÚS INFANTE REYES

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora cuidándome y protegiéndome en cada etapa de mi vida; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Simón Infante Chávez, mi MADRE Lidia Noemí Reyes Mendoza, mis segundas madres MIS ABUELAS ADA MENDOZA ALBÚJAR Y TIODULA CHÁVEZ SUYON.

Que son mis ángeles que me cuidan y me guían desde el cielo; a mi abuelo Rudorico Roque Rico;

a mi hermana Ada Infante Reyes por siempre brindarme su confianza; mi sobrina Nahira Chumioque Infante y a todos mis tíos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último y muy importante, a mi asesor de tesis el Ing. Msc. Carlos Javier Cotrina Saavedra por su apoyo y guiarme con sus conocimientos para la elaboración de mi proyecto de tesis una etapa que culmino.

Gracias

Bach. JEAN SIMONS JESÚS INFANTE REYES

RESUMEN

El objetivo de la tesis es diseñar un sistema híbrido eólico fotovoltaico para electrificar el caserío Choruro en Huambos en el departamento de Cajamarca. El tipo de investigación fue aplicada pues con la presente tesis se pretende solucionar un problema de la vida real. Luego de recopilar datos y realizar los cálculos se obtuvo que : La demanda de energía promedio diaria proyectada para el Choruro es de 31, 206 KWh/día. Y con una máxima demanda 9 546 W. Según el SENAMHI (Atlas 2003) se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m²/día y del software METEORNOM se ha obtenido un valor de en el caserío Choruro es de 5,71 kWh/m²/día. según la NASA se ha obtenido un valor de 4,61 kWh/m²/día, De estos tres valores para el dimensionamiento de sistema fotovoltaico se ha considerado el menor de ellos, es decir: 4,61 kWh/m²/día. Con respecto de la velocidad del viento se ha obtenido los datos de la estación meteorológica convencional para obtener los valores promedios Huambos y luego datos de la estación meteorológica automática de Chota. El sistema fotovoltaico estará conformado por: 30 paneles fotovoltaicos de 300 Wp de la marca YINKO, 16 baterías de acumuladores 503 Ah de la marca ROLLS, 03 reguladores de carga 150/60 de la marca VICTRON ENERGY, 02 inversor 48/6000-230 V de la marca MUST SOLAR; aerogenerador ENAIR de 5 kW con su controlador. así como elementos de protección. El Costo del sistema fotovoltaico aislado es de S/ 377 072,91

Palabras clave: aerogenerador, modulo fotovoltaico, inversor, controlador

ABSTRACT

The objective of the thesis is to design a photovoltaic wind hybrid system to electrify the Choruro hamlet in Huambos in the department of Cajamarca. The type of research was applied because with this thesis is intended to solve a real-life problem. After collecting data and performing the calculations, it was obtained that: The daily average energy demand projected for the Choruro is 31, 206 kWh / day. And with a maximum demand 9 546 W. According to the SENAMHI (Atlas 2003) a value of 4.75 kWh / m² / day has been obtained and from the software METEORNOM a value of in the Choruro farm has been obtained. 5.71 kWh / m² / day. According to NASA, a value of 4,61 kWh / m² / day has been obtained. Of these three values for the sizing of the photovoltaic system, the lowest of them has been considered, that is to say: 4,61 kWh / m² / day. Regarding the wind speed, the data from the conventional meteorological station has been obtained to obtain the Huambos average values and then data from the Chota automatic meteorological station. The photovoltaic system will be made up of: 30 photovoltaic panels of 300 Wp of the YINKO brand, 16 batteries of accumulators 503 Ah of the ROLLS brand, 03 charge regulators 150/60 of the brand VICTRON ENERGY, 02 inverter 48 / 6000-230 V of the MUST SOLAR brand; 5 kW ENAIR wind turbine with its controller. as well as protection elements. The cost of the isolated photovoltaic system is S / 377 072.91

Keywords: wind turbine, photovoltaic module, inverter, controller

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
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
1.3.1. Delimitación temporal	9
1.4. Justificación e Importancia de la Tesis.....	10
1.5. Limitaciones de la TESIS	11
1.6. Objetivos de la TESIS	11
1.6.1. Objetivo General	11
1.6.2. Objetivo Específicos	11
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes de Estudios.....	12
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado.....	20
2.2.1. Radiación solar	20
2.2.2. Célula fotovoltaica.....	28
2.2.3. Módulos fotovoltaicos	30

2.2.4. Estructuras de soporte.....	41
2.2.5. Sistema fotovoltaico aislado	43
2.2.6. Componentes del sistema fotovoltaico	46
2.2.7. Sistema eólico.....	64
2.2.8. Sistema hibrido eólico fotovoltaico.....	78
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	78
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	84
3.1. Tipo y diseño de investigación	84
3.2. Población y muestra.....	85
3.3. Hipótesis	85
3.4. Variables - Operacionalización.....	85
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	87
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	88
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	88
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	89
4.1. Descripción del sistema propuesto	89
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	92
5.1. Determinación de la energía eléctrica requerida en el caserío Choruro	92
5.1.1. Población actual y proyección para el caserío Choruro.	92
5.1.2. Alumbrado publico	96
5.2. Determinación de la irradiación solar y el potencial eólico en el caserío Choruro	98
5.2.1. Irradiación solar	98
5.2.2. Potencial eólico.....	99
5.3. Selección de equipos para el sistema hibrido eólico fotovoltaico	102
5.3.1. Selección de equipos para el sistema eólico	102
5.3.2. Dimensionamiento y selección de equipos para el sistema fotovoltaico.....	105

5.3.3. Dimensionamiento y selección del controlador	107
5.3.4. Selección del banco de baterías	107
5.3.5. Selección del inversor	109
5.3.6. Calculo y selección de los conductores eléctricos	110
5.3.7. Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos.....	113
5.4. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V	114
5.4.1. Cálculos eléctricos	114
5.4.2. Los cálculos mecánicos	119
5.5. Presupuesto	125
5.5.1. Presupuesto del sistema fotovoltaico.....	125
5.5.2. Presupuesto de la red de distribución secundaria	126
5.5.3. Costo total del sistema del sistema eléctrico en el caserío Choruro	129
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	131
ANEXOS	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Límites del distrito de Huambos.....	4
Tabla N° 2: Características geográficas de Huambos	4
Tabla N° 3: Ubicación geográfica del caserío Choruro.....	5
Tabla N° 4: Temperatura máxima, mínima y promedio en Huambos	8
Tabla N° 5: Valores de rugosidad.....	69
Tabla N° 6: Operacionalización de variables.....	86
Tabla N° 7: Técnicas e instrumentos.....	88
Tabla N° 8: Tasa de crecimiento para el departamento de Cajamarca	92
Tabla N° 9: Tasa de crecimiento poblacional	93
Tabla N° 10: proyección de la población y vivienda	94
Tabla N° 11: Energía promedia diaria en las unidades de vivienda del caserío Choruro- Huambos.....	95
Tabla N° 12: Energía promedia diaria en el local comunal del caserío Choruro- Huambos	95
Tabla N° 13: Lámparas de alumbrado publico	97
Tabla N° 14: Energía eléctrica para el alumbrado publico	97
Tabla N° 15: Energía eléctrica total para el caserío Choruro	97
Tabla N° 16: Irradiación solar obtenida de diferentes fuentes	98
Tabla N° 17: Datos de Irradiación solar de diferentes fuentes	99
Tabla N° 18: Datos de la estación meteorológica Huambos	100
Tabla N° 19: Variación de la velocidad con la altura	101
Tabla N° 20: Energía obtenida del aerogenerador para una altura de 19 m .	102
Tabla N° 21: Energía promedio diario obtenido del aerogenerador ENAIR 70 PRO.....	104
Tabla N° 22: Balance de energía	105
Tabla N° 23: Cálculo del generador fotovoltaico	106
Tabla N° 24: Costo del banco de baterías según la capacidad	108
Tabla N° 25: Conductores eléctricos NYY	111
Tabla N° 26: Características de los cables autoportantes	115
Tabla N° 27: Caída de tensión C-I.....	117
Tabla N° 28: Caída de tensión C-II.....	118
Tabla N° 29: Distancias mínimas del conductor a la superficie del terreno ...	119
Tabla N° 30: Características mecánicas de los conductores eléctricos autoportantes	119
Tabla N° 31: Datos de la estación meteorológica Huambos	120
Tabla N° 32: Resultados de la ecuación de cambio de estado	123
Tabla N° 33: Valor referencial para el suministro de materiales para el sistema eólico-fotovoltaico.....	125
tabla N° 34: Costo directo del sistema fotovoltaico	125

Tabla N° 35: Suministro de materiales para la red de distribución secundaria	126
Tabla N° 36: Costo para el montaje de las redes secundarias.....	127
Tabla N° 37: Costo directo de la red de distribución secundaria en el Caserío Choruro	128
Tabla N° 38: Costo total del sistema del sistema eléctrico en el caserío Choruro	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ingreso al caserío Choruro- Huambos -Cajamarca	3
Figura N° 2: Ubicación del caserío el Choruro en Huambos	6
Figura N° 3: Velocidad promedio del viento mensual	9
Figura N° 4: Radiación solar.....	22
Figura N° 5: Horas solares pico.....	23
Figura N° 6: Radiación solar en el departamento de Amazonas.....	27
Figura N° 7: Célula fotovoltaica	29
Figura N° 8: Panel Fotovoltaico	31
Figura N° 9: Cubierta de vidrio	33
Figura N° 10: Célula solar	35
Figura N° 11: Detalles constructivos	36
Figura N° 12: Caja de terminales	37
Figura N° 13: Curva I-V , de paneles fotovoltaicos.....	40
Figura N° 14: Estructura fija para paneles fotovoltaicos.....	42
Figura N° 15: Instalación con seguidor solar	43
Figura N° 16: Sistema fotovoltaico aislado.....	45
Figura N° 17:Regulador de carga.....	47
Figura N° 18: Regulador de carga.....	49
Figura N° 19: Baterías de uso fotovoltaico	54
Figura N° 20: Formas de salida de las ondas de un inversor	59
Figura N° 21: Inversor VICTRON ENERGY	61
Figura N° 22: Conductores eléctricos.....	63
Figura N° 23: A) Irradiancia solar sobre una superficie horizontal; B) Irradiancia solar absorbida por la Tierra C) Irradiancia radiada al espacio exterior	65
Figura N° 24: Circulación general de aire en la superficie.....	65
Figura N° 25: Ejemplo de una rosa de viento	66
Figura N° 26: Ley de Betz	67
Figura N° 27: Sistema eólico de generación	70
Figura N° 28: Distribución de velocidades para diferentes valores de su parámetro k	72

Figura N° 29: Distribución acumulativa de Weibul para diferentes valores de su parámetro de forma k	73
Figura N° 30: Componentes de un aerogenerador.....	77
Figura N° 31: Flujograma de la propuesta.....	91
Figura N° 32: entrevista a los habitantes del caserío Choruro	96
Figura N° 33: Estación meteorológica Huambos.....	100
Figura N° 34: Determinación de los parámetros " k " y " c " de la distribución de WEIBULL.....	103
Figura N° 35: Dimensionamiento y selección del controlador	107
Figura N° 36: Dimensionamiento y selección de baterías	108
Figura N° 37: Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos.....	113
Figura N° 38: Flecha y distancia del conductor al terreno	124

INTRODUCCIÓN

La presente TESIS titulado: **“DISEÑO DE SISTEMA HIBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERÍO CHORURO EN HUAMBOS DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”** es una investigación de tipo aplicada y el diseño es no experimental.

En el Capítulo I, se muestra la realidad problemática existente del **CASERÍO CHORURO UBICADO EN EL DISTRITO DE HUAMBOS PERTENECIENTE EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**. Luego se formula el problema para luego justificar la investigación realizada y presentar los Objetivos de la Investigación.

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

En el Capítulo III, se presenta el Marco Teórico, donde se describe el diseño de la Investigación, describiendo las Variables y su Operacionalización, así como la Población y Muestra, además de las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación, así como los Métodos de Análisis de Datos.

En el Capítulo IV, se presenta la propuesta que resuelve la problemática de falta de suministro de energía eléctrica por medio de un sistema híbrido eólico fotovoltaica, así como de la red de distribución en B.T.

En el Capítulo V, se presenta los Resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos generales y específicos definidos.

En el Capítulo VI, se presenta las Conclusiones

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el caserío Choruro ubicado en Huambos provincia de Chota departamento de Cajamarca se ha observado que no cuenta con suministro de energía eléctrica, la distancia del caserío a las redes eléctricas más cercanas es de 15 km y los habitantes son de bajos recursos económicos, los cuales usan medios alternativos para lograr iluminación artificial durante la noche por medio de mecheros, velas, mecheros, los cuales producen gases que contaminan el medio ambiente.

El estado peruano promueve el uso y aplicación de las energías renovables: biomasa, solar, geotérmica, hidráulica y mareomotriz (Según el Artículo 3° de DLEG-1002-2008)¹. La idea es mejora la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente (Según el Artículo 11° de Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables DLEG-1002-2008).

En base a la problemática existente se presenta como una solución energética utilizar las energías renovables: la energía eólica y solar fotovoltaica para generar energía eléctrica en el caserío Choruro.

¹ <http://www2.osinerg.gob.pe/marcolegal/docrev/D.%20Leg.%201002-CONCORDADO.pdf>

1.2. Formulación del Problema

¿Con el diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico aislado se logrará electrificar al caserío Choruro en Huambos perteneciente al departamento de Cajamarca?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial



Figura N° 1: Ingreso al caserío Choruro²- Huambos -Cajamarca

² Fuente: elaboracion propia

El **Distrito de Huambos** es uno de los diecinueve que conforman la Provincia de Chota, ubicada en el Departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno regional de Cajamarca.

Límites y colindancias

Tabla N° 1: Límites del distrito de Huambos³

Por el Norte	con el río Chotano, en el sitio Chongomarca
Por el Este	desde Lanchiconga hasta la quebrada llamada Pisgapunchan, desde allí al Naranjo, Sacracocha y al cerro Cuchumalca y Quisquish para llegar al río Chotano
Por el Sur	con el límite de la hacienda Cutervillo hasta los límites de la hacienda Chancay en la cordillera de San Cristóbal
Por el Oeste	con la hacienda Huarimarca, hasta el río Sirato

Características geográficas

Código Ubigeo: 060409

06 CAJAMARCA

0604 CHOTA

060409 HUAMBOS

Tabla N° 2: Características geográficas de Huambos

Altitud	Latitud	Longitud	Superficie
2 273 msnm	06°27'08"	78°57'50"	240,72 Km ²

³ https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Huambos

Vías de comunicación

La vía de comunicación más importante es la terrestre, que va desde la ciudad de Chiclayo hasta la Ciudad de Chota y Viceversa. La carretera de comunicación es asfaltada y está en buenas condiciones y tiene paso por las ciudades de Pomalca, Patapo, Tumán, Cumbil, Llama, Huambos, Cochabamba, Lajas y Chota.

Específicamente el Distrito de Huambos tiene buena comunicación con las Ciudades de Chiclayo y Chota por medio de la Carretera asfaltada, pero los caminos vecinales de comunicación interna están en regulares condiciones, algunas las trochas carrozables la situación se vuelve caótica, imposibilitando la Transitabilidad de la misma en épocas de lluvia.

Caserío Choruro

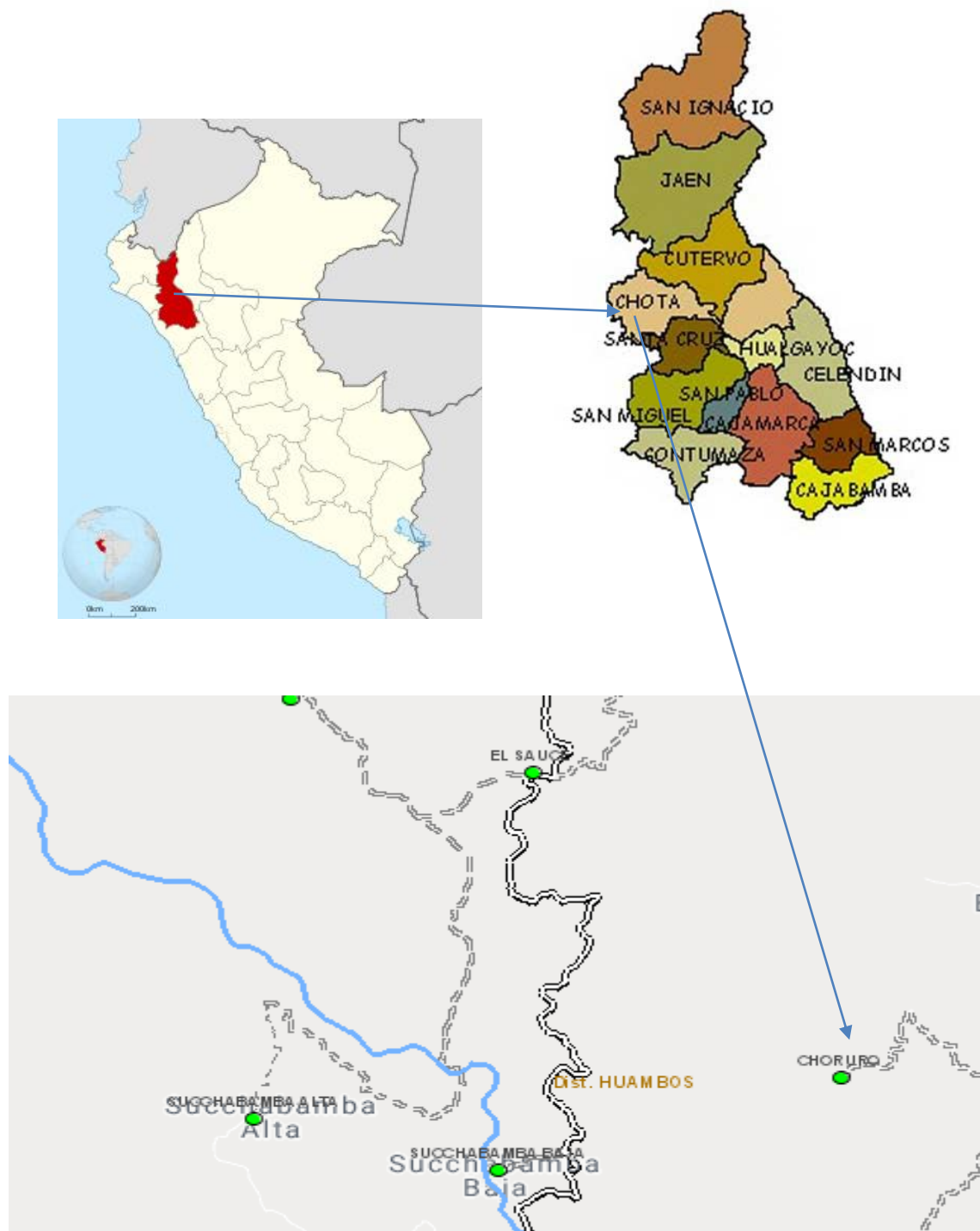
El caserío Choruro se encuentra ubicado en:

Tabla N° 3: Ubicación geográfica del caserío Choruro⁴

Latitud	Longitud
-6.34961666667	-78.9510883333

⁴ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Figura N° 2: Ubicación del caserío el Choruro en Huambos⁵



⁵ https://chota.webcindario.com/Datos_Chota/Distritos/huambos.htm

Lluvia⁶

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

La temporada de *lluvia* dura 7,3 meses, del 2 de octubre al 12 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La *mayoría de la lluvia* cae durante los 31 días centrados alrededor del 20 de marzo, con una acumulación total promedio de 38 milímetros.

El periodo del año *sin lluvia* dura 4,7 meses, del 12 de mayo al 2 de octubre. La fecha aproximada con *la menor cantidad de lluvia* es el 21 de julio, con una acumulación total promedio de 1 milímetros.

Temperatura⁷

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.

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.

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

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

En la Tabla N° 4 se muestra la temperatura máxima, mínima y promedio en Huambos.

Tabla N° 4: Temperatura máxima, mínima y promedio en Huambos⁸

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	16.5	16.2	16	15.9	15.2	14.9	14.4	14.8	15.2	15.7	15.7	15.9
Temperatura mín. (°C)	10.3	10.1	9.9	9.8	8.1	7.2	7.2	7.6	8.3	9.1	8.8	8.9
Temperatura máx. (°C)	22.7	22.3	22.1	22	22.4	22.6	21.7	22	22.1	22.3	22.7	22.9
Temperatura media (°F)	61.7	61.2	60.8	60.6	59.4	58.8	57.9	58.6	59.4	60.3	60.3	60.6
Temperatura mín. (°F)	50.5	50.2	49.8	49.6	46.6	45.0	45.0	45.7	46.9	48.4	47.8	48.0
Temperatura máx. (°F)	72.9	72.1	71.8	71.6	72.3	72.7	71.1	71.6	71.8	72.1	72.9	73.2
Precipitación (mm)	75	90	138	119	63	29	25	40	70	94	72	59

Viento⁹

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

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

⁸ <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/cajamarca/huambos-875120/>

⁹ <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

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.

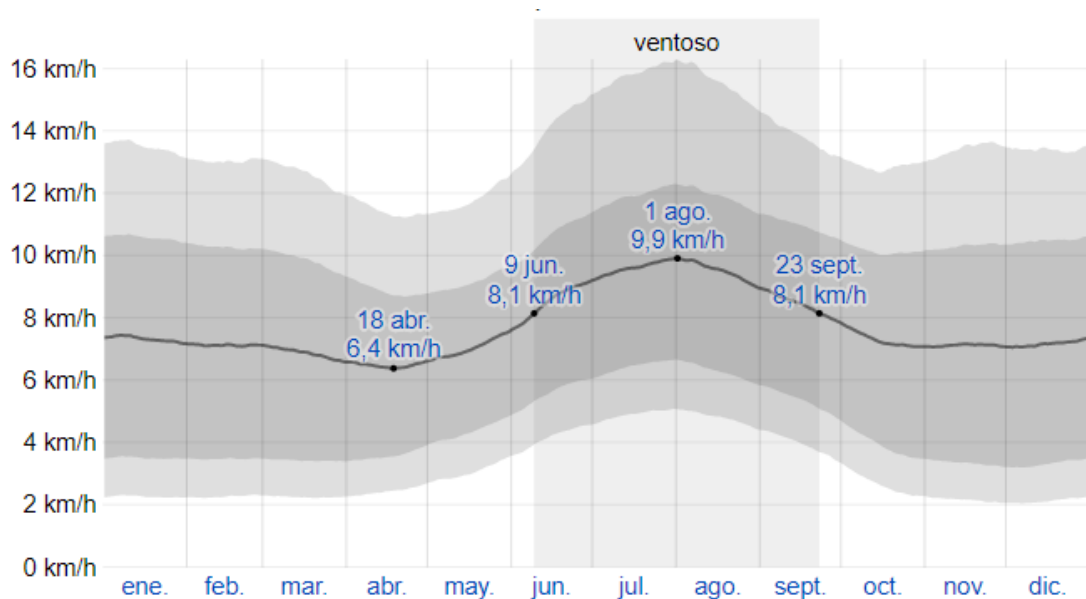


Figura N° 3: Velocidad promedio del viento mensual¹⁰

1.3.1. Delimitación temporal

El desarrollo de la presente tesis tuvo una duración de 07 meses

¹⁰ Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/19970/Clima-promedio-en-Huambos-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

1.4. Justificación e Importancia de la Tesis

La humanidad actualmente se encuentra con muchas interrogantes acerca de la sostenibilidad de nuestra forma de vida y trabajo, debido a la creciente demanda de energía eléctrica en el mundo; de ahí que resulta necesario utilizar otros recursos energéticos. La energía renovable nos garantiza un menor impacto sobre nuestros ecosistemas.

El diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico tiene la siguiente justificación:

Justificación ambiental

Al implementar la presente investigación se generará energía eléctrica en base a energías eólica y solar fotovoltaica y esto contribuirá a la reducción de CO₂ que se genera debido a otros tipos de energía como son la térmica o la quema de combustibles fósiles.

Justificación social

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

Justificación Técnica

El actual proyecto de investigación se justifica porque está enmarcado dentro del plan de electrificación rural y permitirá la implementación de tecnología fotovoltaica y aerogeneradores.

1.5. Limitaciones de la TESIS

La presente tesis se ha limitado a datos secundarios: en cuanto a datos de radiación solar al atlas solar del SENAMHI y el uso del software METEONORM.

La velocidad del viento se ha obtenido de la estación meteorológica de Chota.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

El objetivo de la tesis es diseñar un sistema híbrido eólico fotovoltaico para electrificar el caserío Choruro en Huambos en el departamento de Cajamarca.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Determinar la demanda de energía eléctrica proyectada y máxima demanda para el caserío Choruro.
- b) Obtener datos de irradiación solar y velocidad del viento en la zona de estudio.
- c) Dimensionar y seleccionar los equipos para el sistema híbrido eólico - fotovoltaico logren suministrar energía eléctrica a las viviendas y cargas especiales del caserío Choruro.
- d) Determinar el costo referencial del sistema eólico - fotovoltaico.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

(ROSALÍA BELEN REVELO S. 2015) En su trabajo de tesis titulado: “Factibilidad técnica y económica de un sistema híbrido aislado de red para la estación cotopaxi del instituto espacial ecuatoriano (IEE)” contiene el diseño del sistema híbrido, se presenta el levantamiento de la curva de demanda, un análisis de viento, análisis de la radiación solar, se recopila la información técnica de componentes como: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, banco de baterías e inversores. Se plantean escenarios de simulación, se analizan los resultados de la optimización entregados por iHOGA desde el punto de vista técnico y financiero. Se contrastan los resultados y se selecciona un escenario definitivo. Se define la estrategia de control, y se realiza la evaluación financiera.

Para ello utiliza un software de optimización iHOGA (improved Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms) y un estudio de recursos energéticos tanto de radiación solar y potencial eólico, así como un estudio de demanda.

Según Toapanda, Rodrigo; Hidalgo, Jorge en su trabajo de tesis " Análisis e implementación de un pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “la merced” ubicada en el barrio santa Ana del pedregal, parque nacional cotopaxi en el periodo 2014”. Este trabajo está encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema

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 servirá de apoyo para trabajos de investigación a futuro. La aplicación de tecnologías limpias renovables, están orientadas a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá que la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país.

Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías, es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad. Por lo que se está seguro que la energía eólica y solar es una gran alternativa ya que se puede generar energía eléctrica en la asociación de productores pecuarios de la hacienda “La Merced”, mediante la velocidad del viento y la radiación solar, incluso este tipo de energía sería adaptable en todo el lugar ya que no se necesita una gran aplicación en su costo y su beneficio como en los lugares más olvidados o alejados de la red eléctrica.

(Sandoval Sanchez & Navarro Ramirez, 2017) en su tesis titulado “modelos de sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas rurales de la comunidad el Jilguero de la Reserva Natural Miraflor Moropotente, municipio de Condega” El informe

investigativo abordó la posibilidad de electrificación en la comunidad mediante la utilización de las energías renovables como fuente primaria.

En el planteamiento de opciones de electrificación se emplea la utilización de un sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico, en el que se abordó una posible demanda de energía eléctrica que sería cubierta por este sistema, el impacto socioeconómico para la condición de los habitantes de la zona, asimismo mejorar su calidad de vida al realizar las labores cotidianas de manera más fácil y rápida. Además, nos informa que la evaluación del potencial energético se toma como una referencia las mediciones de la estación meteorológica del municipio de Condega, así como las mediciones de la NASA el viento y radiación solar de la localidad son de importancia para el dimensionado del sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico, realizando un censo de carga se obtuvo una posible demanda de energía eléctrica de cada casa de la comunidad.

Teniendo como conclusiones que, la demanda de las casas de la comunidad consume un aproximado de 1 kwh, la aceptación de las personas encuestadas hacia los sistemas de generación de energía eléctrica renovable, así como la necesidad de la electricidad para el desarrollo de la comunidad y mejorar su calidad de vida, es aceptable.

(Nuñez Rehbein, 2012) En la tesis titulado **“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”** en el resumen nos explica que El planteamiento del problema nace ante la necesidad actual de utilizar fuentes de generación de energía eléctrica que permitan un desarrollo sustentable en materia de suministro energético mediante la

creación de una política de estado no sólo a nivel local/regional, sino que también a nivel nacional con miras a una internacionalización. En este contexto, el proyecto se enmarcó en el estudio del potencial de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), específicamente para la utilización de energía solar y energía eólica, siendo su objetivo la realización de una evaluación de proyectos que contemplara los factores técnicos, legales, políticos, ambientales y económicos.

(Hidalgo Guerrero & Rodrigo Sebastian, 2016) en su tesis “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO CENTRAL HÍBRIDA SOLAR EÓLICA PARA GENERAR 500W EN LA HACIENDA “LA MERCED” UBICADA EN EL BARRIO SANTA ANA DEL PEDREGAL, PARQUE NACIONAL COTOPAXI EN EL PERIODO 2014” Este trabajo está encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema 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 servirá de apoyo para trabajos de investigación a futuro. La aplicación de tecnologías limpias renovables, están orientadas a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá que la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país¹¹.

¹¹ (Hidalgo Guerrero & Rodrigo Sebastian, 2016)

Contexto nacional

(LUIS ÁLVARO DÍA G. 2010) En su trabajo de tesis titulado: “Análisis energético de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico en el sector típico IV utilizando el método de series sintéticas” En esta tesis trata sobre la generación de energía eléctrica a partir de dos energías que pertenecen a las energías renovables, ambos tienen su origen en la radiación solar, siendo la energía eólica de una manera indirecta. El Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) es 100% renovable y limpio, por la que contribuye en la lucha contra la contaminación ambiental, el cambio climatológico, etc.

Comprende el sustento teórico de los sistemas energéticos en general, sobre los métodos de dimensionamiento de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) en estos casos los sistemas híbridos ganan fiabilidad respecto a los sistemas con una sola fuente de energía, sin necesidad de sobredimensionamiento de los convertidores o los acumuladores.

se centra en el dimensionamiento de un sistema mixto eólico fotovoltaico para una vivienda rural en la que se ha introducido aspectos relacionados al medio ambiente que inciden directamente en la estimación de la demanda energética que se desea cubrir. se realiza la factibilidad económica de la instalación de un aerogenerador, los costos de inversión y costos de operación, cabe indicar que el procedimiento de aplicación de estos parámetros se caracteriza por apoyarse en la evaluación económica y el análisis de sensibilidad.

(JORGE ARAMANDO SERVÁN S. 2014) En su trabajo de tesis titulado “Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red” 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 realiza un análisis en estado estacionario con la finalidad de evaluar el potencial energético disponible en la zona. Utilizando 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, se calcula el potencial solar y eólico disponibles y se procede a dimensionar correctamente el sistema para la demanda energética calculada previamente.

Dimensionado el sistema se procede 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 identifican 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 proyecto.

HUALPA & HUAMANÍ (2014) en su tesis titulado: “Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua” nos expresa que el uso de energías renovables en cualquier lugar de nuestro país requiere tener información actualizada sobre las características y operación de las alternativas de equipos que se pueden instalar. También es muy importante el conocer si existe o no recurso disponible en el lugar donde se planea realizar la instalación

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

En este trabajo se realiza un estudio de las características de salida de energía que tendría un sistema híbrido (solar–eólico) en la localidad de Ilo. Se escoge este lugar debido a que se cuenta con datos precisos de viento (velocidad y dirección) proporcionados por la Municipalidad Provincial de Ilo, asimismo se tienen disponible los datos de radiación solar y con ello es posible realizar un estudio preciso sobre la salida de energía del sistema.

Para lograr esto se desarrolla en los primeros capítulos la metodología que permite hacer el tratamiento estadístico de los datos con que se cuenta. Teniendo como base un ejemplo hipotético, pero bastante realista, de consumo de energía en una localidad rural se establecen la demanda de energía que se requiere para satisfacer necesidades básicas de luz y agua. Finalmente, y estableciendo a partir de las alternativas que ofrece el mercado, la configuración del sistema solar–eólico, se puede conocer la energía que es capaz de suministrar el sistema y hacer la comparación con la alternativa de grupo electrógeno la cual es una de las más utilizadas en nuestro país para suministrar energía en situaciones de aislamiento¹².

¹² Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

Contexto local

Según **LLAUCE (2016)** en su tesis titulado “Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica en el restaurant el Cruceñito, ubicado en el Km 90, carretera a Lambayeque-Piura” Nos dice que el restaurant está en un lugar donde no hay el servicio eléctrico en redes de baja tensión, se optó por la implementación de un sistema fotovoltaico comercial, remplazando la generación eléctrica de un motor diésel. El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) autónomo en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados a comunidades de nuestra región que aún no cuentan con el suministro eléctrico, además de contribuir a la reducción de emisiones de CO₂, así mismo capacitar a la población sobre la gran importancia que tiene la energía solar y sus diferentes aplicaciones. Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

Para el desarrollo del proyecto se realizó el estudio de la máxima demanda de energía eléctrica en el restaurant “El Cruceñito” propiedad del Sr. Orlando Santamaría Baldera y así aplicarla al diseño. Se tuvo en cuenta la radiación solar existe en la región de Piura usando datos estadísticos de NASTEC y de esta manera poder seleccionar los componentes a utilizar. La orientación del panel fotovoltaico tendrá la inclinación adecuada para captar la mayor radiación posible y nuestro sistema sea lo más eficiente

posible. La potencia requerida para el sistema es de 870 Wp, que se obtuvo según cálculos realizados, y cada panel tendrá una potencia de 145 Wp para que su funcionamiento sea con total eficiencia.

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir el consumo de combustible diésel en 912 galones/año. Se recomienda difundir y apoyar la investigación sobre este tipo de tecnología y así desarrollar proyectos en beneficio de comunidades que aún no tienen el servicio de electricidad en sus domicilios¹³.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Radiación solar¹⁴

La energía solar se fundamenta en el aprovechamiento de la radiación solar para la obtención de energía que podemos aprovechar directamente en forma de calor o bien podemos convertir en electricidad.

Calor: la energía solar térmica, consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol, para la producción de agua caliente, para consumo doméstico o industrial, climatización de piscinas, calefacción de nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc.

Electricidad: energía solar fotovoltaica, permite transformar en electricidad la radiación solar a través de unas células fotovoltaicas o placas solares.

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 Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.

¹⁴ (Tercero Ubau, 2015)

La electricidad producida puede usarse de manera directa (por ejemplo: para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. Incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

Radiación Directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación Difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmosfera es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque solo ven la mitad.

Radiación Reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamado también albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

Radiación Global: es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante

sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.



Figura N° 4: Radiación solar¹⁵

2.2.1.1. Horas del sol pico (HSP)¹⁶

Las “**horas de sol pico**” que pueden definirse como el número de horas al día con una hipotética irradiancia de $1\,000\text{ W/m}^2$ que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día.

Una hora solar pico “HSP” equivale a 1 Kwh/m^2 o, lo que es lo mismo, $3,6\text{ MJ/m}^2$. Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo $1\,000\text{ W/m}^2$.

¹⁵ <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

¹⁶ <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

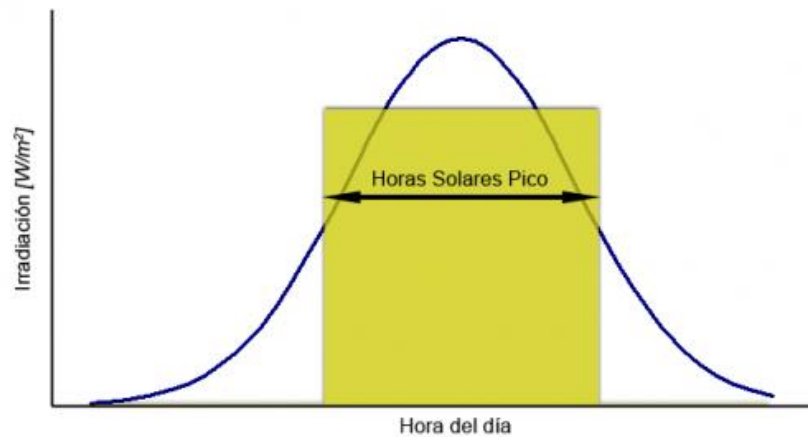


Figura N° 5: Horas solares pico¹⁷

Para calcular entonces el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 W/m^2 . Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

Por ejemplo, si tenemos una irradiación de $3,800 \text{ Wh/m}^2$, para pasarla a HSP, se divide entre 1000 W/m^2 , con lo que obtenemos 3,8 HPS.

2.2.1.2. Situación actual de la energía fotovoltaica

La **energía fotovoltaica en el mundo** se impondrá durante este año. El mercado ha demostrado está acelerado en los últimos años.

¹⁷ <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Estudios en el área calculan que para este año le batirá un récord de 100 gigavatios (GW).

La fotovoltaica está viviendo, sobre todo en Europa, un nuevo florecimiento. Después de años de más de 10 GW. El año pasado el mercado solar europeo registró un crecimiento anual de 8,61 GW. Esto representa un 28 por ciento de incremento.

Crecimiento de la energía fotovoltaica en el mundo

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

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

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

Energía fotovoltaica en el mundo y sus razones

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

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

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

2.2.1.3. Energía solar en el Perú

El Perú cuenta con un alto potencial solar, por su incidencia diaria y constancia durante el año: contamos con un potencial promedio de energía de 5.24 kWh/m² (de acuerdo al Atlas de Energía Solar del Perú, 2003). Se considera que la energía solar en 4kW.h/m² es atractiva para la inversión para el uso de tecnologías de conversión fotovoltaica. (Fuente: CER UNI. Diagnóstico de las Instalaciones Fotovoltáicas y Elaboración de Propuesta Normativa, Lima, 2005: OSINERG). Según cifras del Ministerio de Energía y Minas (2004), el Perú cuenta con una potencia instalada de alrededor de 3,73 MWp (o Mega watt pico). Del total de aplicaciones, se tiene que las principales son las siguientes:

Sistemas Fotovoltáicos (SFV) en comunicaciones: 44 772 unidades.

Sistemas Fotovoltáicos (SFV) para uso domiciliario (electrificación rural, iluminación, uso comunal): 17 448 unidades.

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

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

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

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

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

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

Se ha determinado que los paneles solares pueden proveer de energía eléctrica a zonas rurales. Las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna tienen promedio de energía de 6 a 6,5 kWh/m², mientras que Piura y Tumbes tienen promedio entre 5,5 y 6 kWh/m². Además, existe interés de organismos de cooperación internacional para promover el uso de esta energía.

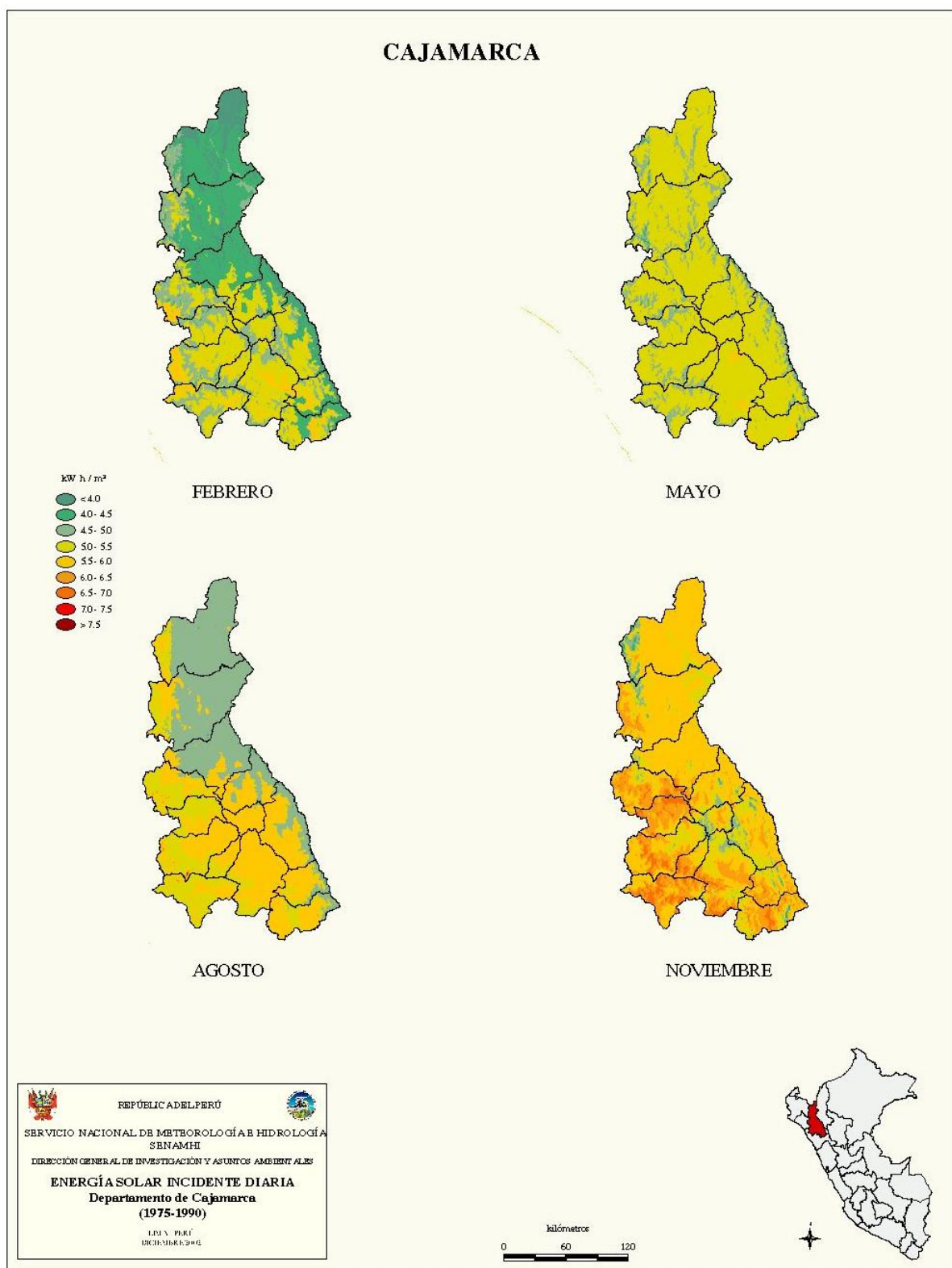


Figura N° 6: Radiación solar en el departamento de Amazonas¹⁸

¹⁸ (SENAMHI, 2003)

2.2.2. Célula fotovoltaica¹⁹

Silicio cristalino

La célula solar más habitual es una lámina de silicio de un grosor aproximadamente 0,3 mm y de una superficie de entre 10x10cm y 16x16cm. El proceso de elaboración tiene un nivel sofisticado y delicado para poder conseguir una homogeneidad del material.

La elaboración se hace en hornos a temperaturas de unos 40° C. A través de una barra, que en el extremo contiene un germen de silicio, se hace crecer un lingote de sección circular y de una longitud de un metro aproximadamente, partiendo de una masa fundida de silicio con una pureza del 99,99 %. previamente, se ha añadido a esta masa una ínfima cantidad de boro (material menos electronegativo que el silicio), este lingote es un monocristal con cierta carencia de electrones (tipo P). El tiempo de elaboración de esta barra es de unas 8 horas.

Seguidamente se secciona la barra de silicio en obleas (finas capas de sólo 0.3mm de grosor), que se tratan químicamente (difusión de fósforo) para crear la unión p-n, es decir, un semiconductor con un campo eléctrico por diferencia de electronegatividades entre la zona P y la zona N.

Se consigue de este modo, que sus zonas tengan defecto de electrones, la p, y por otro lado tenga exceso de electrones, la n. Debido a esta diferencia en el material, se produce un campo eléctrico encargado de empujar los electrones a salir de la película por la superficie de la capa N, y esto lleva a que se establezca una corriente eléctrica.

¹⁹ (Avalos Navarro, 2007)

La célula que se obtiene ha de estar dotada de unos contactos eléctricos para poder canalizar la energía que produce cuando se la ilumina. Estos contactos están diseñados de forma ramificada (en la cara soleada). Hay dos contactos principales y ramificaciones que los unen, para volver a captar mejor los electrones, en toda la superficie de la célula.



Figura N° 7: Célula fotovoltaica²⁰

Hay dos procesos actuales para fabricar el silicio monocristalino:

Método Czochralski: se pasa una muestra de silicio por un magma de silicio fundido y se extrae a una velocidad controlada de manera que, por la parte de detrás, se solidifica una barra que copia fielmente la orientación electrónica de las moléculas.

Sonda Flotante: una vez extraída una barra de silicio a una velocidad elevada, se va recalentando por medio de una bobina y hace que las moléculas se vayan reorientando, siguiendo la muestra.

²⁰ <http://fundacionmundosinfronteras.org/que-es-como-se-genera-y-que-usos-tiene-la-energia-solar-fotovoltaica/>

Otros Materiales

Actualmente hay tres tecnologías y/o materiales que se utilizan para fabricar células solares,

aunque aún algunos están en estudios:

Materiales Amorfos: Silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H)

Materiales policristalinos; - Silicio Policristalino

Telurio de Cadmio (CdTe)

Diseleniuro de Cadmio (CIS)

Materiales monocristalinos: - Arseniuro de Galio (AsGa)

Fósforo de Indio (InP)

2.2.3. Módulos fotovoltaicos

Una célula solar proporciona muy poca energía, y a muy baja tensión.

Además, una sola célula es frágil y muy difícil de comercializar. El fabricante, agrupándolas para procurar que trabajen como una sola, busca suministrar niveles de tensión y potencia adecuados a cada aplicación, y las protege de los agentes climatológicos adversos. Es lo que se llama panel o módulo solar fotovoltaico.

En el panel se asocian eléctricamente un determinado número de células solares y se protege todo el compacto sellándolo al vacío.

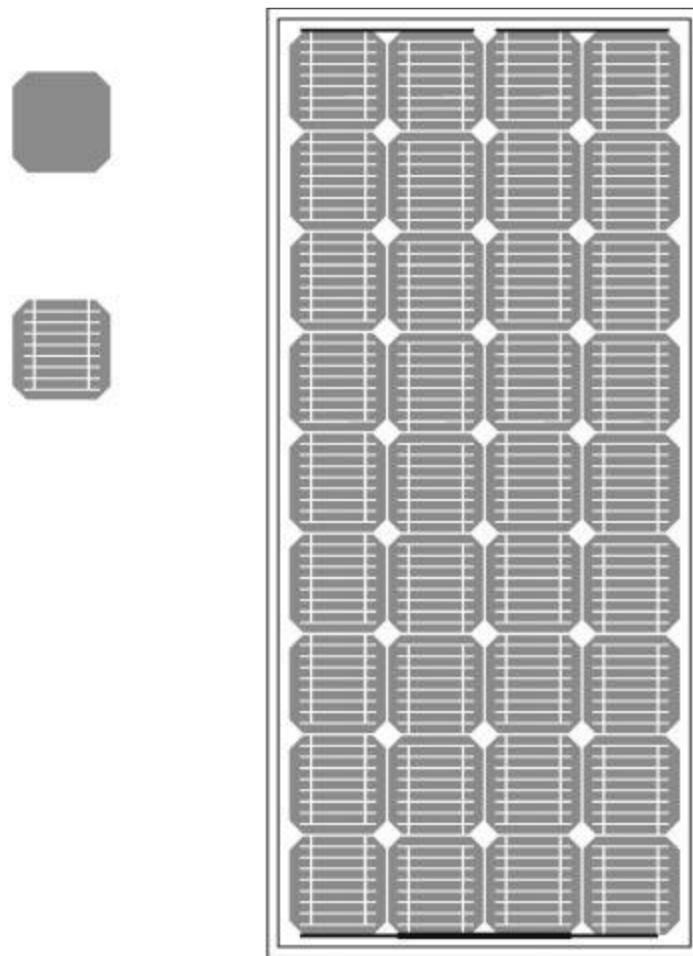


Figura N° 8: Panel Fotovoltaico²¹

Normalmente, un módulo fotovoltaico está constituido por células conectadas en serie, aunque también se comercializan otras combinaciones.

Hay módulos constituidos por 154 células, otros utilizan 72. Lo más usual es que se encuentren compuestos por 30 a 36 células.

Las tensiones de trabajo lógicamente dependen del número de células del panel. Tensiones típicas son 6, 12 y 24 voltios. Actualmente, los módulos más utilizados tienen 36 células de silicio cristalino (Monocristalino o policristalino), con una tensión teórica de trabajo de 12 V en condiciones normales de operación. Es una

²¹ (EVE, 2000)

tensión de trabajo muy frecuente en corriente continua y coincide con la tensión de trabajo de los acumuladores.

Lo habitual es que los módulos fotovoltaicos presenten formas cuadradas o rectangulares (con áreas entre 0,1 y 2,3 m²). La potencia de los módulos se mide en vatios pico, y se representa por Wp.

El mercado actual ofrece potencias entre 0,5 y 280 Wp, aunque lo habitual es que la potencia del panel oscile entre 50 Wp y 165 Wp, según la gama de potencias que comercialice el fabricante. Cuando es necesario una potencia mayor se recurre a la asociación eléctrica de varios módulos. Se puede encontrar una instalación fotovoltaica de 3,5 Wp de potencia para una señalización de carretera, una de 5 000 Wp destinada a electrificar una vivienda alejada de la línea eléctrica, y hasta una de 1 MWp conectada a la red eléctrica general.

El peso de los módulos no suele representar ningún problema en la mayoría de los casos. El peso medio suele ser de 14 kg/m², aunque depende de modelos, marcas, y aplicaciones. Además, habrá que sumarle el peso de la estructura soporte del panel. Se pueden encontrar multitud de minimódulos integrados en el equipo de consumo, como calculadoras, linternas, radios, parquímetros y otros equipos, ya que muchas de las células que se fabrican se destinan a las aplicaciones de pequeño consumo.

La variedad de aspecto, tamaño y forma es bastante grande y se prevé que aún sea mayor. Existen robustos módulos fotovoltaicos que se colocan en la cubierta de los barcos y pueden pisarse con toda tranquilidad. Algunos paneles fotovoltaicos incluso permiten adoptar curvas.

2.2.3.1. Composición típica de un módulo solar fotovoltaico

Cubierta de Vidrio

Vidrio templado y antireflectante con cualidades de transmisión de luz a más de 90%, resistente a la abrasión e impactos de naturaleza “antibalas”.

Es importante está cubierta porque reduce significativamente el reflejo, de manera que entra más luz en la célula solar, lo cual se traduce en una mayor conversión de potencia.

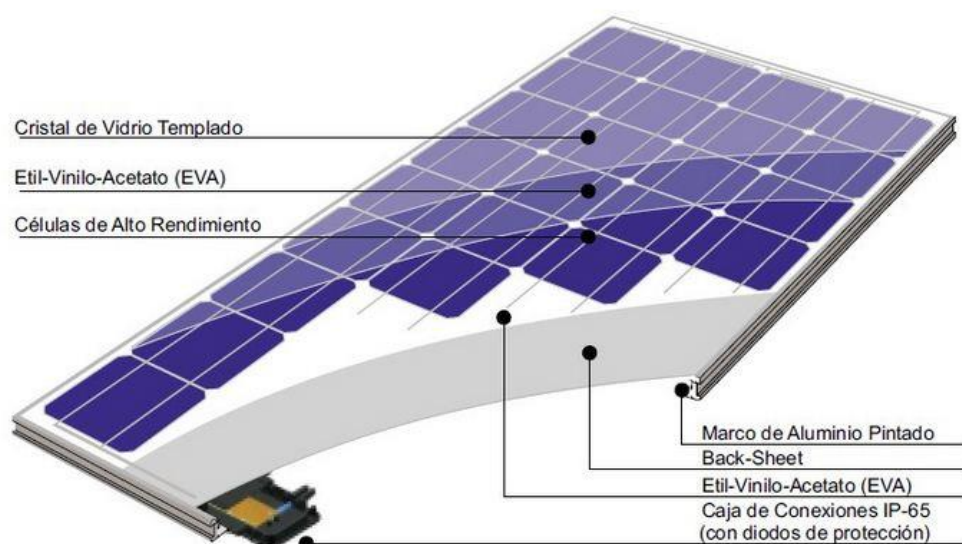


Figura N° 9: Cubierta de vidrio²²

Los fabricantes de paneles se decantan cada vez más por los revestimientos antirreflectantes y garantizan un óptimo equilibrio entre rendimiento óptico, resistencia y costes.

Gracias a su aplicación por una sola cara, se consigue también una correspondencia perfecta entre el índice de refracción del aire y del vidrio, al

²² <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>

mismo tiempo que se impide el desequilibrio entre el índice de refracción del vidrio y de la capa de EVA (etileno vinil acetato) que algunos usan como revestimientos en ambos lados.

Láminas de Plexiglás

Mucho más flexible que el vidrio templado pero considerado como “vidrio orgánico” porque son efectivamente láminas de vidrio polimerizado con resinas y compuestos acrílicos. Tiene propiedades mecánicas de gran estabilidad a los agentes atmosféricos y químicos.

Marco de aluminio o de acero inoxidable

Se usan tornillos y anclajes para asegurar la rigidez del panel en sí. Yo he fabricado con marcos de madera tornillo totalmente seco para lograr también la rigidez exigida y sobre todo resistencia a la humedad del ambiente (en caso de madera)

Células Solares

El corazón del mismo módulo, la razón de su calidad coladas en filas y columnas, unos seguidos de otros en grupos por panel cuya cantidad varía ampliamente por la naturaleza y objetivos a rendir su energía desde un simple cargador de pilas de 1,5V hasta mega producciones tanto en forma independiente como formando parte de las redes eléctricas convencionales.

Son “galletas” de cristal, variando su forma y tamaño. Comercialmente los más usados actualmente son los de 3"x6" y los de 6"x6" siendo su espesor alrededor de los 300 micrones (0.012 pulg aprox.) y resistencia frágil a los golpes.

Las ´células solares` están hechas de un material químico que abunda en la



Figura N° 10: Célula solar²³

corteza terrestre conocido como SILICIO cuyo símbolo conocido es “Si”.

El silicio es un elemento químico que se encuentra en la naturaleza formando grupo con el carbono, germanio y el estaño, y es considerado como “no metálico” como el carbono a excepción del germanio y estaño que sí son metales.

²³ <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>

Este silicio no está libre en la Tierra. Se encuentra como óxidos en formas de cuarzo llamados: Amatista, cuarzo o simplemente cristal de roca.

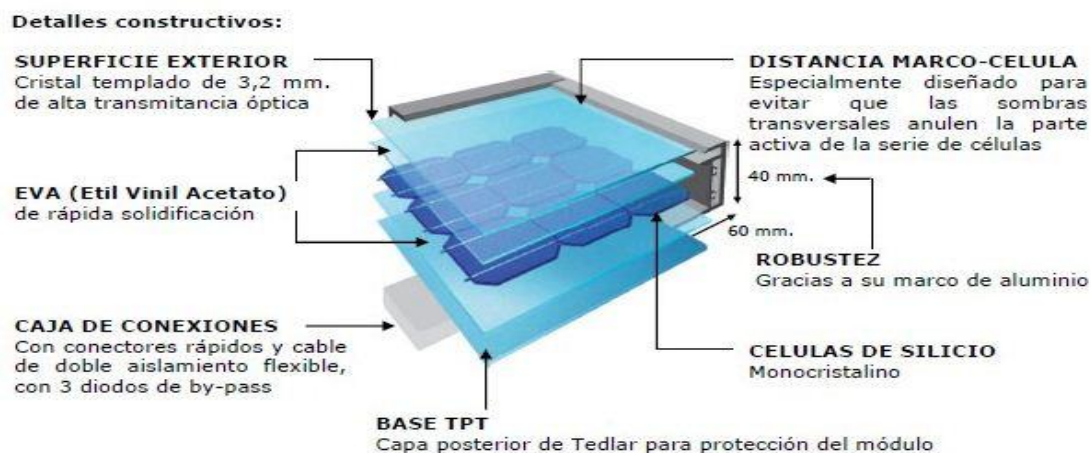


Figura N° 11: Detalles constructivos²⁴

Cómodamente se dice también que el silicio se encuentra en abundancia en las rocas y en los minerales.

Vale la pena mencionar que el dióxido de silicio (SiO_2) es la fórmula del conocido como SILICE mientras que el SILICIO (Si) es el símbolo del elemento silicio acotado arriba.

La sílice (SiO_2) se encuentra en formas diversas de 'cuarzo' conocida a la vez como simplemente 'arena' pero todo este interesante conocimiento será motivo de otro artículo especial.

El silicio en las células solares actúa como fuente de fotoelectrones, y proporciona el campo eléctrico para separar las cargas y crear una corriente. En la superficie de la celda dirigida hacia el sol la más alta radiación solar incidente promedio es de 1000 W/m^2 .

²⁴ <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>

Plancha Base

Consisten en una simple estructura en forma de caja, en forma de fondo que puede ser de madera, de aluminio o de vidrio cuyo tamaño varía acorde al número y tamaño de células.

Sobre esta plancha descansan las células pegadas perfectamente con **silicona** el mismo que es un perfecto sellador para evitar ingreso de aire, agua o partículas en suspensión incluso menores al tamaño M10 hacia el grupo de las células mencionadas.

Hay costumbre de algunos hacedores de paneles fotovoltaicos usar como plancha base de panel, el vidrio con revestimiento de un material polímero termoplástico conocido como “goma EVA” (Etileno Vinil Acetato)

Salida línea a tierra

Estar preparado para adversidades atmosféricas sobre todo cuando se instalen más módulos de mayor potencia porque estamos sujetos a las derivaciones eléctricas. Obviamente se tiene que utilizar enchufes con ‘tomas de tierra’.



Figura N° 12: Caja de terminales²⁵

²⁵ <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/27900695685/componentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico>

Caja de terminales

Pequeña caja que va asegurada en la parte posterior del panel y cuenta con bornes de salida para la conexión del panel con otros como batería, regulador o carga directa de consumo.

Es usado para corriente eléctrica derivada producida por el panel donde está asegurada y debe ser resistente a cambios de clima rigurosos.

Diodos de Protección

Protectores de los paneles porque son los “guardianes” para que el flujo de corriente eléctrica se dirija sólo en una dirección, es decir a donde se le indique menos de retorno a las células solares o paneles propiamente.

2.2.3.2. Características eléctricas²⁶

Las células fotovoltaicas de un panel proporcionarán más o menos electricidad en función de la mayor o menor cantidad de energía solar que incida sobre su superficie. Pero, además, la respuesta de un panel o módulo solar frente a la radiación solar queda determinada por todos los materiales empleados a la hora de su fabricación y, en especial, por las células que lo forman.

Es necesario poder definir varias características del panel solar para poder comparar y determinar calidades, eficacia y estabilidad eléctrica.

En la documentación que entrega el fabricante o el instalador, así como en el etiquetado que el módulo solar fotovoltaico lleva adherido, figura una terminología eléctrica que se explica a continuación.

²⁶ (EVE, 2000)

Además de información general del producto, el tipo de célula, las características físicas del panel (ancho, largo, espesor y el peso), el tipo de caja de conexión, esquema o descripción con las distancias de los agujeros de fijación del marco, aparece lo que se denomina la curva I-V (curva intensidad-voltaje) del módulo solar.

La curva característica I-V de un módulo fotovoltaico informa sobre los distintos valores de tensión e intensidad que puede proporcionar ese módulo. Se obtiene en condiciones de medida de uso universal, conectando el panel a una resistencia cuyo valor va variando de cero a infinito mientras se miden los distintos valores que resultan de intensidad y tensión. Las condiciones estándar para medir las respuestas de los paneles fotovoltaicos son:

Condiciones CEM (condiciones estándar de medición). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de $1\,000\text{ W/m}^2$, una distribución espectral (Masa de Aire) AM 1,5 y una temperatura de célula de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aquí se miden la potencia máxima (P_{MAX}) que puede suministrar el panel, la intensidad de cortocircuito (ISC) y la tensión de circuito abierto (VOC).

Condiciones TONC (temperatura de operación nominal de la célula). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 800 W/m^2 , una velocidad de 1 m/s del viento sobre el módulo, una distribución espectral AM 1,5 y una temperatura ambiente de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. El valor TONC de muchos módulos del mercado actual se encuentra entre $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $46\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los parámetros que se reflejan en una curva I-V son:

Intensidad de cortocircuito (ISC)

Intensidad en el momento de máxima potencia (IMAX)

Tensión de circuito abierto (VOC)

Tensión en el momento de máxima potencia (VMAX)

Potencia pico o potencia máxima (P_{MAX})

Las condiciones de operación.

Intensidad de cortocircuito (ISC) y tensión de circuito abierto (VOC)

La intensidad de cortocircuito se mide en amperios. Es la intensidad máxima que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, provocando un cortocircuito.

Al no haber resistencia al paso de la corriente el voltaje es cero.

La tensión de circuito abierto se mide en voltios. Es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, en circuito abierto. Al no haber conexión entre los bornes del panel, la intensidad es nula.

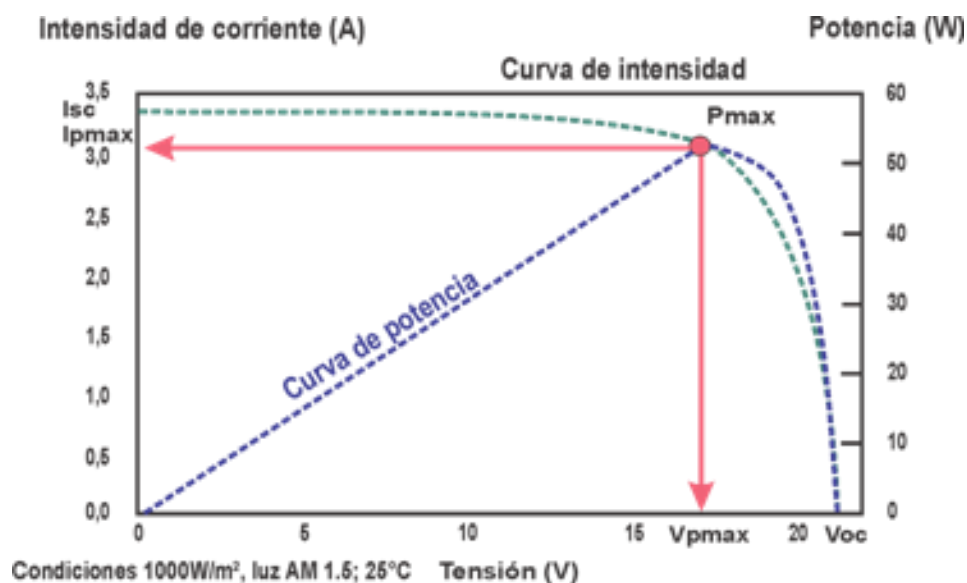


Figura N° 13: Curva I-V , de paneles fotovoltaicos²⁷

²⁷ <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/156176932111/an%C3%A1lisis-de-la-curva-i-v-en-paneles-fotovoltaicos>

Potencia pico o potencia máxima (P_{MAX})

La potencia que es capaz de suministrar un panel se da siempre en vatios pico (Wp). El panel fotovoltaico funciona a potencia máxima cuando proporciona una corriente y una tensión tal que su producto es máximo ($I_{MAX} \times V_{MAX} = P_{MAX}$). A ese punto de coordenadas (I_{MAX} , V_{MAX}) se le denomina punto de máxima potencia.

Normalmente un panel no trabaja a potencia máxima debido a varios condicionantes, entre otros a que la resistencia exterior está dada por las condiciones particulares del circuito al que esté conectado (la instalación).

Como se ha dicho, los experimentos en laboratorio y los ensayos de módulos solares fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de un sol pico de intensidad ($1\,000\text{ W/m}^2$). Así, la P_{MAX} de un panel siempre se supone referida a una intensidad de un sol pico.

También es posible encontrar dentro de las especificaciones del fabricante la potencia mínima P_{MIN} garantizada contra la degradabilidad de las constantes eléctricas.

2.2.4. Estructuras de soporte²⁸

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. (Valdiviezo Salas, 2014)

²⁸ (Valdiviezo Salas, 2014)

Sistema Fijo

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada.



Figura N° 14: Estructura fija para paneles fotovoltaicos²⁹

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.

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 control para modificar la

²⁹ <http://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

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.



Figura N° 15: Instalación con seguidor solar³⁰

2.2.5. Sistema fotovoltaico aislado

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.

Como los paneles sólo producen energía en las horas de sol y la energía se necesita durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación. Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume, para acumularla y posteriormente poder utilizarla cuando no se esté generando.

³⁰ (Valdiviezo Salas, 2014)

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad. De tal manera que en una zona donde haya muchos días soleados al año habrá que acumular poca energía. Si el periodo sin luz no es suficientemente largo, hay que acumular más energía.

El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

la demanda energética en los meses más desfavorables.

las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación.

Conviene utilizar electrodomésticos e iluminación de bajo consumo, para que de esta manera el sistema sea más económico. Actualmente existe una gran variedad de estos productos de bajo consumo.

Elementos

Básicamente estos sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos:

Generador fotovoltaico: Transforma la energía del sol en energía eléctrica y carga las baterías.

Regulador de carga: Controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas, que disminuyen la vida útil del acumulador.

Puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.

Sistema de acumulación. Baterías: Acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Ondulador: La corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan onduladores que convierten la corriente continua en alterna.

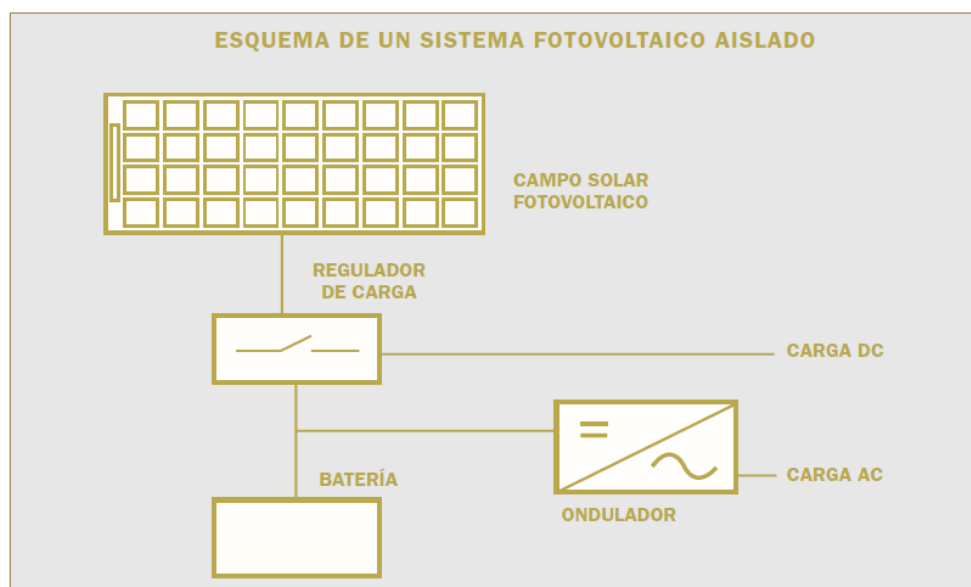


Figura N° 16: Sistema fotovoltaico aislado³¹

Mantenimiento³²

El generador fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, siendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo.

³¹ (Asociación de la industria fotovoltaica, 2003)

³² (Asociación de la industria fotovoltaica, 2003)

Por otro lado, las baterías con un correcto mantenimiento tienen una vida aproximada de diez años.

Las operaciones de mantenimiento son:

Los paneles que forman el generador apenas requieren mantenimiento, basta limpiarlos con algún producto no abrasivo cuando se detecte suciedad.

El regulador de carga no requiere mantenimiento, pero sí necesita ser revisado para comprobar su buen funcionamiento.

En las baterías se debe controlar que el nivel de agua del electrolito esté dentro de unos límites aceptables. Para reponerlo se utiliza agua desmineralizada o destilada. Se debe revisar su nivel mensualmente en cada uno de los elementos y mantener los bornes de conexión libres de sulfato. La medida de la densidad del electrolito puede avisar de posibles averías. Actualmente existen baterías sin mantenimiento o de electrolito gelificado que no necesitan reposición de agua.

El ondulator no necesita ningún mantenimiento especial, únicamente debe comprobarse su buen funcionamiento.

2.2.6. Componentes del sistema fotovoltaico

2.2.6.1. Regulador de carga³³

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

³³ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>



Figura N° 17:Regulador de carga³⁴

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

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

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

³⁴ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

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

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

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



Figura N° 18: Regulador de carga³⁵

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

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

Como ya se ha visto, el regulador actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde las baterías de acumulación hacia la instalación interior

³⁵ <http://www.suncolombia.com/producto/controlador-de-carga-mppt-15070/>

de la vivienda cuando el voltaje de las baterías quede por debajo del umbral de funcionamiento, con objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

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

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

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

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

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

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

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

Tensión nominal (V)

Corriente máxima (A)

Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie

Polaridad de terminales y conexiones

2.2.6.2. Banco de baterías

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

Funcionamiento de las baterías.

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

La capacidad en (Ah) es simplemente el número de Amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga. En teoría una batería de 200 (Ah) podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, este no es el caso ya que algunas baterías, como las automotrices, están diseñadas para grandes descargas en periodos cortos. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada, la capacidad en (Ah) puede variar. Generalmente, si la batería es descargada a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor (Velazquez Cespedes 2012).

Otro factor que influye en la capacidad de la batería es la temperatura. A menor temperatura aumenta la capacidad, a mayor temperatura disminuye la capacidad, no obstante, a mayor temperatura se incrementan las pérdidas evaporativas de la batería reduciéndose así el número de ciclos. diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20%. De manera opuesta, las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo mismo éstas son más

robustas y generalmente tienen mayor densidad energética, siendo perfectas para aplicaciones fotovoltaicas. Su profundidad de descarga puede ser hasta del 80% al 100% aproximadamente (Velazquez Cespedes 2012).

Las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas y en automóviles son las de Plomo-ácido, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Así, por ejemplo, si las placas son de una aleación de plomo y antimonio, el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin que se dañen las placas, esto significa una mayor vida para la batería, y por lo tanto las baterías de Plomo-Antimonio-Ácido son de ciclo profundo. Por otra parte, el calcio aumenta la rigidez del plomo y reduce la auto descarga, sin embargo, la aleación plomo calcio se ve dañada cuando las profundidades de descarga son mayores al 25%, en consecuencia, las baterías Plomo-Calcio-Ácido son de ciclo ligero.

Como la diferencia entre el costo de las baterías solares y de automóviles es notoria, automáticamente nace la idea de optar por ésta última en un sistema fotovoltaico, ver figura 20. Pero existen diferencias sustanciales, ya que la batería para automóviles fue diseñada para sostener corrientes elevadas por breves instantes (segundos) y el resto del tiempo está siendo cargada o permanece inactiva.



Figura N° 19: Baterías de uso fotovoltaico³⁶

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

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada Gel, en la que el electrolito o ácido se encuentra en estado gelatinoso. Tienen la ventaja de que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Esta hermeticidad unida a una mayor eficiencia a bajas temperaturas (debido al tipo de electrolito) y la nula necesidad de mantención (agregado de agua) la convierten en la solución ideal para instalaciones marinas, de carreteras y de comunicaciones.

La batería de Níquel-Cadmio es otro tipo de batería solar que posee aún mejores características tales como: soportar cargas y descargas excesivas,

³⁶ <https://bateriasyamperios.com/tipos-de-baterias-solares/>

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

Características Eléctricas de las Baterías

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

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

Descarga: Es la conversión de la energía química de una batería en la energía eléctrica que se utiliza en un dispositivo de consumo eléctrico.

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

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

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

valor como característica inicial.

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

Régimen de descarga: Valor de corriente que se extrae de la batería.

Normalmente se expresa como una fracción de la capacidad nominal de la batería o se referencia la cantidad de horas de duración de la descarga.

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

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

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

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

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

Capacidad de energía: Es la energía, expresada en unidades de Ampereshora (Ah), que una batería puede entregar a una tasa de

descarga especificada a partir de un nivel de carga completa hasta descarga completa. Es usual expresar esta capacidad en cantidad de Amperes-hora considerando tensiones nominales en la batería, sea de 6, 12, 24, 48 Volts (V) según corresponda.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2.6.3. Inversor³⁷

El inversor es el dispositivo encargado de transformar la energía eléctrica entregada por los paneles FV en forma de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA). Es decir, transformar de 12 V ó 24 V y 60 Hertz (Hz). Esto permite utilizar los aparatos eléctricos habituales diseñados para funcionar en CA. CC V CA V (Velazquez Cespedes, 2012)

La conversión de CC a CA se puede realizar mediante varios métodos, el mejor es aquel que proporciona la onda más cercana a la sinusoidal típica de la CA. El inversor de CC-CA, mediante un circuito electrónico con transistores o tiristores, es capaz de cortar muchas veces cada segundo la corriente continua que recibe, produciendo una serie de impulsos alternativos de corriente que simulan las características de la corriente alterna convencional. Existen además inversores

³⁷ (Velazquez Cespedes, 2012)

de diferentes tipos de onda: onda cuadrada, onda modificada o casi sinusoidal, pulso modulado, onda sinusoidal y síncronos.

Los primeros inversores proporcionaban un voltaje de salida con forma de onda cuadrada. Con posterioridad aparecieron en el mercado modelos con una forma de onda de salida que representa una aproximación de la sinusoidal, la que recibe el nombre de “casi-sinusoidal” o “modificada”, ver Figura N° 21. Inversores de este tipo están en uso aún hoy y gozan de una amplia aceptación. Por razones que veremos de inmediato, los inversores que proporcionan una onda cuadrada han sido descontinuados y varios fabricantes ofrecen, en la actualidad, inversores que proporcionan un voltaje cuasi o sinusoidal.

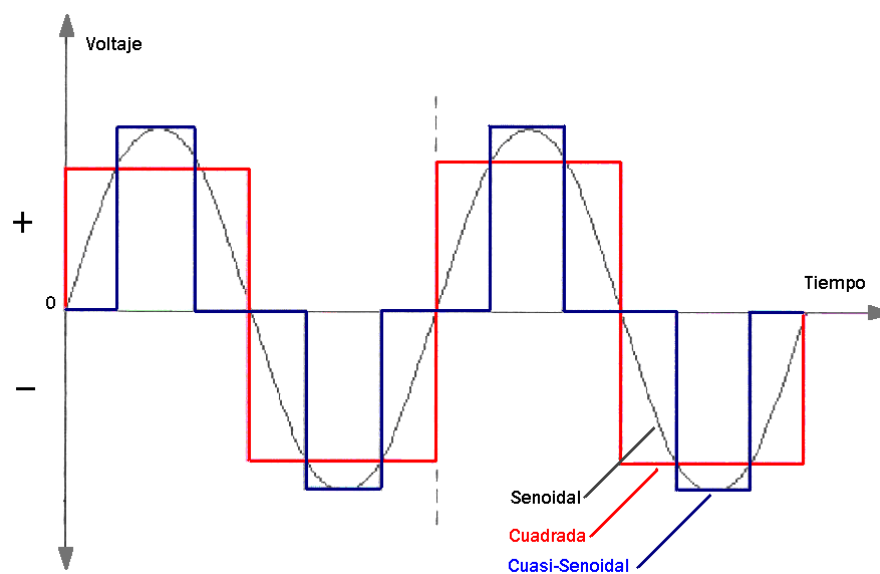


Figura N° 20: Formas de salida de las ondas de un inversor

Los aparatos eléctricos estándar de CA trabajan con una forma de onda sinusoidal de baja frecuencia (50 o 60 Hertz). Cuando la forma de onda de salida del inversor se aleja de la forma sinusoidal, aumentan las armónicas de la frecuencia. Esto es muy importante ya que las armónicas tienen frecuencias altas que producen pérdidas por calor en transformadores y motores eléctricos,

interferencias en aparatos electrónicos (ruidos en equipos de audio, rayas en monitores y tv). (Velazquez Cespedes, 2012)

Debido al consumo del circuito del inversor, la potencia de entrada es siempre mayor que la entregada a la carga, demandando un mayor valor para la corriente de entrada del inversor. Si el estado de carga del banco de baterías es bajo su voltaje disminuye, forzando corrientes de entrada aún más elevadas. Por eso es común que los inversores tengan circuitos de protección que, automáticamente, desconectan la carga cuando el voltaje de batería está por debajo del mínimo requerido por la unidad. La potencia de trabajo de un inversor está especificada para un determinado rango de temperatura ambiente, como se indica en las especificaciones. Esta capacidad disminuye al aumentar la temperatura ambiente, ya que el equipo no alcanza a transferir al exterior todo el calor generado internamente.

El parámetro eléctrico más importante es la máxima potencia de trabajo que el inversor puede manejar en forma continua. Este valor depende de la temperatura ambiente. Al seleccionar una unidad es conveniente incrementar el valor de la potencia de trabajo dado por el diseño en un 25%, para cubrir transitorios de carga, cargas reactivas y temperaturas ambientes mayores a la dada por la hoja de especificaciones. (Velazquez Cespedes, 2012)

La conversión de CC a CA se lleva a cabo con una eficiencia que oscila entre el 75 y el 91 %. Esto significa que las pérdidas varían entre el 25 y el 9% de la potencia suministrada a la entrada. Los valores porcentuales más elevados corresponden a los modelos que manejan un bajo valor de potencia. Esto se debe a que el consumo del circuito del inversor no crece proporcionalmente con el aumento de la potencia que éste puede manejar. Porcentualmente, estas

pérdidas representan un menor valor cuando la potencia que maneja el inversor se eleva. Modelos de 100 a 200 W pierden entre 20 y 25 %. Modelos de más de 400 W pierden entre el 9 y el 15 %. Dentro del rango de trabajo especificado para la unidad, el porcentaje de pérdida varía con la carga. (Velazquez Cespedes, 2012)

En los inversores de baja potencia el consumo del circuito interno no varía aun cuando permanecen inactivos (*stand by*, en inglés). Los modelos de alta potencia tienen circuitos más elaborados, los que reducen el consumo de reposo a menos del 1,5 % de la máxima potencia que pueden manejar. Esto permite reducir las pérdidas en el sistema sin que el usuario se vea obligado a desconectar manualmente la entrada del inversor.



Figura N° 21: Inversor VICTRON ENERGY³⁸

³⁸ <https://www.elalmacensolar.es/inversores-onda-senoidal-pura-victron/29-inversores-de-corriente-victron-phoenix-compact-3000-va-24-v.html>

2.2.6.1. Cables

Bajas tensiones y corrientes elevadas son característicos en sistemas FV, por lo incluso caídas pequeñas de tensión tienden a ser significativas y generan efectos negativos sobre la corriente entregada por el generador fotovoltaico, la regulación de carga de la batería y la vida útil de las lámparas fluorescentes. (Prado Mora, 2008)

Por estas razones, debe evitarse las caídas de tensión dimensionando adecuadamente el cableado. Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean menores al 5% entre el generador y el regulador, menores de 1 % entre el regulador y las baterías, e inferiores a 5 % entre el regulador de carga y las cargas. Esto en condiciones de máxima corriente. Estas caídas en los conductores, son independientes de las caídas en regulador, mencionadas en el apartado anterior. (Prado Mora, 2008)

Los cables deberán ser aptos para funcionar a la intemperie según la norma IEC 60811, o la norma para cables relevante en el país de interés.

Las terminales de los cables deberán permitir una conexión mecánicamente fuerte, segura y con baja caída de tensión.

Los cables deben asegurarse a las estructuras de soporte o a las paredes, para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (cajas de conexión, balastos, interruptores, etc.).

En el caso en que se monten sobre una superficie, los cables deben graparse a las paredes, a intervalos adecuados, para asegurar su posición vertical y horizontal (no se recomienda posicionarlos de forma oblicua). De no ser así, deben embutirse en las paredes y recubrirse con yeso o un material similar.

Los cables deben mantenerse fuera del alcance de los niños. (Prado Mora, 2008)

Los cables utilizados en un sistema fotovoltaico están cuidadosamente diseñados. Como el voltaje en un sistema fotovoltaico es voltaje CC bajo, 12 ó 24 V; las corrientes que fluirán a través de los cables son muchos más altas que las de los sistemas con voltaje CA de 110 V ó 220 V.

Para suministrar una potencia a 12 V, significa que la corriente será casi 20 veces más alta que en un sistema de 220 V. Esto quiere decir que los cables mucho más gruesos deben usarse para impedir el recalentamiento e incluso la quema de los cables.

El tamaño de los cables lo mostraremos en la siguiente figura N° 23, la corriente máxima que puede influir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.

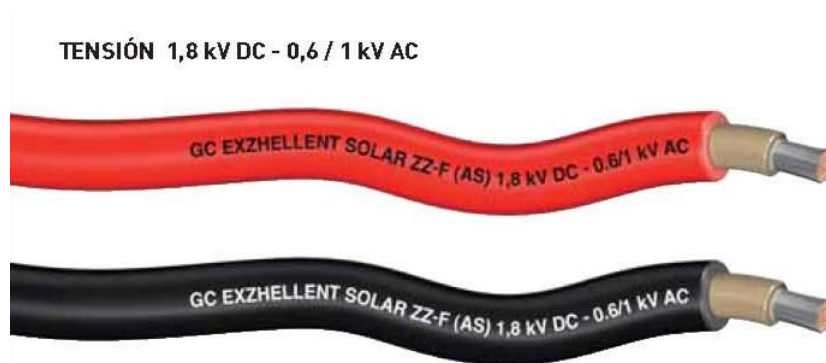


Figura N° 22: Conductores eléctricos³⁹

2.2.6.2. Cargas⁴⁰

Las cargas típicas en sistemas fotovoltaicos son las luminarias, radios y televisores.

La iluminación constituye generalmente la mayor parte del consumo. Los radios y televisores son adquiridos directamente por los usuarios en mercados de

³⁹ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

⁴⁰ (Prado Mora, 2008)

aparatos electrodomésticos convencionales, son productos altamente estandarizados y de consumo modesto. (Prado Mora, 2008)

Por razones de eficiencia, las lámparas fluorescentes son las más comúnmente utilizadas en sistemas FV. El balasto de la lámpara fluorescente es esencialmente un oscilador que debe asegurar altas eficiencias energéticas y lumínicas, y larga vida de los tubos. Desafortunadamente para asegurar una larga vida, el tubo necesita ser alimentado por una tensión constante. Existen en el mercado balastos que incorporan una etapa estabilizadora de tensión, pero su costo asociado es alto debido a la necesidad de incorporar un transformador adicional. (Prado Mora, 2008)

2.2.7. Sistema eólico

2.2.7.1. El viento⁴¹

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica o, mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol que en lugares favorables puede llegar a ser del orden de 2000 kW/m² anuales; el 2% de ella se transforma en energía eólica capaz de proporcionar una potencia del orden de 1017 kW.

⁴¹ <http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/eolica/PDFs/01Eolo.pdf>

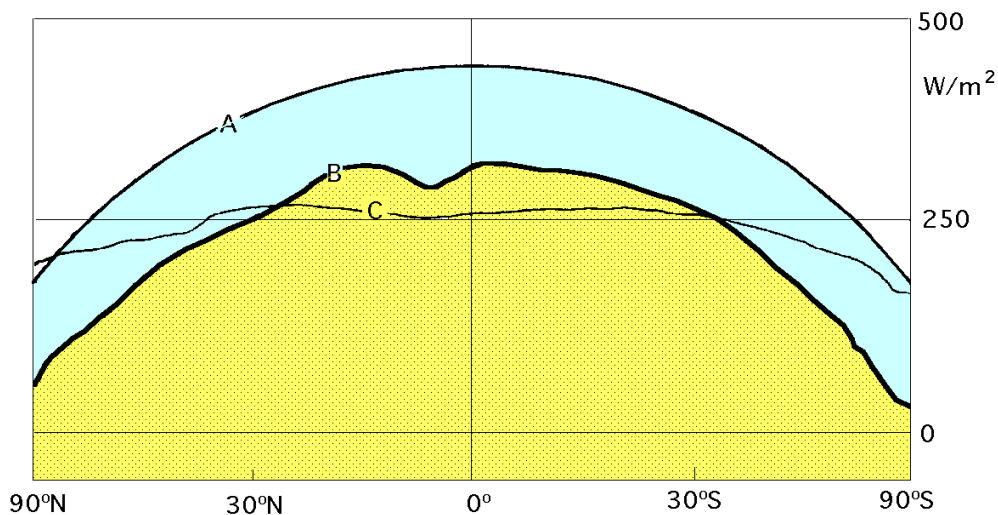


Figura N° 23: A) Irradiancia solar sobre una superficie horizontal; B) Irradiancia solar absorbida por la Tierra C) Irradiancia radiada al espacio exterior

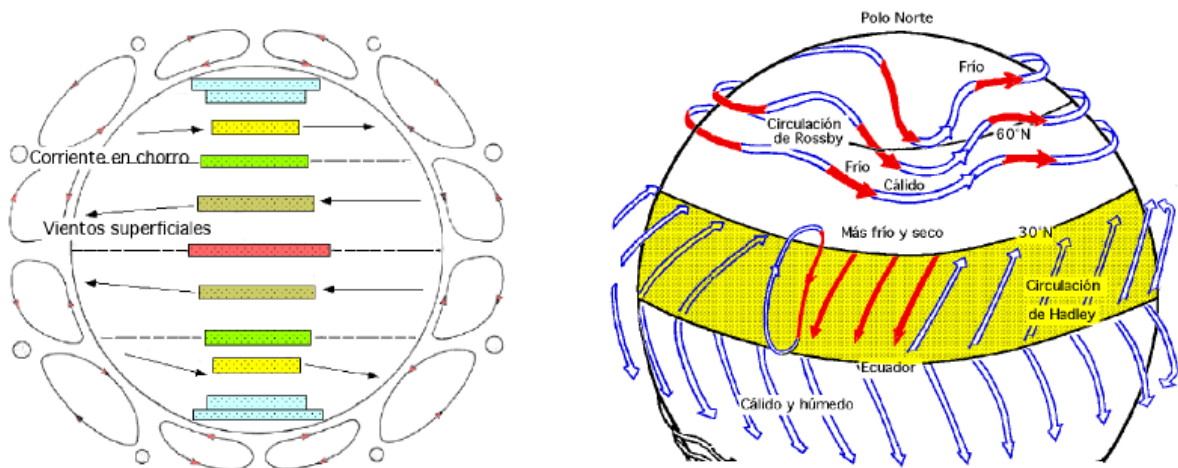


Figura N° 24: Circulación general de aire en la superficie⁴²

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en la energía cinética del viento, Figura N° 25. La energía eólica tiene como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero cuenta también con los grandes inconvenientes de ser dispersa y aleatoria.

Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento.

⁴² <http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/eolica/PDFs/01Eolo.pdf>

Velocidad del viento

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada *rosa de los vientos*, Fig I.9. La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/s, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/s, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/s, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía. La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares. Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se puede clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión.

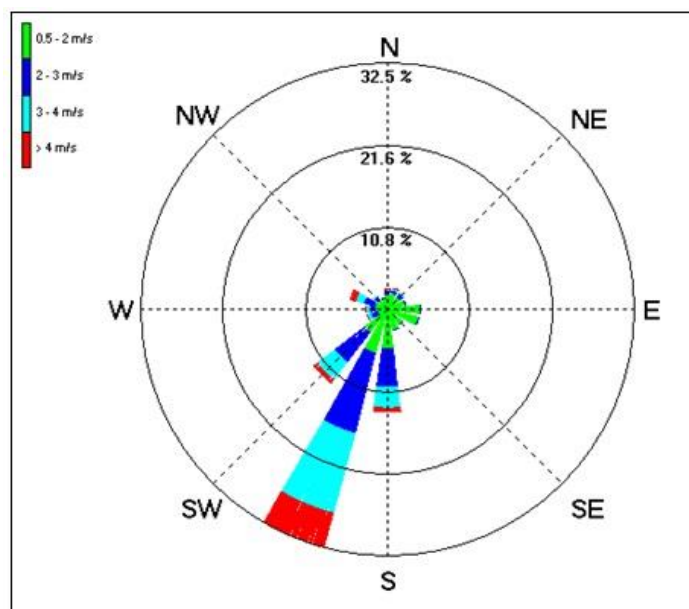


Figura N° 25: Ejemplo de una rosa de viento⁴³

⁴³ <https://enlasa.cl/index.php/central-teno/monitoreo-calidad-del-aire/rosa-de-los-vientos>

2.2.7.2. Ley de Betz

Ley de Betz⁴⁴

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

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

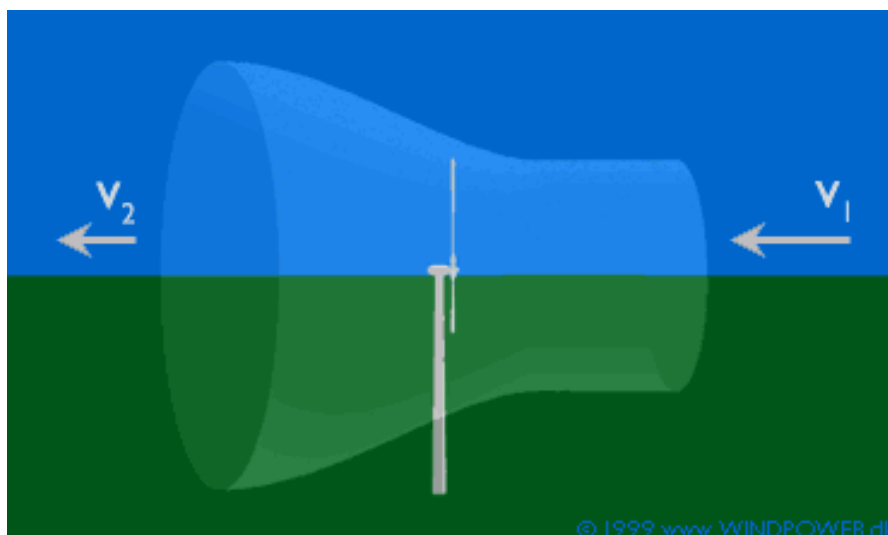


Figura N° 26: Ley de Betz⁴⁵

⁴⁴ <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>

⁴⁵ <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>

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

2.2.7.3. Ley exponencial de Hellmann.

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

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

Dónde:

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

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

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

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

α = Coeficiente de rugosidad.

Tabla N° 5: Valores de rugosidad⁴⁶

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

2.2.7.4. Sistema eólico de generación⁴⁷

El sistema eólico de generación es un sistema de generación eléctrica basado en el aprovechamiento de viento como recurso renovable, este es el encargado de dar movimiento a las aspas mediante el eje conectado al multiplicador o caja de engranajes. Este es el encargado de aumentar las revoluciones por minuto (r.p.m.) en el generador eléctrico, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo a la demanda existente en la carga y a los niveles del banco de baterías. (vease la figura N° 28)

⁴⁶ (Hualpa Mamani 2006, pag. 27)

⁴⁷ (Herbas Morerira y Moscoso Noroña 2015)

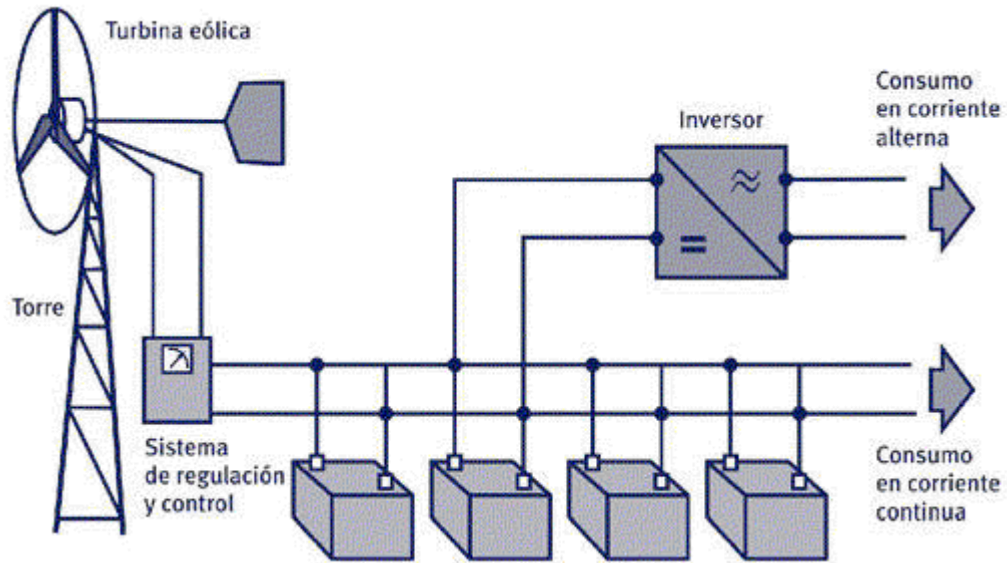


Figura N° 27: Sistema eólico de generación⁴⁸

2.2.7.5. Análisis estadísticos

a) Distribución de Weibull

La distribución de Weibull, desarrollada detalladamente en 1951 por el sueco Waloddi Weibull del que toma su nombre (Weibull, 1951) es una distribución típicamente utilizada en meteorología especialmente en el análisis de la velocidad de viento. Su expresión matemática es la que se muestra a continuación.

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots (2)$$

Válida para valores de la variable v iguales o mayores que cero, valores positivos, y valores de los parámetros k y c mayores que cero.

⁴⁸ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia52/HTML/articulo03.htm>

Donde k es el parámetro de forma, se trata un parámetro adimensional de la distribución de Weibull y c es el parámetro de escala, cuyas dimensiones dependerán de las variables tomadas en cada caso.

En este caso la variable que se emplea es la velocidad de viento, v y los valores que toma $f(v)$ indican la probabilidad de observar cada velocidad del viento v . El parámetro k representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo y c tendrá unidades de m/s y está relacionado con la media de la velocidad del viento v .

Debido a estos dos parámetros ajustables puede tomar formas muy variadas, lo que le confiere gran versatilidad y capacidad de adaptarse a las diferentes formas de los datos más fácilmente. Tiene por tanto una mayor flexibilidad frente a otras distribuciones como pueden ser la exponencial, la normal o Gaussiana, o la Gamma que pueden ser consideradas casos especiales de la distribución de Weibull para valores concretos de los parámetros de esta.

En la Figura N° 29 se representa la distribución para un valor del parámetro de escala c fijo, en este caso se ha representado para $c = 2$, y diferentes valores del parámetro de forma k . En ella se aprecian la gran diferencia en la forma que toma la distribución en cada caso. En particular, para valores de k superiores a 3.6 se aproxima a la distribución gaussiana. Además, un valor de k próximo a 1 corresponde a un régimen de viento altamente

variable, cuando se sitúa alrededor de 2 el régimen presenta cambios moderados, mientras que valores superiores a 3 corresponden a vientos más regulares.

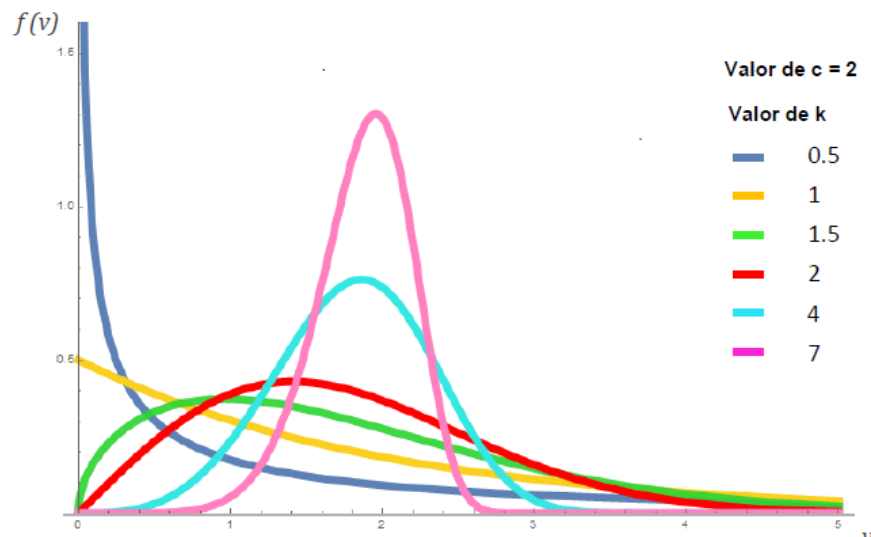


Figura N° 28: Distribución de velocidades para diferentes valores de su parámetro k ⁴⁹

Su correspondiente **función de distribución acumulativa** presenta la siguiente expresión matemática:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots (3)$$

Representada gráficamente para los valores especificados anteriormente de los parámetros k y c tiene la forma que se muestra en la Figura N° 30 siguiente:

⁴⁹ <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22939>

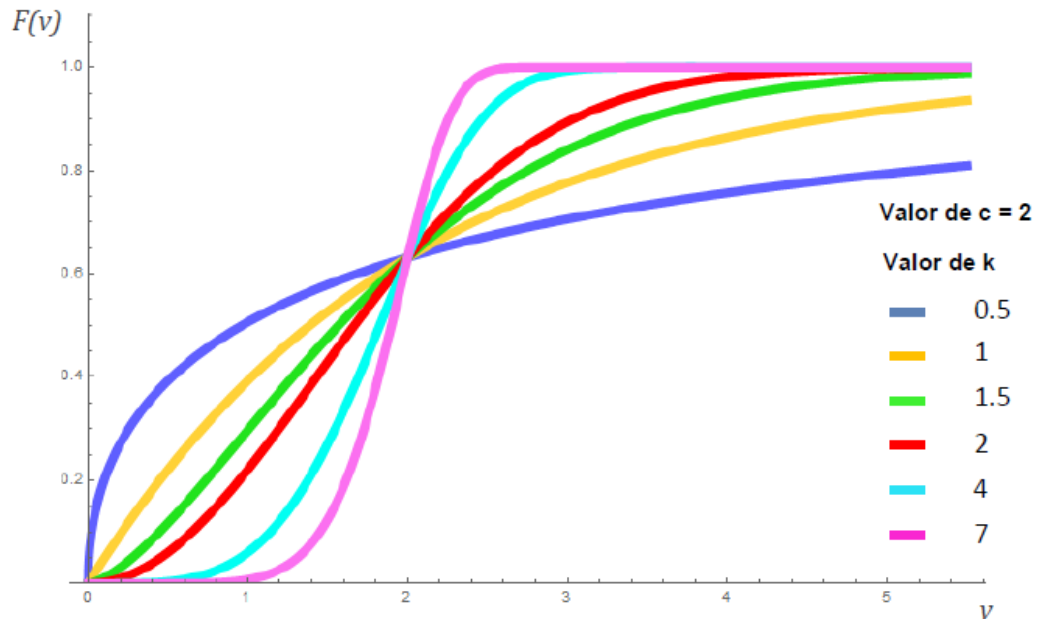


Figura N° 29: Distribución acumulativa de Weibul para diferentes valores de su parámetro de forma k ⁵⁰

Método de cálculo del parámetro de forma y escala

Existen numerosos métodos diferentes para realizar el cálculo de los parámetros de forma, k , y escala, c , de la distribución de Weibull. En general resultan todos ellos equivalentes, variando entre sí su metodología y complejidad. Se escoge uno u otro en función de la comodidad de los cálculos que se precisen en el análisis que se esté llevando a cabo en cada caso.

El método que se utilizará en esta tesis es el método de regresión lineal. Partiendo de la función de distribución acumulativa y tomando el logaritmo dos veces se obtiene la expresión:

$$\ln\{\ln[1 - f(v)]\} = k \ln(v) - k \ln(c) \dots (4)$$

⁵⁰ <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22939>

2.2.7.6. Aerogenerador

Definición:

Los aerogeneradores son generadores cuya misión es convertir la energía del viento o energía cinética en energía mecánica, primero para finalmente convertirla en energía eléctrica⁵¹.

Funcionamiento:

El viento incide sobre las palas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de rotación se transmite al generador a través de un sistema multiplicador de velocidad. El generador producirá corriente eléctrica que se deriva hasta las líneas de transporte. Para asegurar en todo momento el suministro eléctrico, es necesario disponer de acumuladores⁵².

Partes del Aerogenerador⁵³:

La góndola:

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir las palas y el buje.

⁵¹ <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/>

⁵² <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/10/energia-eolica.pdf>

⁵³ <https://sites.google.com/site/energiaeolica98765432/tipos-de-centrales-eolicas>

Las palas del rotor:

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

El buje:

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

El eje de baja velocidad:

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

El multiplicador:

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

El eje de alta velocidad:

Gira aproximadamente a 1 500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con y freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se

utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

El generador eléctrico:

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

El controlador electrónico:

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

La unidad de refrigeración:

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

La torre:

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

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

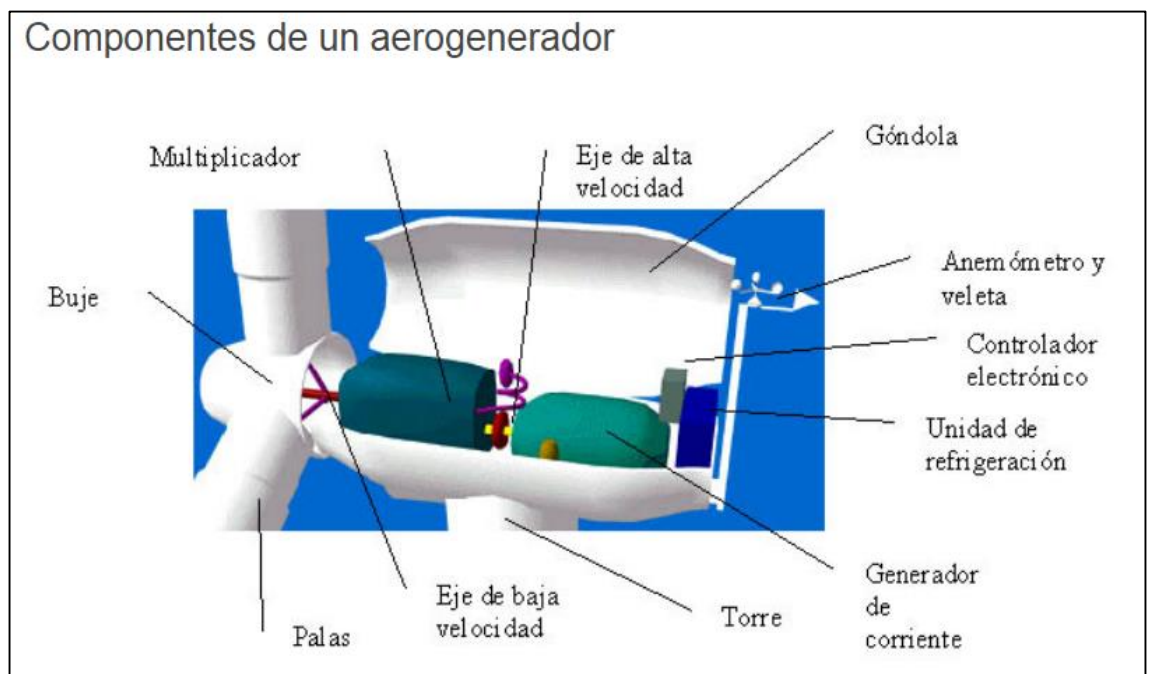


Figura N° 30: Componentes de un aerogenerador⁵⁴

⁵⁴ <https://sites.google.com/site/energiaeolica98765432/tipos-de-centrales-eolicas>

2.2.8. Sistema híbrido eólico fotovoltaico

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

El viento

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

Central eólica

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

Irradiación: Densidad de energía solar recibida en un determinado periodo de tiempo, medido en Wh/m^2 , o si es por día, $\text{Wh/m}^2/\text{día}$.

Irradiancia: Densidad de potencia instantánea recibida, se mide en W/m^2 .

Constante Solar: Se denota como B_0 y es la irradiancia que recibe una superficie perpendicular al sol en el exterior de la atmósfera. Su valor es de unos $1,367 \text{ W/m}^2$. La irradiancia terrestre que reciben las placas fotovoltaicas se verá mermada por las variaciones de día/noche, presencia de nubes, ángulo de inclinación, orientación y suciedad. Para calcular las distintas componentes de la radiación sobre una superficie terrestre, será necesario conocer la irradiación incidente sobre una superficie situada fuera de la atmósfera como referencia, denominada radiación extraterrestre.

Corriente de cortocircuito (I_{cc})

Esta magnitud es la intensidad que circula con la celda en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. Su valor es directamente proporcional a la energía solar recibida, y por lo tanto a la superficie total y al nivel de iluminación.

Tensión de vacío (V_{co})

Esta magnitud es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada. Su valor depende de la juntura utilizada y varía muy poco con la intensidad luminosa.

Corriente óptima (I_m)

Esta magnitud es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada una carga (R_m) de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

Tensión óptima (V_m)

Esta magnitud es la tensión que origina la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga R_m de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

Potencia Máxima (P)

Es la máxima energía que es entregada por una celda solar cuando pasa por un valor máximo para valores determinados de tensión y corriente fijados en función de la resistencia optima de carga (R_m). Su unidad de medición es el Watt.

Temperatura límite de funcionamiento ($^{\circ}C$)

Esta magnitud ronda los 100 grados centígrados.

Rendimiento (η)

Esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica entregada y la energía luminosa recibida. Su valor ronda el 18 %, según la tecnología constructiva de la celda.

Acumulador

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

Amperio-hora

Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

Balance of System (BOS)

Representa el resto de componentes del sistema, añadidos a los módulos fotovoltaicos.

Baterías

Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Diodo de bloqueo

Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.

Horas de sol pico

Número equivalente de horas a 1 kWh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación eléctrica

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

Intensidad eléctrica

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

Interruptor

Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.

Rama o serie fotovoltaica

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

Inversor

Es un equipo electrónico que convierte la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) para un sistema conectado a la red eléctrica o para un sistema independiente de energía.

Radiación solar

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia

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

Irradiación

La luz directa, difusa y reflejada que recibe una superficie, usualmente expresada en kilovatios por metro cuadrado, la irradiación multiplicada por tiempo equivale a insolación.

Conexión Paralela

Es la conexión de paneles solares que conecta los terminales positivos entre sí y los terminales negativos entre sí. El resultado es el mismo voltaje más cada conexión aumenta proporcionalmente la corriente.

Corriente Alterna (AC)

Es un tipo de corriente eléctrica en la que la polaridad se invierte regularmente. En los Estados Unidos y Puerto Rico, se cambia la polaridad 120 ocasiones por segundo o 60 ciclos (Hz) por segundo. Las redes de transmisión eléctrica usan corriente alterna porque el voltaje puede ser controlado con relativa facilidad.

Corriente Directa (DC)

Un tipo de transmisión y distribución de electricidad en donde la electricidad fluye en una sola dirección, usualmente bajo voltaje y altas corrientes. Para proveer energía a su hogar o negocio con corriente alterna (AC) debe tener un inversor de energía.

Días de Autonomía

El número de días consecutivos que un sistema solar con baterías puede proveer energía a sus cargas eléctricas ante la falta de energía solar.

Energía Solar

Son las ondas de energía electromagnéticas transmitidas por el sol. Normalmente manejamos solar pasiva con los materiales de construcción

para lograr los diseños, solar fotovoltaica para conversión a energía eléctrica y solar termal para agua caliente.

Fotovoltaico (PV)

Se refiere a la conversión directa de luz solar en electricidad, se le conoce como solar eléctrico y solar fotovoltaico.

Fuentes de Energía Renovable

Es un recurso energético que es regenerativo o virtualmente inagotable, algunos ejemplos son; solar, viento, geotermal y agua.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es Aplicada: Este tipo de investigación hace uso de los métodos del pasado, los conocimientos o teorías o de investigación básica para resolver un problema existente.⁵⁵ En esta tesis se aplicarán los conocimientos de sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos para solucionar un problema de falta de suministro de energía eléctrica en el caserío Choruro.

El tipo de investigación es Descriptiva: El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento⁵⁶. Entonces es descriptiva es descriptiva porque requerimos describir la situación actual del caserío Choruro.

⁵⁵

https://www.academia.edu/15557844/TIPOS_DE_INVESTIGACION. Investigacion pura y aplicada

⁵⁶ <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php>

El diseño de investigación es no experimental: Debido a que se estudia el fenómeno como tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos⁵⁷.

3.2. Población y muestra

Población: todas las 40 unidades de vivienda y el local comunal del caserío Choruro en el distrito de Huambos.

Muestra: todas las 40 unidades de vivienda y el local comunal del caserío Choruro en el distrito de Huambos.

3.3. Hipótesis

Si se diseña un sistema híbrido eólico – fotovoltaico entonces se logrará electrificar el caserío Choruro ubicado en el distrito de Huambos.

3.4. Variables - Operacionalización

X: Variable independiente:

Sistema híbrido eólico fotovoltaico

Y: Variable dependiente:

Electrificación rural

⁵⁷ <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion37.htm>

Tabla N° 6: Operacionalización de variables⁵⁸

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable independiente Sistema eólico - fotovoltaico	Los sistemas híbridos son una tecnología preparada para responder a la demanda de los consumidores a través de la combinación de dos energías renovables. De esta forma, se resuelven los problemas que cada uno tiene de forma individual y al mismo tiempo se potencian todas sus virtudes ⁵⁹ .	Dimensionamiento del sistema eólico y el sistema fotovoltaico.	Radiación solar promedio. potencia y unidades de paneles fotovoltaico (kWp). Controladores, baterías (Ah), inversores (P), elementos de protección. Data de velocidad y dirección del viento. Data de la radiación solar de diferentes fuentes. Selección del aerogenerador (Kw)
Variable dependiente Electrificación rural	La definición de electrificar en el diccionario castellano es <i>hacer que:</i> <i>una máquina funcione por medio de la electricidad.</i> Otro significado de electrificar en el diccionario es también <i>proveer de electricidad a un país, a una zona, etc</i> ⁶⁰ .	Determinar la energía promedio diaria, la tensión de salida	Energía promedio diaria. (W.h) Tensión de suministro (V) Potencia (W)

⁵⁸ Fuente: elaboración propia del autor

⁵⁹ <https://inarquia.es/sistema-hibrido-fotovoltaico-eolico-mixto>

⁶⁰ <https://educalingo.com/es/dic-es/electrificar>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Métodos

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

Las técnicas principales empleadas fueron las siguientes:

Técnicas

a) Observación directa

Con esta técnica se conoció el estado actual en el que se encuentra el caserío Choruro, Situación económica y social.

b) La Entrevista

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

c) Análisis de contenido

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

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 7: Tecnicas e instrumentos⁶¹

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

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

De la data de la velocidad del viento del viento obtenidos del de la estación meteorología de Chota se evaluara con la distribución de WEIBULL. Para conocer las potencias energético eólico.

El proceso de cálculo se ara utilizando hojas de cálculo de EXCEL 2018.

Los resultados se mostrarán en tablas y gráficos

La información obtenida de radiación solar de las dos fuentes se considera la peor situación y esto requiere el menor de los valores con la finalidad de que aun en las condiciones de radiación y velocidad de viento criticas el sistema eólico- fotovoltaico sea capaz de suministrar energía electica al

⁶¹ Fuente: elaboración propia del autor

caserío Choruro. De la entrevista realizada a los habitantes se tomará como base para obtener el consumo de energía eléctrica promedio.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

En vista de la problemática existente en el caserío Choruro se propone implementar en el caserío un sistema eólico fotovoltaico para así lograr suministrara de energía eléctrica al caserío y mejorara la calidad de vida de los habitantes.

Este sistema estará conformado por los siguientes equipos y/o componentes:

a) Generador Fovovoltaico: Está formado por un módulo de 30 paneles solares de la marca YINKO, los cuales junto con el aerogenerador se instalarán a un costado del para más seguridad y menos riesgos en esta parte están concentrados todo el sistema de generación. los cuales deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

b) Aerogenerador: el aerogenerador ENAIR 70 PRO el cual se caracteriza por que tiene una velocidad de arranque de 2 m/s, estará montado a una altura de 19 m

c) El controlador de carga: Estará conformado por 03 controlador (MPPT 150/60 VICTRON ENERGY) de capacidad de 60 A y funcionará a una tensión de trabajo de 48 VDC; estará ubicado en el interior de un tablero metálico para su protección.

d) La batería: El banco de baterías instalado lo conforman 16 baterías ROLLS de 12V-503 Ah cada una, estas funcionarán a una tensión de trabajo de 48 VDC. El sistema de baterías se ha dimensionado considerando dos días de autonomía.

e) El convertidor o inversor: 02 inversor utilizado es de tipo onda pura cuya potencia es de 6 000 W, a una tensión de trabajo de 48 VDC, este equipo suministrara la tensión al sistema en 220 VAC.

f) Sistema de distribución en 220 V:

En el plano del ANEXO N° 10, se detalla la propuesta del sistema eléctrico fotovoltaico, en este caso el subsistema de distribución de energía eléctrica es decir la red de distribución secundaria el cual especifica la ubicación de cada vivienda el tipo de armado o poste a utilizar en cada punto el tipo de conductor, puesta a tierra, retenidas.

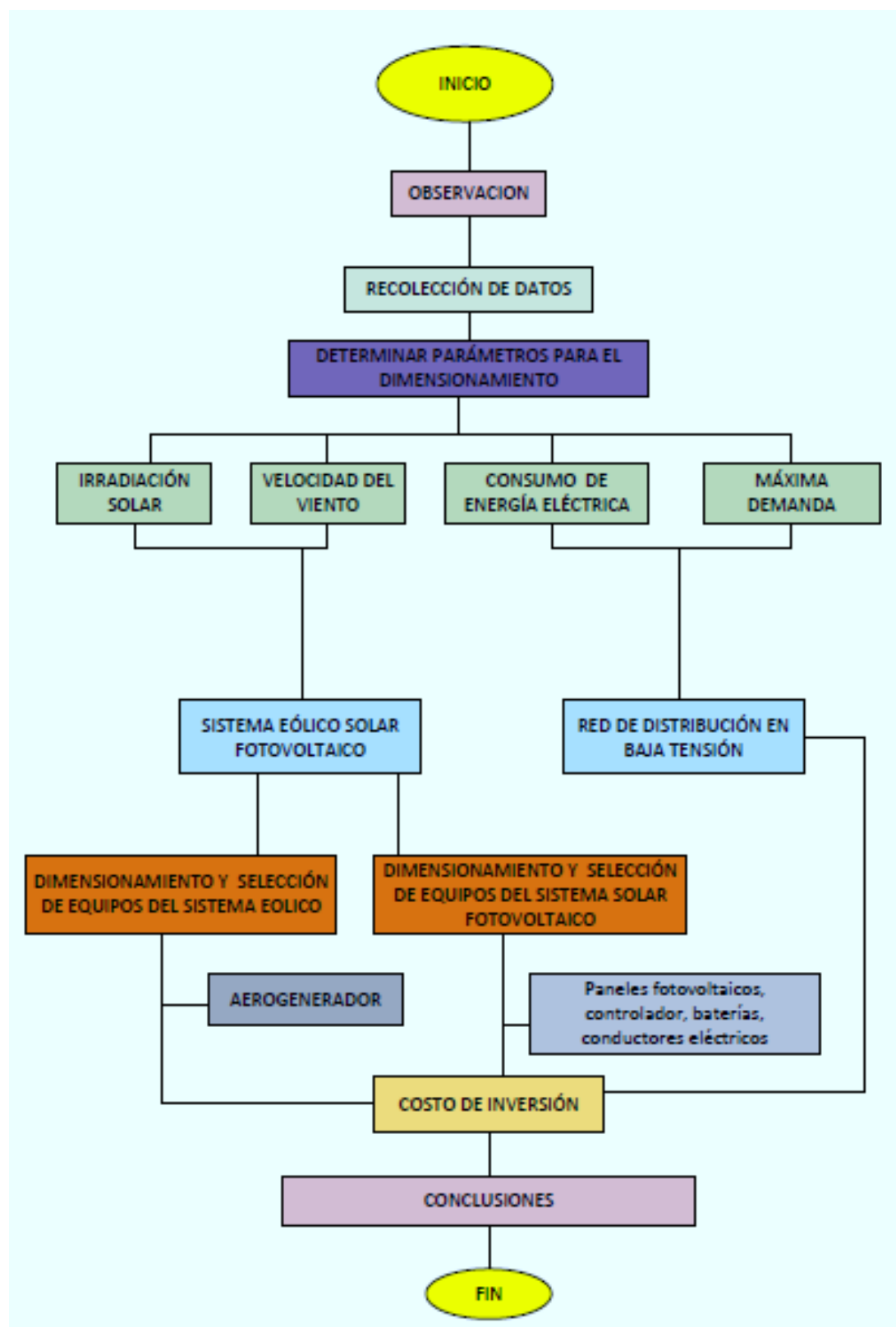


Figura N° 31: Flujograma de la propuesta⁶²

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Determinación de la energía eléctrica requerida en el caserío Choruro

5.1.1. Población actual y proyección para el caserío Choruro.

El caserío Choruro tiene 40 unidades de vivienda y 01 local comunal en total decir 41 lotes y el número de habitantes es de 150. Para determinar la energía requerida por el caserío Choruro es necesario proyectar la población. (a 20 años que es la vida útil de los paneles fotovoltaicos y del aerogenerador). Pero para ello necesitamos una tasa de crecimiento poblacional

Tabla N° 8: Tasa de crecimiento para el departamento de Cajamarca⁶³

<i>Año</i>	<i>1940- 1961</i>	<i>1961- 1972</i>	<i>1972- 1981</i>	<i>1981- 1993</i>	<i>1993- 2007</i>	<i>2007- 2017</i>
Tasa de crecimiento	2,0 %	1,9 %	1,2 %	1,7%	0,7	-0,3 %

Con un valor promedio de 1,2 % que es valor que utilizaremos para estimar las viviendas proyectadas

⁶² Fuente: elaboracion propia

⁶³ Elaboración propia a partir de los datos del INEI

Tabla N° 9: Tasa de crecimiento poblacional⁶⁴

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

Proyectamos entonces la población para 20 años

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

Donde:

P₀: Población actual (150 habitantes)

P₂₅: Población proyectada al año 20

i: Taza de crecimiento poblacional (1,2 %)

$$\text{Vivivenda}_{20} = \text{Vivienda}_0 \times \left(\frac{\text{Poblacion}_{20}}{\text{Poblacion}_0} \right) \dots (6)$$

Reemplazando los resultados anteriores:

$$\text{Vivivenda}_{20} = 40 \times \left(\frac{191}{150} \right) = 50,93 \approx 51 \text{ viviendas}$$

⁶⁴ https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf

Tabla N° 10: proyección de la población y vivienda⁶⁵

Proyección de las viviendas en el caserío Choruro			
Tasa de crecimiento		1,20%	
poblacion-2018		150	
viviendas- 2018		40	
ref	Año	Población	vivienda
0	2018	150	40
1	2019	152	41
2	2020	154	42
3	2021	156	42
4	2022	158	43
5	2023	160	43
6	2024	162	44
7	2025	164	44
8	2026	166	45
9	2027	167	45
10	2028	170	46
11	2029	172	46
12	2030	174	47
13	2031	176	47
14	2032	178	48
15	2033	180	48
16	2034	182	49
17	2035	184	50
18	2036	186	50
19	2037	189	51
20	2038	191	51

De la Tabla N° 10 se observa que para el año 20 año el número de viviendas será de 51

⁶⁵ Elaboracion a partir de los datos del INEI

Tabla N° 11: Energía promedio diaria⁶⁶ en las unidades de vivienda del caserío Choruro- Huambos

<i>Artefactos eléctricos que se utilizan normalmente</i>	<i>Potencia Eléctrica (W)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Horas de consumo diario (h)</i>	<i>Consumo diario (Wh)</i>	<i>Potencia Eléctrica (W)</i>
Lámparas	8	4	4	128	32
Radio	10	1	5	50	10
Carga de celular	5	3	2	30	15
Televisor	60	1	3	180	60
Laptop	60	1	3	180	60
TOTAL				568	177

Tabla N° 12: Energía promedio diaria⁶⁷ en el local comunal del caserío Choruro- Huambos

<i>Artefacto eléctrico</i>	<i>Potencia Eléctrica (W)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Horas de consumo diario (h)</i>	<i>Consumo diario (Wh)</i>	<i>Potencia eléctrica (W)</i>
Lámparas	8	3	2	48	24
Equipo de sonido	300	1	2	600	300
Carga de celular	5	3	2	30	15
Televisor	60	1	2	120	60
TOTAL				798	399

⁶⁶ Fuente: elaboración propia del autor

⁶⁷ Fuente: elaboración propia del autor



Figura N° 32: entrevista a los habitantes del caserío Choruro⁶⁸

5.1.2. Alumbrado publico

Para el alumbrado público se ha considerado lámparas de vapor de sodio y se considerara una lámpara en la ubicación del sistema hibrido y otra en el local comunal

El alumbrado público constará de luminarias con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 50 W soportadas por pastorales.

La demanda de potencia de las lámparas de alumbrado y sus accesorios es la siguiente:

⁶⁸ Fuente: elaboracion propia

Tabla N° 13: Lámparas de alumbrado publico

Tipo de Lámpara	Potencia (Watts)	Pérdidas (Watts)	Total (Watts)
Vapor de Sodio	50	10	60

Tabla N° 14: Energía eléctrica para el alumbrado publico⁶⁹

Artefacto eléctrico	Potencia eléctrica (W)	Cantidad	Horas de consumo diario (h)	Consumo diario (Wh)	Potencia eléctrica (W)
Lámparas	60	2	12	1 440	120
TOTAL				1 440	120

Entonces la energía promedia diaria para el caserío Choruro es de:

Tabla N° 15: Energía eléctrica total para el caserío Choruro⁷⁰

Carga	Cantidad	Consumo diario (Wh)	Potencia Eléctrica (W)	% De consumo de energía eléctrica
unidades de vivienda	51	28 968	9 027	92,83 %
Local comunal	1	798	399	2,56 %
Alumbrado publico	2	1 440	120	4,61 %
TOTAL		31 206	9 546	100 %

⁶⁹ Fuente: elaboración propia del autor

⁷⁰ Fuente: elaboración propia del autor

De la tabla N° 15, podemos observar que el consumo de energía eléctrica por alumbrado público es 4,5 % del consumo de energía total. La máxima demanda se considerará igual 9 546 W.

5.2. Determinación de la irradiación solar y el potencial eólico en el caserío Choruro

5.2.1. Irradiación solar

se ha obtenido los datos de tres fuentes tal como se muestra en la Tabla N° 16, los datos de latitud y longitud se obtuvieron de la tabla N° 4

Tabla N° 16: Irradiación solar obtenida de diferentes fuentes⁷¹

MES	NASA ⁷²	METEONORM ⁷³	ATLAS SOLAR ⁷⁴
Enero	4,82	5,71	4,75
Febrero	4,61	5,96	4,75
Marzo	4,88	6	4,75
Abril	4,71	6	4,75
Mayo	4,93	5,84	4,75
Junio	4,93	5,87	4,75
Julio	5,06	6	4,75
Agosto	5,46	6,35	4,75
Septiembre	5,76	6,77	4,75
Octubre	5,67	6,55	4,75
Noviembre	5,86	6,43	4,75
Diciembre	5,17	6,03	4,75

⁷¹ Elaborado a partir de los datos de irradiación solar

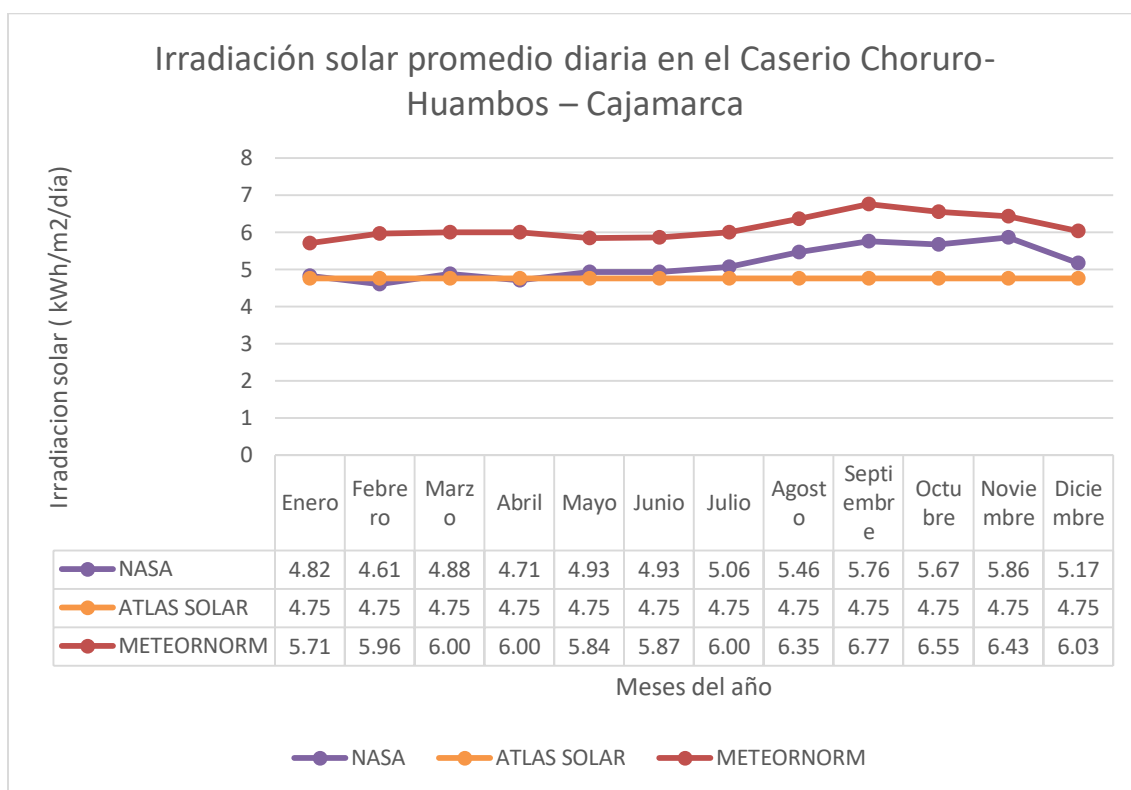
⁷²

https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_06d41S_78d95W_7d1781eb.txt

⁷³ Software METEONORM

⁷⁴ <https://deltavolt.pe/phocadownload/Cajamarca.jpg>

Tabla N° 17: Datos de Irradiación solar de diferentes fuentes⁷⁵



De la comparación de datos de observa que el menor valor de las 3 fuentes es según la tabla N° 17, es de 4,61 kWh/m²/día valor que se considerara para el cálculo, con la finalidad de que se logre suministrar de energía eléctrica aun en las condiciones críticas de radiación solar.

5.2.2. Potencial eólico

Para evaluar el potencial el potencial eólico trabajar con los datos obtenidos de la estación meteorológica Huambos,

⁷⁵ Elaboracion a partir de los datos de las tres fuentes

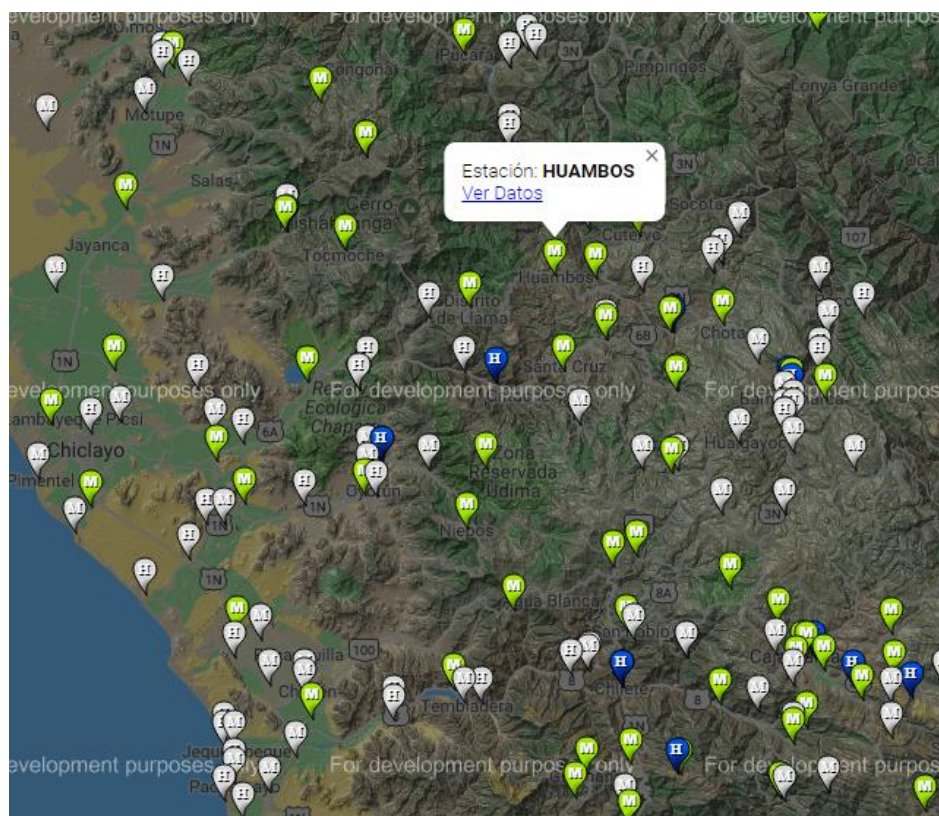


Figura N° 33: Estación meteorológica Huambos⁷⁶

Tabla N° 18: Datos de la estación meteorológica Huambos⁷⁷

MES	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura Max.	Temperatura min.
ENERO	5,93	25,4	10,2
FEBRERO	5,68	25,5	9,8
MARZO	7,13	24,6	11,4
ABRIL	6,47	22	10,8
MAYO	6,80	21	11,4
JUNIO	7,73	19,6	10
JULIO	7,35	21,2	10,2
AGOSTO	7,81	20,8	11,2
SETIEMBRE	7,80	23,6	10,4
OCTUBRE	5,86	25,4	8,6
NOVIEMBRE	6,00	25,4	9,4
DICIEMBRE	7,61	25	7,6

⁷⁶ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=datos-historicos>

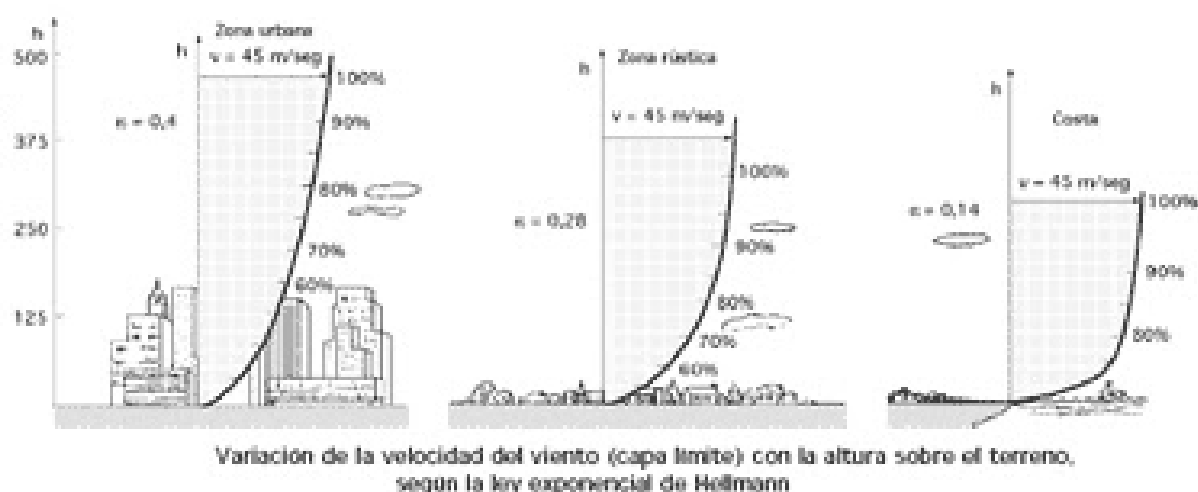
⁷⁷ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=datos-historicos>

De la Tabla N°18 la velocidad del viento critica es en los meses de enero y febrero por lo cual se ha procedido a obtener datos de la estación meteorológica automática de Chota, los cuales se muestran en el ANEXO 01.

La estación meteorológica Chota toma las velocidades de viento a una altura de 2 m, el aerogenerador propuesto estará instalado a una altura de 19 m por lo que debemos usar la ley de HELLMAN (ANEXO 02)

Tabla N° 19: Variación de la velocidad con la altura⁷⁸

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



La superficie terrestre ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardar el flujo, por ende disminuir la velocidad del viento.

⁷⁸ <http://energiaeolica201.blogspot.com/p/estadistica-descriptiva.html>

Este efecto retardatorio de la velocidad de viento decrece en la medida que se incrementa la altura sobre la superficie del terreno y de obstáculos en su recorrido. Así pues, a mayor altura sobre la superficie mayor velocidad de viento se podrá experimentar.

5.3. Selección de equipos para el sistema híbrido eólico fotovoltaico

5.3.1. Selección de equipos para el sistema eólico

Para el sistema eólico proponemos un aerogenerador ENAIR de 5 Kw (ver ANEXO 03), el cual tiene una característica especial que arranca con una velocidad de viento de 2 m/s.

Tabla N° 20: Energía obtenida del aerogenerador para una altura de 19 m

Viento			
<i>Velocidad (m/s)</i>	<i>Frecuencia (h)</i>	<i>Frecuencia acumulada (h)</i>	<i>Frecuencia acumulada relativa (h)</i>
1	365	365	0,54396
2	122,00	487	0,72578
3	78,00	565	0,84203
4	40,00	605	0,90164
5	30,00	635	0,94635
6	16,00	651	0,97019
7	11,00	662	0,98659
8	7,00	669	0,99702
9	2,00	671	1,00000

A partir de la tabla N° 19 conociendo la frecuencia acumulada relativa del viento adecuamos los datos para determinar los parámetros de la distribución de WEIBULL

Velocidad (m/s)	$\ln(v)$	$\ln(\ln(1/(1-F(v))))$
1	0,0000	-0,2418
2	0,6931	0,2576
3	1,0986	0,6127
4	1,3863	0,8412
5	1,6094	1,0734
6	1,7918	1,2565
7	1,9459	1,4613
8	2,0794	1,7605

$$y=kx+b$$

$$k=0,9222$$

$$b=-0,3448$$

$$c=1,45337513$$

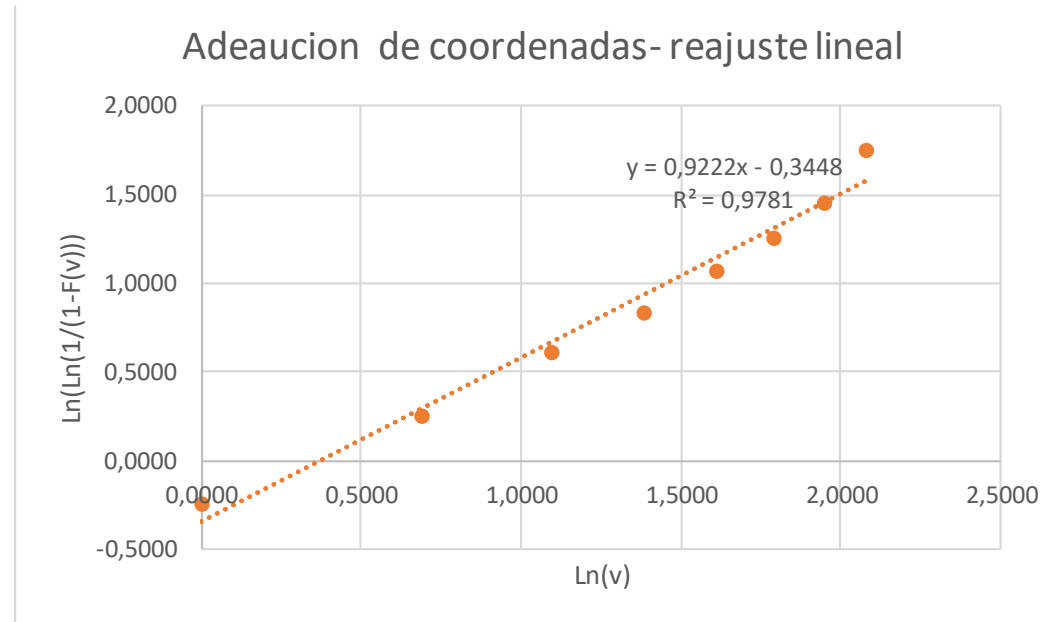


Figura N° 34: Determinación⁷⁹ de los parámetros "k" y "c" de la distribución de WEIBULL

⁷⁹ Fuente: elaboracion propia a partir de los datos de la estación meteorológica Chota

Tabla N° 21: Energía promedio diario obtenido del aerogenerador⁸⁰ ENAIR 70 PRO

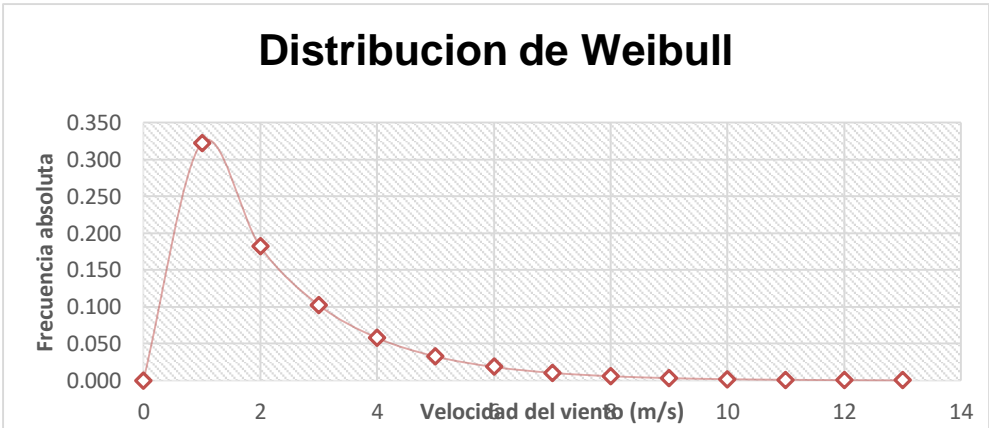
$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]}$$

Donde:
K: parámetro de forma
C: Parámetro de escala

velocidad (m/s)	f(v)	horas
0	0,000000	0,00
1	0,321694	215,86
2	0,161691	108,49
3	0,085242	57,20
4	0,046079	30,92
5	0,025325	16,99
6	0,014089	9,45
7	0,007914	5,31
8	0,004481	3,01
9	0,002554	1,71
10	0,001464	0,98
11	0,000843	0,57
12	0,000488	0,33
13	0,000284	0,19
14	0,000165	0,11

AEROGENERADOR ENAIR PRO 70			
velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energía (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	215,86	0,00
2	20	108,49	2169,89
3	40	57,20	2287,89
4	250	30,92	7729,74
5	450	16,99	7646,80
6	950	9,45	8981,26
7	1400	5,31	7434,58
8	2800	3,01	8418,19
9	2400	1,71	4112,35
10	4000	0,98	3928,70
11	4100	0,57	2319,91
12	4300	0,33	1408,00
13	4450	0,19	846,63
14	4450	0,11	493,72
15	4450	0,00	0,00
total de energía (kWh)			57777,66
energía promedio diaria (kWh/día)			2066,56

GRAFICA ELABORADA
DE DISTRIBUCION DE WEIBULL



⁸⁰ Fuente: elaboracion propia

De la Tabla N° 21 obtenemos que la energía que suministrara el aerogenerador para el mes de febrero es de 57 777 Wh por lo tanto la energía promedio diaria es de 2 066 Wh

Tabla N° 22: Balance de energía⁸¹

Balance de energía	Energía	Unidades
Energía requerida por la carga	31 206,00	Wh
factor global de funcionamiento	0,76	
Energía que debe suministrara el sistema hibrido	41 060,53	Wh
Energía del aerogenerador	2066,00	Wh
Energía del generador fotovoltaico	38 994,53	Wh

De la Tabla N° 22 obtenemos que la energía que debe suministrara el generador fotovoltaico es de: 38 994,53.

5.3.2. Dimensionamiento y selección de equipos para el sistema fotovoltaico

5.3.2.1. Generador fotovoltaico

Para el generador fotovoltaico se ha propuesto del uso de paneles YINKO por ser una marca reconocida y la potencia comercializable de 300 kWp (ANEXO 04)

⁸¹ Fuente: elaboracion propia

Tabla N° 23: Calculo del generador fotovoltaico⁸²

GENERADOR FOTOVOLTAICO		
Energia requerida	38 944,53 Wh	
Marca del panel propuesto	YINKO	
Potencia del panel propuesto	300	Wp
Tension nomial del panel	24	V
Latitud	-6,414	°
HSP	4,61	h
tension del sistema en CD	48	V
Numero de paneles=	$\frac{E_{elec}}{HSP \times Potencia\ pico(Wp)}$	≈ 30(7)
Paneles en serie=	2	
Ramas en paralelo=	15	
<u>Angulo de inclinacion de los paneles=</u>		
$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times Latitud)$	8,13 °(8)

Hay que tener en cuenta que es más recomendable una inclinación mayor a 10°, con la finalidad de que el agua de la lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel además de la no retención de mucho polvo.

El caserío Choruro está en el hemisferio sur, en consecuencia, el generador fotovoltaico se orientará hacia el norte magnético, con una inclinación de 10° con respecto a la horizontal.

⁸² Fuente: elaboracion propia

5.3.3. Dimensionamiento y selección del controlador

Para el dimensionamiento de tendrá en cuenta la corriente eléctrica máxima que circulará por el regulador (I_{REG}) tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura N° 35: Dimensionamiento y selección del controlador⁸³

Se propone el uso de controladores de la marca VICTRON ENERGY (ANEXO 05) de la figura N° 36 observamos que se necesitan 3 controladores

Se utilizaran 3 reguladores VICTRON ENERGY 150/60

5.3.4. Selección del banco de baterías

Para la selección de la capacidad de la batería se ha cotizado entre las baterías ROLLS Y RITAR tal como se muestra en la tabla N° 24, de donde se ha seleccionado la batería ROLLS DE 503 Ah (ANEXO 06).

⁸³ Fuente: elaborado a partir de datos del panel y del controlador

Tabla N° 24: Costo del banco de baterías según la capacidad⁸⁴

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	19	76	55427,56	1900
RITAR	200	2006	12	4	10	40	80240,00	2000
RITAR	260	2540,28	12	4	8	32	81288,96	2080
ROLLS	503	3161,56	12	4	4	16	50584,96	2012

Consideraremos trabajar con las baterías ROLLS de 503 Ah (ver Tabla N° 24)


DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE BATERIAS			
Energía de la carga	31206 Wh		
Profundidad de descarga (PD)	70 %		
Tension del sistema DC (VT)	48 V		
Dias de autonomia (ND)	2		
$C_T = \frac{(N_D \times E_{elec})}{P_D \times V_T}$			
	1857,5 Ah(10)	
	Bateria propuesta		
	ROLLS	503 Ah	
		12 V	
	Baterias en serie=	4	
$N_{ramas\ de\ baterias\ paralelo.} = C_{banco} / C_{de\ la\ bateria\ seleccionada} \dots\dots\dots(11)$			
	$N_{ramas\ de\ baterias\ paralelo.}$	4	
Total de baterías			
		16	

Figura N° 36: Dimensionamiento y selección de baterías⁸⁵

Se utilizaran 16 baterias ROLLS de 503 Ah

⁸⁴ Fuente: elaboracion propia a partir de los precios unitarios

⁸⁵ Elaboracion a partir de los datos de la batería ROLLS

5.3.5. Selección del inversor

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

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{Potencia\ de\ la\ carga}{Rendimiento\ del\ inversor} \dots (11)$$

$$Potencia\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{9546,0}{0,85} = 11,20\ kW$$

Para determinar el número de inversores necesarios y proponiendo inversores de la marca MUST SOLAR de 6 kW (ANEXO 07) tenemos lo siguiente, usando la ecuación (16):

$$N_{inversores} = \frac{Potencia\ de\ entrada\ del\ inversor}{Potencia\ del\ inversor\ seleccionado} \dots (12)$$

$$N_{inversores} = \frac{11,20\ kW}{6,0\ kW} = 1,87 \approx 2$$

Se usaran 2 inversores MUST SOLAR de 6 kW

5.3.5.1. Protección del inversor

Se usará interruptor termomagnético bipolar de 30 A.

$$I_{interruptor-termomagnetico} = \frac{P_{inversor}}{220} = 27,28 \text{ A} \dots\dots\dots(13)$$

Además, usaremos un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad.

5.3.6. Calculo y selección de los conductores eléctricos

Para la selección adecuada del calibre de los conductores eléctricos, primero se deberá de tener en cuenta la clase de corriente eléctrica que fluirá entre los componentes de la minicentral fotovoltaica, a saber:

Corriente alterna: entre el inversor y la carga instalada

Para cálculos eléctricos de corriente alterna se empleará la siguiente ecuación:

$$S_{CABLE} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots\dots(14)$$

Donde:

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

L = Longitud tramo [m].

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

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

Tabla N° 25: conductores eléctricos NYY



TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE N° x mm ²	N° HILOS	ESPEORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO (Kg/Km)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
		mm	mm	mm		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: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1016482.pdf>

Conductor entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga; caída de tensión $\Delta V \leq 3\%$

En el catálogo del panel YINKO de 300 Wp

$$I_{\text{Cortocircuito del panel}} = 8,98 \text{ A}$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times$$

$$N_{\text{ramas en paral. x regulador}} \dots (15)$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times 8,98 \times 5 = 56,13 \text{ A}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \dots (16)$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 7 \times 56,13}{56 \times 1,44}$$

$$S_{\text{CABLE}} = 9,74 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 25, Seleccionamos el conductor de 10 mm² – NYY

Conductor entre la batería y el regulador de carga; caída de tensión $\Delta V \leq 1$ %

En el catálogo del panel YINKO de 300 Wp

$$I_{\text{Cortocircuito del panel}} = 8,98 \text{ A}$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas en paral. x regulador}} \dots (16)$$

$$I_{\text{Generador-regulador}} = 1,25 \times 8,98 \times 5 = 56,13 \text{ A}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 4 \times I}{56 \times \Delta V}$$

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 4 \times 56,13}{56 \times 0,48}$$

$$S_{\text{CABLE}} = 16,71 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 25, Seleccionamos el conductor de 25 mm^2 – NYY

Conductor entre el inversor y la carga; caída de tensión $\Delta V \leq 1$ %

$$I_{\text{MAX inv}} = P_{\text{carga}} / (V_{\text{tension de trabajo}} \times \eta_{\text{inversor}}) \dots (17)$$

$$I_{\text{MAX inv}} = 6\,000 / (48 \times 0,85) = 147,06 \text{ A}$$

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

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times 1 \times 147,06}{56 \times 0,48}$$

$$S_{\text{CABLE}} = 10,94 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 25, Seleccionamos el conductor de 16 mm^2 – NYY

5.3.7. Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos

El generador fotovoltaico va a estar conformador por 30 paneles fotovoltaicos, es necesario dejar una separación mínima entre filas que garantice el mínimo de sombras (Agustin Castejon s.f.). Para el cálculo seguiremos el procedimiento de (Agustin Castejon s.f.) y los resultados se muestran en la figura N° 38

$\beta=10^\circ$ (ángulo de inclinación del panel), $\Phi=-6,35^\circ$ (latitud)


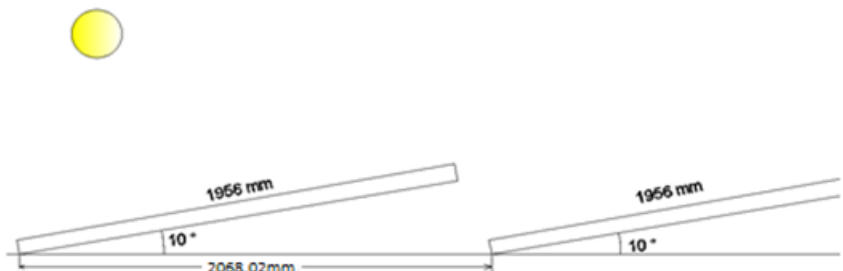
Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
DISTANCIA MINIMA ENTRE FILAS DE PANELES				
Dimensiones del pnel fotovoltaico YINKO 300 Wp				
Longitud (L)		1956 mm		
ancho		992 mm		
Latitud del caserio Choruro		-6.35 °		
angulo de inclinacion de paneles		10 °		
		0 Ah		
$h = L \text{sen}(\beta)$		339.66 mm		
$d = \frac{h}{\text{tg}(61^{\circ} - \phi)}$		141.73 mm		
$D = d + L \cos(\beta)$		2068.02 mm(18)	
				

Figura N° 37: Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos⁸⁶

⁸⁶ Elaboracion a partir de los datos del panel

5.4. Dimensionamiento del sistema de distribución en 220 V

En este ítem consideraremos lo establecido por la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

5.4.1. Cálculos eléctricos

Cálculo de caída de tensión

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = KxLxIx10^{-3} \dots (19)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

L = Longitud del tramo, en m

K = Factor de caída de tensión

Los valores de K, se pueden observar en la siguiente Tabla N° 26

Tabla N° 26: Características de los cables autoportantes⁸⁷

FORMACIÓN	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 CAIDA DE TENSION			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40°C (A)	
	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 V)	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond. A.P.
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
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	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	-

Calculo por capacidad de corriente

El sistema de distribución eléctrica que se propone es monofásico en 220 V, el conductor 1x16/25 y 2x16/25, el cual tiene una capacidad de corriente de 64 A, (Tabla N° 24), de la potencia del inversor obtenemos la corriente eléctrica:

Aquí consideraremos la potencia del inversor

$$I_{MAX\ carga} = \frac{P_{inversor}}{220 \times 0,85} = \frac{6\ 000}{220 \times 0,85} = 32,10\ A \dots (20)$$

Como: 32,10 < 64 (Tabla N° 24)

⁸⁷ (rd031-2003-EM, 2003)

Máxima caída de tensión permisible

Según lo establecido en la norma (rd031-2003-EM, 2003) en la página 7. Para red de distribución rural la caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal.

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

En el ANEXO N° 13 se encuentran los diagramas de carga y de las Tablas 26 y 27 podemos observar que cada de tensión no su pera el 7 % por lo que el conductor eléctrico propuesto cumple con lo establecido en la (rd031-2003-EM, 2003)

Tabla N° 27: Caída de tensión⁸⁸ C-I

CAIDA DE TENSION CIRCUITO I- CASERIO CHORURO-CHOTA-CAJAMARCA											
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]						
1			0,0	0,0	8,9	30,0	1X16+1X16/25	3,272	0,88	0,88	0,40%
2	1		0,4	93,5	8,9	50,0	1X16+1X16/25	3,272	1,46	2,34	1,06%
3	2		0,9	187,0	8,5	50,0	1X16+1X16/25	3,272	1,39	3,73	1,69%
4			0,0	0,0	7,7	50,0	1X16+1X16/25	3,272	1,25	4,98	2,26%
5	1		0,4	93,5	7,7	50,0	1X16+1X16/25	3,272	1,25	6,23	2,83%
6	3		1,3	280,5	7,2	50,0	1X16+1X16/25	3,272	1,18	7,41	3,37%
11	1		0,4	93,5	6,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,97	8,39	3,81%
12	1		0,4	93,5	5,5	50,0	1x16+N25	3,272	0,90	9,29	4,22%
13	2		0,9	187,0	5,1	50,0	1x16+N25	3,272	0,83	10,12	4,60%
14	3		1,3	280,5	4,3	50,0	1x16+N25	3,272	0,70	10,82	4,92%
19			0,0	0,0	3,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,49	11,31	5,14%
20	1		0,4	93,5	3,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,49	11,79	5,36%
21			0,0	0,0	2,6	50,0	1x16+N25	3,272	0,42	12,21	5,55%
22	4		1,7	374,0	2,6	50,0	1x16+N25	3,272	0,42	12,63	5,74%
33	1		0,4	93,5	0,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,14	12,77	5,80%
34			0,0	0,0	0,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,07	12,84	5,83%
35			0,0	0,0	0,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,07	12,90	5,87%
36	1		0,4	93,5	0,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,07	12,97	5,90%
7	1		0,4	93,5	0,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,07	7,48	3,40%
8			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	7,48	3,40%
9	1		0,4	93,5	2,1	50,0	1x16+N25	3,272	0,35	7,83	3,56%
10	2		1,7	374,0	1,7	50,0	1x16+N25	3,272	0,28	8,11	3,69%
15			0,0	0,0	2,6	55,0	1x16+N25	3,272	0,46	11,28	5,13%
16	2		1,7	374,0	2,6	55,0	1x16+N25	3,272	0,46	11,74	5,33%
17			0,0	0,0	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	11,89	5,40%
18	1		0,9	187,0	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	12,04	5,47%
23			0,0	0,0	1,7	50,0	1x16+N25	3,272	0,28	12,90	5,87%
24	1		0,9	187,0	1,7	50,0	1x16+N25	3,272	0,28	13,18	5,99%
25	1		0,9	187,0	0,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,14	13,32	6,06%
26			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
27			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
28			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
29			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
30			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
31			0,0	0,0	0,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,00	13,32	6,06%
32	1		0,9	187,0	0,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,14	13,46	6,12%

6,12% < 7% ok

⁸⁸ Fuente: elaboracion propia

Tabla N° 28: Caída de tensión C-II

CAIDA DE TENSION CIRCUITO II- CASERIO CHORURO-CHOTA-CAJAMARCA											
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]						
37			0,0	0,0	9,0	30,0	1X16+1X16+N25	3,272	0,88	0,88	0,40%
38	1		0,4	93,5	9,0	50,0	1X16+1X16+N25	3,272	1,47	2,35	1,07%
39			0,0	0,0	8,6	50,0	1X16+1X16+N25	3,272	1,40	3,75	1,70%
40	1	1	1,3	293,0	8,6	50,0	1X16+1X16+N25	3,272	1,40	5,15	2,34%
42	2		0,9	187,0	7,2	50,0	1X16+1X16+N25	3,272	1,18	6,33	2,88%
43	4		1,7	374,0	6,4	50,0	1X16+1X16+N25	3,272	1,04	7,38	3,35%
49	1		0,4	93,5	4,7	50,0	1x16+N25	3,272	0,76	8,14	3,70%
50			0,0	0,0	4,3	50,0	1x16+N25	3,272	0,70	8,84	4,02%
51	2		0,9	187,0	4,3	50,0	1x16+N25	3,272	0,70	9,53	4,33%
52			0,0	0,0	3,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,56	10,09	4,59%
53	1		0,4	93,5	3,4	50,0	1x16+N25	3,272	0,56	10,64	4,84%
54	1		0,4	93,5	3,0	50,0	1x16+N25	3,272	0,49	11,13	5,06%
55	3		1,3	280,5	2,6	50,0	1x16+N25	3,272	0,42	11,55	5,25%
56	1		0,4	93,5	1,3	50,0	1x16+N25	3,272	0,21	11,76	5,34%
57			0,0	0,0	0,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,14	11,90	5,41%
58	2		0,9	187,0	0,9	50,0	1x16+N25	3,272	0,14	12,03	5,47%
44	1		0,4	93,5	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	7,53	3,42%
45			0,0	0,0	0,4	55,0	1x16+N25	3,272	0,08	7,61	3,46%
47			0,0	0,0	0,4	55,0	1x16+N25	3,272	0,08	7,68	3,49%
48	1		0,4	93,5	0,4	55,0	1x16+N25	3,272	0,08	7,76	3,53%
56	1		0,4	93,5	1,3	55,0	1x16+N25	3,272	0,23	11,78	5,35%
57			0,0	0,0	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	11,93	5,42%
58	2		0,9	187,0	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	12,08	5,49%
59			0,0	0,0	0,0	55,0	1x16+N25	3,272	0,00	11,55	5,25%
60	1		0,4	93,5	1,3	55,0	1x16+N25	3,272	0,23	11,78	5,35%
61			0,0	0,0	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	11,93	5,42%
62	1		0,4	93,5	0,9	55,0	1x16+N25	3,272	0,15	12,08	5,49%
63			0,0	0,0	0,4	55,0	1x16+N25	3,272	0,08	12,16	5,53%
64			0,0	0,0	0,4	55,0	1x16+N25	3,272	0,08	12,24	5,56%
65	1		0,4	93,5	0,4	45,0	1x16+N25	3,272	0,06	12,30	5,59%

5,59% < 7% ok

Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno

Tabla N° 29: 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: C.N.E

5.4.2. Los cálculos mecánicos

Las características mecánicas de los conductores eléctricos autoportantes se muestran a continuación en la Tabla N° 30

Tabla N° 30: Características mecánicas de los conductores eléctricos autoportantes⁸⁹

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)
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	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

El único elemento de sujeción del conductor es el portante o neutro y es él que absorberá todas las tensiones mecánicas del cable.

⁸⁹ (rd031-2003-EM, 2003)

se ha utilizado un EDS del 18% para la distribución de las estructuras de las redes secundarias en vanos tensados y un EDS de 7% para el caso de vanos flojos.

Hipótesis de estado

Las hipótesis de estado para los cálculos mecánicos del conductor se definen sobre la base de los factores meteorológicos.

- a) Velocidad del Viento
- b) Temperatura
- c) Hielo

Tabla N° 31: Datos de la estación meteorológica Huambos⁹⁰

MES	Temperatura máx.	Temperatura min.
Enero	25,4	10,2
Febrero	25,5	9,8
Marzo	24,6	11,4
Abril	22	10,8
Mayo	21	11,4
Junio	19,6	10
Julio	21,2	10,2
Agosto	20,8	11,2
Setiembre	23,6	10,4
Octubre	25,4	8,6
Noviembre	25,4	9,4
Diciembre	25	7,6
	25,5	7,6

⁹⁰ Estación meteorológica Huambos

Para definir las hipótesis de cálculo mecánico de conductores, se ha tomado información de la estación meteorológica convencional Huambos⁹¹

De la Tabla N° 29 observamos que la temperatura mínima es de 7,6° C, para los cálculos se considerará 5°C

Y la temperatura máxima es de 25 ,5° C para los cálculos reconsiderará 40 ° C

a) HIPÓTESIS I:

Esfuerzo Máximo.

- Temperatura Ambiente : 5°C
- Velocidad del viento : 70 Km/h.

b) HIPÓTESIS II:

Esfuerzos diarios (EDS)

- Temperatura : 16°C
- Velocidad del viento : 0

Esfuerzo normal (σ_2) : Para conductores de Aluminio es el 18%
Del esfuerzo de ruptura

c) HIPÓTESIS III:

Flecha Máxima.

- Temperatura : 40°C
- Velocidad del viento : 0

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

Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

De la norma (rd031-2003-EM, 2003) página 9 tenemos lo siguiente:

⁹¹ <https://www.senamhi.gob.pe/?p=datos-historicos>

- 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.

Vano Básico: Debido a que en el recorrido de la red secundaria los vanos son diferentes surge la idea de vano básico que es el vano representativo de varios vanos diferentes entre dos estructuras de anclaje es el vano básico y que calcula mediante la siguiente ecuación.

$$V_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \dots (21)$$

Dónde:

V_b es el vano básico

L_i: son los vanos entre dos postes de anclaje

Consideramos los vanos entre la estructura 14 y la estructura 16 (ver Anexo N° 12):

$$V_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} = 55 \text{ m}$$

Los resultados de los cálculos mecánicos se encuentran a continuación y fueron elaborados en una hoja de Excel la tabla N° 33

Tabla N° 32: Resultados de la ecuación de cambio de estado⁹²

<i>caserio CHORURO</i>		TABLA DE CALCULO MECANICO DE CONDUCTORES (Sección Portante : 25 mm2.) DISPOS.: 2x16+1x16+N25						
Vano (m)		30	40	50	55	60	65	70
HIP. I	σ (Kg/mm ²)	7,91	8,32	8,69	8,86	9,02	9,16	9,30
	f (m)	0,30	0,51	0,76	0,90	1,05	1,21	1,39
HIP. II	σ (Kg/mm ²)	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
	f (m)	0,21	0,37	0,57	0,69	0,82	0,97	1,12
HIP. III	σ (Kg/mm ²)	3,30	3,66	3,94	4,06	4,17	4,27	4,36
	f (m)	0,34	0,54	0,79	0,93	1,07	1,23	1,40

Fuente: Elaboración propia del autor

De la tabla N° 33 observamos que el esfuerzo máximo para el vanos de 55 m es de 8,86 kg/m², que es equivalente a 86,83 N/m² el cual es menor que 176 N/m²

Por lo que el conductor eléctrico propuesto cumple con los requerimientos eléctricos y mecánicos.

A continuación, calcularemos la altura de los postes de C.A.C.

Calculo de la altura del poste:

Con respecto a la distancia mínima del conductor eléctrico al terreno se considerara 5,50 m (ver Tabla N° 29) . 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:

⁹² Elaborado a partir de los datos del conductor y condiciones climáticas

$$\text{Atura de empotramiento} = \frac{H}{10} + 0,2 \dots (22)$$

La altura necesaria del poste será:

$$H = \frac{H}{10} + 0,2 + D_{min} + F_{max} + H_c \dots (23)$$

Donde:

H : Altura del poste en metros.

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

F_{max} : Flecha máxima en metros.

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

Para : $D_{min} = 5,5$ m.

$F_{max} = 0,93$ m.

Tenemos $H = 7,70$ m.

Del cálculo entonces usaremos postes de 8 m de C.A.C.

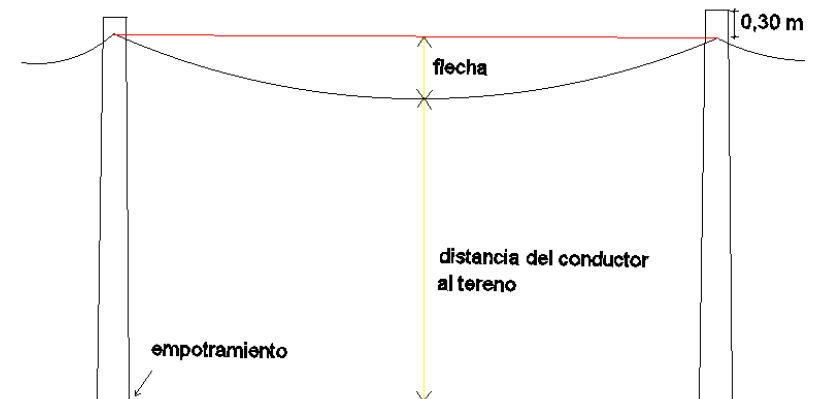


Figura N° 38: Flecha y distancia del conductor al terreno⁹³

⁹³ Fuente: Elaborado por el propio Autor

5.5. Presupuesto

5.5.1. Presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 33: Valor referencial⁹⁴ para el suministro de materiales para el sistema eólico-fotovoltaico

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
30 paneles solares YINKO de 300 Wp	1200,28	36 008,40
03 reguladores VICTRON ENERGY de 150/60	3 533,31	10 599,93
16 baterías RITAR de 503 Ah	3 161,56	50584,96
02 Inversores MUST SOLAR de 6 kW	3 814,42	7 628,84
05 estructura para 06 paneles solares	984,71	4 923,55
Aerogenerador ENAIR 70 PRO +CONTROLADOR	29 428,22	29 428,22
Torre de 19 m	12 865,41	12 865,41
Accesorios	500	500
Total, del Suministro		152 539,31

Tabla N° 34: Costo directo del sistema fotovoltaico)⁹⁴

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO CHORURO EN HUAMBOS -CHOTA -CAJAMARCA"			
RESUMEN GENERAL SISTEMA HIBRIDO EOLICO-SOLAR			
ITEM		DESCRIPCION	TOTAL
A		SUMINISTROS DE MATERIALES	152 539,31
B		MONTAJE ELECTROMECHANICO	12 203,14
C		TRANSPORTE DE MATERIALES	4 576,18
F		TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	169 318,63

⁹⁴ Fuente: Elaborado por el propio Autor

5.5.2. Presupuesto de la red de distribución secundaria

Tabla N° 35: Suministro de materiales para la red de distribución secundaria

VALOR REFERENCIAL- SUMINISTRO DE MATERIALES					
SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO CHORURO EN HUAMBOS -CHOTA -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	43,00	645,75	27 767,25
1,02	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	22,00	410,00	9 020,00
	SUB-TOTAL 1:				36 787,25
2,00	CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO				
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	2,88	4000,00	11 506,00
2,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km	0,65	6000,00	3 894,00
	SUB-TOTAL 2:				15 400,00
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	43,00	13,00	559,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm ²	u		15,00	
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		6,70	
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	243,00	0,35	85,05
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	22,00	3,05	67,10
3,09	CINTA AISLANTE	rl	100,00	3,60	360,00
	SUB-TOTAL 3:				1 071,15
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	780,00	4,90	3 822,00
4,08	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm ²	m	117,00	6,60	772,20
	SUB-TOTAL 4:				4 594,20
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	2,00	90,00	180,00
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	2,00	196,00	392,00
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	2,00	35,00	70,00
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	2,00	25,00	50,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 35 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	2,00	10,50	21,00
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	2,00	5,92	11,84
	SUB-TOTAL 5:				724,84
6,00	RETENIDAS Y ANCLAJES				
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	220,00	4,20	924,00
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	132,00	9,50	1 254,00
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	22,00	35,00	770,00
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	22,00	5,00	110,00
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	44,00	9,00	396,00
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	44,00	2,00	88,00
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	66,00	1,00	66,00
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	22,00	28,00	616,00
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 25 mm ² Y COBRE DE 16mm ² , TIPO CUÑA	u	22,00	6,70	147,40
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm ²	u	22,00	5,92	130,24
	SUB-TOTAL 6:				4 501,64
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	85,00	10,80	918,00
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	58,00	8,20	475,60
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	22,00	11,20	246,40
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmø	u	4,00	8,30	33,20
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u	14,00	6,58	92,12
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmø	u	30,00	2,00	60,00
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	123,00	4,28	526,44
	SUB-TOTAL 7:				2 351,76
8,00	PUESTA A TIERRA				
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	13,00	43,00	559,00
	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm ² Y COBRE DE 16mm ² , TIPO CUÑA	u	13,00	7,20	93,60
8,02	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm ²	u	13,00	6,50	84,50
	SUB-TOTAL 8:				737,10
9,00	CONEXIONES DOMICILIARIAS				
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	20,50	33,49	686,55
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	41,00	1,20	49,20
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	41,00	0,66	27,06
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	164,00	1,00	164,00
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	41,00	10,50	430,50
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm ² /Cu 4-10 mm ² , PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	41,00	4,30	176,30
9,11	TEMPLADOR DE A°G°	u	82,00	2,10	172,20
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	41,00	76,66	3 143,06
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE 1.	u	41,00	90,00	3 690,00
	SUB-TOTAL 9:				8 538,87
TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES				S/.	74 706,81

fuelle: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 36: Costo para el montaje de las redes secundarias

VALOR REFERENCIAL					
MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO CHORURO EN HUAMBOS -CHOTA -CAJAMARCA"					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID.	METRADO TOTAL CANT.	PRECIO UNIT. S/.	TOTAL S/.
5,00	<u>MONTAIE 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	0,6	606,89	393,87
5,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	2,9	510,25	1 467,73
	SUB-TOTAL 5:				1 861,61
6,00	<u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u>				
6,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m ³	20,0	31,62	633,03
6,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m ³	0,0	112,44	0,00
6,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	13,0	18,19	236,47
6,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m ³	26,0	45,57	1 186,19
	SUB-TOTAL 6:				2 055,69
7,00	<u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u>				
7,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	2,0	19,63	39,26
7,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	2,0	34,58	69,16
	SUB-TOTAL 7:				108,42
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	30,0	35,26	1 057,80
8,02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	11,0	42,67	469,37
8,03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	41,0	11,09	454,69
8,04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	41,0	20,00	820,00
	SUB-TOTAL 8:				2 801,86
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/.	23 283,31

fuelle: Elaborado por el propio Autor

Tabla N° 37: Costo directo de la red de distribución secundaria en el Caserío Choruro

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: :"DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO CHORURO EN HUAMBOS -CHOTA -CAJAMARCA"		
RESUMEN GENERAL DE REDES SECUNDARIAS		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL (S/.)
A	SUMINISTROS DE MATERIALES	76 156,49
B	MONTAJE ELECTROMECHANICO	23 500,15
C	TRANSPORTE DE MATERIALES	6 092,52
F	TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)	105 749,15

fuelle: Elaborado por el propio Autor

5.5.3. Costo total del sistema del sistema eléctrico en el caserío Choruro⁹⁵

REDES SECUNDARIAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS 220 V, PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO PARA ELECTRIFICAR EL CASERIO CHORURO EN HUAMBOS -CHOTA -CAJAMARCA"		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	103 966,66
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO	169 318,63
	TOTAL S/.	273 285,29
C	GASTOS GENERALES	21 862,82
D	UTILIDADES	21 862,82
E	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	317 010,94
F	I.G.V. (S/.)	57 061,97
G	VALOR REFERENCIAL (S/.)	374 072,91
H	CAPACITACION (S/.)	3 000,00
	PRESUPUESTO TOTAL (S/.)	377 072,91

⁹⁵ Fuente: elaboracion propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- a) La demanda de energía promedia diaria proyectada para el Choruro es de 31, 206 KWh/día. Y con una máxima demanda 9 546 W.
- b) Según el SENAMHI (Atlas 2003) se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m²/día y del software METEORNOM se ha obtenido un valor de en el caserío Choruro es de 5,71 kWh/m²/día. según la NASA se ha obtenido un valor de 4,61 kWh/m²/día, De estos tres valores para el dimensionamiento de sistema fotovoltaico se ha considerado el menor de ellos, es decir: 4,61 kWh/m²/día. Con respecto de la velocidad del viento se ha obtenido los datos de la estación meteorológica convencional para obtener los valores promedios Huambos y luego datos de la estación meteorológica automática de Chota.
- c) El sistema hibrido eólico-fotovoltaico estará conformado por: 30 paneles fotovoltaicos de 300 Wp de la marca YINKO, 16 baterías de acumuladores 503 Ah de la marca ROLLS, 03 reguladores de carga 150/60 de la marca VICTRON ENERGY, 02 inversor 48/6000-230 V de la marca MUST SOLAR; aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5 kW con su controlador.
- d) El Costo del sistema fotovoltaico aislado es de S/ 377 072,91

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogota.
- 2) Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 3) Alva Silva, J. Z. (2016). *“Estudio De Factibilidad De Un Sistema Fotovoltaiico Para El Suministro De Energía Eléctrica En El Caserío De Vigaspampa, Celendín, Cajamarca”*. Cajamarca.
- 4) Arias, J. J. (2009). *Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona*. Lima.
- 5) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 6) Chercca Ramirez, J. A. (2014). *Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO2 en el poblado rural la Gramita de Casma*. Lima.
- 7) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 8) Energia Innovadora. (2017). *Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
- 9) Gonzales Peñafiel, G. G., Sambrano Manosalvas, J. C., & Estrada Pulgar, E. F. (2014). *Estudio, Diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la Isla Mondragón del golfo de Guayaquil, provincia de Guayas*. Guaayaquil.
- 10) Indeco. (s.f.). *Catalogo de cables NYY -DUPLEX*.
- 11) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 12) Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.

- 13) Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.
- 14) Lopez Argumedo, E. S. (2009). *Estudio tecnico-Economico de una instalacion solar fotovoltaica conectada a red de 5kWp*. Leganes.
- 15) Moran Santamaria, J. M. (2013). *Analisis y evaluacion para la viabilidad tecnico y economico en el uso de la energia fotovoltaica para el centro poblado Cruz de Pañala*. Lambayeque.
- 16) Muñoz Anticona, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- 17) Navarrete Nuñez, A. J. (2016). *“Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para Abastecer La Demanda De Energía Eléctrica Del Servicio Habitacional Gran Hotel, San Ignacio”*. Jaen.
- 18) Prado Mora, C. R. (2008). *Diseño de un sistema electrico fotovoltaico para una comunidad aislada*.
- 19) Ramirez Sanchez, J. M. (2010). *Metodologia para el analisis de propagacion y filtrado de armonicos en sistemas electricos*. Mexico.
- 20) SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- 21) solar, G. d. (2016). *Guia de la energia solar*. 2006.
- 22) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA CHOTA MES DE FEBRERO 2018

ANEXO N°02. VELOCIDAD DEL VIENTO A 19 m

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR ENAIR 70 PRO

ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS YINKO SOLAR DE 300 W_p

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

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

ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR DE 6 kW MUST SOLAR

ANEXO N°08. FICHA TÉCNICA DE CABLES NYY

ANEXO N° 09. SISTEMA EÓLICO SOLAR FOTOVOLTAICO

ANEXO N° 10. RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

ANEXO N° 11. PLANILLA DE METRADO RS

ANEXO N° 12. DIAGRAMA DE CARGA