



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



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

## **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR COMO  
FUENTE PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA AL CASERÍO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN  
PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA”**

**Presentado Por:**

**Bach. KEVIN ARNOLD TARRILLO VÁSQUEZ**

**Asesor:**

**Msc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Enero del 2019**



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



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO**

**ELECTRICISTA**

**“UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR COMO  
FUENTE PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA AL CASERÍO ALTO PONGOYA EN  
CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA”**

**Presentado Por:**

**Bach. KEVIN ARNOLD TARRILLO VÁSQUEZ**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE:** Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO.

**SECRETARIO:** ING. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA.

**MIEMBRO:** ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO.

**ASESOR:** M.Sc. JONY VILLALOBOS CABRERA.

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Enero del 2019**



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



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

### **TITULO**

**“UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR COMO FUENTE PARA  
EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL CASERÍO ALTO PONGOYA  
EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”**

### **CONTENIDOS**

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

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

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

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

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

**AUTOR: Bach. KEVIN ARNOLD TARRILLO VÁSQUEZ**

-----  
**PRESIDENTE**

-----  
**SECRETARIO**

-----  
**MIEMBRO**

-----  
**ASESOR**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Enero del 2019**

## **DEDICATORIA**

Dedico éste Proyecto de Tesis a:

Dios ya que gracias a Él he llegado a concluir una de mis metas la cual es concluir con mi carrera.

Mis queridos padres, Sr. Elder Tarrillo Díaz y Lene María Vásquez Alarcón quienes siempre me escucharon, me brindaron su apoyo y consejos para ser de mí una persona de bien.

Mis hermanos, Pablo Paolo del Piero Tarrillo Vásquez y Kamila Nicole Tarrillo Vásquez quienes son mi motivo de superación constante y que día a día me proyecte metas importantes.

A todos mis familiares, personas cercanas y amigos que siempre me motivaron a lo largo de mi carrera, brindándome su apoyo incondicional para llevar a cabo cualquier meta propuesta.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría en todas mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a los todos docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la prestigiosa Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo de Lambayeque.

## RESUMEN

El objetivo general de la presente tesis fue utilizar la energía eólica y solar para suministrar energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en Chimban, provincia de Chota en el departamento de Cajamarca. La población no cuenta con el servicio de energía eléctrica, en el caserío Alto Pongoya se consideró como primera alternativa la ampliación de las redes eléctricas pero esta alternativa tendría un alto costo económico debido a que se encuentra muy distanciado de las redes eléctricas más cercanas, otro punto importante es el bajo consumo de energía eléctrica que demanda los pobladores debido a sus bajas condiciones económicas. Se realizó el cálculo del consumo de energía diaria promedio proyectada a partir de la población y número de viviendas actuales que es de 23, 01 centro educativo, 01 Local comunal, obteniéndose 9,723 kWh/día. Los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA, software Solarius Plus, Software Meteonorm y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo 4,61 kWh/m<sup>2</sup>/día; los datos de la velocidad y dirección del viento se obtuvieron de la estación meteorología automática de Chota. El sistema eléctrico fotovoltaico compuesta por 12 paneles fotovoltaicos de 200 Wp de potencia cada uno, 12 baterías de acumuladores, 01 regulador de carga, 01 inversor ,01 aerogenerador de 5 kW con su controlador de carga. Se dimensiono el subsistema de distribución de donde se obtuvo que los postes a usar serán de C.A.C. de 8m; el conductor eléctrico a usar será el 1x16+16/25 para los tramos de alumbrado y 1x16/25. El presupuesto del sistema hibrido eólico fotovoltaico con la red de distribución secundaria tiene un costo de S/. 138 926,11

Palabras claves: Panel fotovoltaico, aerogenerador, regulador, inversor

## **ABSTRACT**

The general objective of this is solar energy and electric power for the Alto Pongoya home in Chimban, province of Chota in the department of Cajamarca. The population does not have the electric power service, in the Alto Pongoya farmhouse it has been found as the first alternative alternative to the extension of the electric networks but this alternative has an economic cost that in turn is very far from the electric networks closer, another important point in the low consumption of electricity required by the population due to their low economic conditions. The calculation of daily energy consumption was made, it was projected based on the population and the number of current homes that is 23 , 01 educational center, 01 Local community, obtaining 9,723 kWh / day. The solar radiation data means the total of one year per year of statistical data provided by the NASA page, the Solarius Plus software, the Meteonorm software and the SENAMHI atlases, where the lowest solar radiation level was taken. 4,61 kWh / m<sup>2</sup> / day; the wind speed and direction data were obtained from the Chota automatic weather station. The photovoltaic electrical system composed of 12 photovoltaic panels of 200 Wp of power each, 12 accumulator batteries, 1 charge regulator, 01 inverter, 01 5 kW wind turbine with its charge controller. The distribution subsystem was dimensioned from where the shutters to be used were obtained from C.A.C. 8m; the electrical conductor to be used will be 1x16 + 16/25 for the lighting sections and 1x16 / 25. The budget of the photovoltaic wind hybrid system with the secondary distribution network has a cost of S /. 138 926,11

Keywords: Photovoltaic panel, wind turbine, regulator, inverter

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN .....	VI
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.3. Delimitación de la Investigación .....	3
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación .....	6
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	7
1.6. Objetivos .....	7
1.6.1. Objetivo General .....	7
1.6.2. Objetivo Específicos .....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de Estudios .....	8
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	14
2.2.1. Energías Renovables.....	14
2.2.2. La energía solar .....	25
2.2.3. La energía eólica .....	65
2.2.4. Sistemas híbrido eólico fotovoltaico.....	92
2.2.5. Evaluación del recurso eólico .....	94
2.2.6. Evaluación del recurso solar.....	101
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	104
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	109
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	109
3.2. Población y muestra.....	109
3.3. Hipótesis .....	110
3.4. Operacionalización de las variables.....	110



3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	112
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados .....	114
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos .....	114
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	115
4.1. Descripción del sistema propuesto .....	115
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	119
5.1. Demanda de energía .....	119
5.2. Evaluación de la energía solar disponible .....	123
5.2.1. Determinación de la capacidad del sistema eólico .....	126
5.4. Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico .....	136
5.4.1. Voltaje de la instalación .....	136
5.4.2. Paneles solares .....	136
5.5. Dimensionamiento del sistema híbrido.....	139
5.5.1. Dimensionamiento del regulador de carga solar.....	139
5.5.2. Baterías .....	142
5.5.3. Inversor.....	144
5.5.4. Elementos de protección .....	148
5.6. Sistema de distribución eléctrica en 220 V .....	150
5.6.1. Cálculos eléctricos .....	151
5.6.2. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes.....	155
5.7. Metrado y presupuesto .....	160
5.6.1. Metrado y presupuesto del sistema fotovoltaico .....	160
CAPITULO VI: CONCLUSIONES .....	166
BIBLIOGRAFÍA .....	167
ANEXOS .....	169

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Temperatura en Chimban .....	5
Tabla N° 2: Parques eólicos en operación .....	70
Tabla N° 3: Parque eólicos adjudicados hacia el 2016 .....	71
Tabla N° 4: Valores de para algunos tipos de terreno.....	96
Tabla N° 5: Operacionalización de variables ( Fuente: elaboración propia).....	111
Tabla N° 6: Tecnicas e instrumentos .....	114
Tabla N° 7: taza de crecimiento para el departamento de Cajamarca para diferentes periodos de tiempo.....	119
Tabla N° 8: Consumo de energía promedio diario para las unidades de vivienda....	120
Tabla N° 9: Consumo de energía promedio diaria para el local comunal.....	120
Tabla N° 10: Consumo de energía eléctrica para en Centro Educativo de nivel primaria .....	121
Tabla N° 11: Consumo total de energía eléctrica para el caserío Alto Pongoya .....	121
Tabla N° 12: Radiación solar en el caserío Alto Pongoya .....	124
Tabla N° 13: Radiación solar promedio en el departamento de Cajamarca .....	125
Tabla N° 14: Datos técnicos del aerogenerador de 5 Kw .....	127
Tabla N° 15: Aerogenerador 5 KW .....	128
Tabla N° 16: Distribución de frecuencias y distribución acumulada de los promedios de velocidad de viento en el caserío para marzo y abril del 2017 .....	129
Tabla N° 17: Distribución de frecuencias .....	129
Tabla N° 18: valores de X e Y .....	131
Tabla N° 19: Número de horas en el periodo de tiempo en estudio .....	133
Tabla N° 20: Curva de potencia del Aerogenerador hdl-5 kw .....	134
Tabla N° 21: Energía suministrada por el aerogenerador .....	135
Tabla N° 22: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.....	137
Tabla N° 23: Especificaciones de los paneles fotovoltaicos.....	137
Tabla N° 24: Parámetros eléctricos totales del sistema de captación.....	139
Tabla N° 25: Especificaciones del regulador BLUE SOLAR 150/45.....	141
Tabla N° 26: Especificaciones técnicas del inversor 48 V-3000 W .....	145
Tabla N° 27: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica .....	147
Tabla N° 28: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo ....	147
Tabla N° 29: Características eléctricas de los conductores THW-90 .....	148
Tabla N° 30: Selección de fusibles de protección.....	150
Tabla N° 31: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados	152
Tabla N° 32: Caída de tensión C-I.....	153
Tabla N° 33: Caída de tensión C-II.....	154
Tabla N° 34: Distancia mínima del conductor a la superficie del terreno.....	155
Tabla N° 35: Hipótesis para los cálculos mecánicos .....	156
Tabla N° 36: Características de los cables autoportantes propuestos .....	157
Tabla N° 37: Flecha Máxima para el vano básico.....	158
Tabla N° 38: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema híbrido eólico fotovoltaico .....	160

Tabla N° 39: Costo directo para el sistema eólico-fotovoltaico.....	161
Tabla N° 40: Presupuesto para el suministro de materiales del subsistema de distribución secundaria (elaboración propia) .....	162
Tabla N° 41: Presupuesto referencial para el montaje del subsistema de distribución eléctrica.....	163
Tabla N° 42: Presupuesto referencial para el subsistema de distribución eléctrica .....	164
Tabla N° 43: Presupuesto total para el sistema híbrido eólico fotovoltaico .....	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de la zona del trabajo de investigación en el mapa de Peru .....	4
Figura N° 2: Distrito de Chimban en Chota.....	5
Figura N° 3: Kurnool Ultra Mega Solar Park. 1 000 MW. India.....	27
Figura N° 4: Longyangxia Hydro- Solar PV Station. 850 MW. China .....	29
Figura N° 5: Planta fotovoltaica de Kamuthi. 648 MW. India .....	30
Figura N° 6: Solar Star Solar Farm I y II. 597 MW. Estados Unidos.....	31
Figura N° 7: Copper Mountain. 552 MW. Estados Unidos .....	33
Figura N° 8: Desert Sunlightg Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos .....	35
Figura N° 9: Topaz Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos.....	37
Figura N° 10: Mesquite Solar Project. 400 MW. Estados Unidos.....	38
Figura N° 11: Quaid-e-Azam Solar Park. 400 MW. Pakistán.....	39
Figura N° 12: Planta fotovoltaica Ningxia Yanchi Fase I. 380 MW. China.....	41
Figura N° 13: Charanka Solar Park. 345 MW. India .....	42
Figura N° 14: Planta fotovoltaica de Cestas. 300 MW. Francia.....	43
Figura N° 15: 13. Agua Caliente Solar Project. 290 MW. Estados Unidos.....	45
Figura N° 16: Antelope Valley Solar Ranch. 266 MW. Estados Unidos .....	46
Figura N° 17: 15. Mount Signal Solar. 265,7 MW. Estados Unidos .....	47
Figura N° 18: Springbok Solar Farm. 260 MW. Estados Unidos .....	48
Figura N° 19: 17. California Valley Solar Ranch. 250 MW .....	49
Figura N° 20: Liberación de electrones.....	56
Figura N° 21: Célula solar monocristalina durante su fabricación.....	58
Figura N° 22: Célula de Silicio monocristalino.....	59
Figura N° 23: Célula de silicio policristalino .....	61
Figura N° 24: Unión de células en un panel solar.....	62
Figura N° 25: Esquema de un panel solar con sus células .....	64
Figura N° 26: Circulación de aire a escala planetaria sin considera la rotación de la tierra.....	72
Figura N° 27: Circulación de aire considerando la rotación terrestre .....	74
Figura N° 28: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica .....	77
Figura N° 29: Aerogenerador de eje horizontal .....	79
Figura N° 30: Aerogenerador Sabonius.....	80
Figura N° 31: aerogenerador Windside .....	81
Figura N° 32: Aerogenerador Darrieus .....	82
Figura N° 33: Aerogenerador Giromill.....	83

Figura N° 34: Aerogenerador panemona .....	84
Figura N° 35: Aerogeneradores según su aplicación .....	85
Figura N° 36: Grandes aerogeneradores y sus partes.....	89
Figura N° 37: Pequeños aerogeneradores y sus partes .....	92
Figura N° 38: Sistema hibrido eólico solar fotovoltaico .....	93
Figura N° 39: Variación de la velocidad con la altura .....	95
Figura N° 40: Distribución de velocidades para diferentes valores de su parámetro k .....	99
Figura N° 41: Distribución acumulativa de Weibul para diferentes valores de su parámetro de forma k.....	100
Figura N° 42: Radiación solar captada en la superficie terrestre después de atravesar la atmosfera.....	101
Figura N° 43: Radiación solar directa y difusa.....	104
Figura N° 44: Esquema propuesto para el sistema hibrido eólico - fotovoltaico.....	117
Figura N° 45: Sub sistema de distribución de energía eléctrica propuesta .....	118
Figura N° 46: Distribución acumulada.....	130
Figura N° 47: Gracia X vs Y.....	131
Figura N° 48: Distribución de velocidades del viento .....	132
Figura N° 49: probabilidad de la velocidad .....	133
Figura N° 50: Curva de la potencia del aerogenerador .....	135
Figura N° 51: Regulador BLUE SOLAR 150/45 .....	140
Figura N° 52: batería RITAR 200 Ah.....	143
Figura N° 53: Inversor de onda pura 48V 3000W VICTRON ENERGY .....	144
Figura N° 54: Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas.....	149
Figura N° 55: Diagrama de carga C-I.....	153
Figura N° 56: Diagrama de carga C-II.....	154

## INTRODUCCIÓN

En la presente Tesis tiene como objetivo general Utilizar la energía eólica y solar para suministrar energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en Chimban, provincia de Chota en el departamento de Cajamarca debido a que la población no cuenta con el servicio de energía eléctrica, en el caserío Alto Pongoya se consideró ampliar las redes eléctricas pero esta alternativa tendría un alto costo económico debido a que se encuentra muy distanciado de las redes eléctricas más cercanas y además el consumo de energía eléctrica es bajo debido a sus bajas condiciones económicas. La presente Tesis se ha dividido en seis Capítulos y Anexos, los mismos que a continuación se describen.

En el **Capítulo I** titulado “Problema de investigación” se describe la realidad problemática y la importancia de un sistema de generación de energía eléctrica.

En el **Capítulo II** titulado “Marco teórico” se consideran los temas involucrados y las teorías que nos servirán de base para el dimensionamiento del sistema híbrido.

En el **Capítulo III** titulado “Marco metodológico” se explica las técnicas e instrumentos para la recolocación y tratamiento de los datos con la finalidad de alcanzar el objetivo general y específicos.

En el **Capítulo IV** titulado “Propuesta de la investigación” aquí se propone un esquema para el sistema híbrido en base al marco teórico.

En el **Capítulo V** titulado “Análisis e interpretación de los resultados” se dimensionan los equipos del sistema híbrido, así como también el presupuesto

En el **Capítulo VI** Se dan a conocer las conclusiones, recomendaciones.

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

### **1.1. Realidad Problemática**

El caserío Alto Pongoya se encuentra ubicado en el Distrito de Chimban, Provincia de Chota departamento de Cajamarca.

La población no cuenta con el servicio de energía eléctrica, en el caserío Alto Pongoya se consideró como primera alternativa la ampliación de las redes eléctricas pero esta alternativa tendría un alto costo económico debido a que se encuentra muy distanciado de las redes eléctricas más cercanas, otro punto importante es el bajo consumo de energía eléctrica que demanda los pobladores debido a sus bajas condiciones económicas.

El dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el caserío Alto Pongoya brinda la posibilidad de utilizar energías alternativas, además de proporcionar la energía requerida y aporta con la conservación del medio ambiente.

La ventaja de diseñar un sistema híbrido eólico fotovoltaico es que nos permite garantizar la continuidad del servicio eléctrico, ya que posee dos fuentes de energías renovables.

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

de vida de la población y proteger el medio ambiente (Según el Artículo 11° de DLEG-1002-2008).

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Aprovechando el recurso eólico y solar será suficiente para lograr suministrar de energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en Chimban?

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

### **Delimitación espacial**

El desarrollo de esta tesis se realizó en el Caserío Alto Pongoya en Chimban en la provincia de Chota, departamento de Cajamarca.

El distrito de Chimban es uno de los 19 distritos que conforman la provincia de Chota, ubicado en el departamento de Cajamarca, bajo la administración del gobierno regional de Cajamarca, en el norte del Perú. Limita:

Por el norte con el distrito de Pion

Por el este con el Marañón

Por el sur con los distritos de Anguía y Tacabamba

Por el oeste con el distrito de la Ramada

Tal como se puede observar en la Figura N° 1 y Figura N° 2



Figura N° 1: Ubicación de la zona del trabajo de investigación en el mapa del Perú<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://docplayer.es/16972143-Estudio-de-impacto-ambiental-proyecto-resumen-ejecutivo.html>





Figura N° 2: Distrito de Chimban en Chota<sup>2</sup>

Tabla N° 1: Temperatura en Chimban<sup>3</sup>

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	20.2	20.2	19.9	19.9	19.4	19	18.7	18.8	19.4	19.8	20.2	20.2
Temperatura mín. (°C)	14.5	14.7	14.5	14.3	13.3	12.7	12.7	12.5	13.6	14	14.1	13.9
Temperatura máx. (°C)	25.9	25.7	25.4	25.6	25.6	25.4	24.8	25.1	25.3	25.7	26.3	26.5
Temperatura media (°F)	68.4	68.4	67.8	67.8	66.9	66.2	65.7	65.8	66.9	67.6	68.4	68.4
Temperatura mín. (°F)	58.1	58.5	58.1	57.7	55.9	54.9	54.9	54.5	56.5	57.2	57.4	57.0
Temperatura máx. (°F)	78.6	78.3	77.7	78.1	78.1	77.7	76.6	77.2	77.5	78.3	79.3	79.7
Precipitación (mm)	64	72	106	87	51	30	21	23	49	81	69	53

<sup>2</sup>

[http://app.seace.gob.pe/mon/ProcesoReporteGrafPb.jsp?tipo\\_cons=1&dep\\_codigo=06&anhoentidad=2013&tipo\\_cons\\_sub=1&pro\\_codigo=04](http://app.seace.gob.pe/mon/ProcesoReporteGrafPb.jsp?tipo_cons=1&dep_codigo=06&anhoentidad=2013&tipo_cons_sub=1&pro_codigo=04)

<sup>3</sup> <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chimban-1021878/>

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

La integración de módulos eólico- solar en el caserío Alto Pongoya ubicado en el distrito de Chimban, provincia de Chota, departamento de Cajamarca tiene la siguiente justificación:

##### **Justificación ambiental**

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

##### **Justificación económica**

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

##### **Justificación Social**

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

##### **Justificación Científico**

Promover el uso de las energías no convencionales.

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

Con respecto a los datos de radiación solar y velocidad del viento el estudio se ha limitado a los datos obtenidos de la NASA, al atlas solar del SENAMHI del 2003, el atlas eólico del Perú 2016 y el uso del software SOLARIUS PLUS.

El centro poblado cuenta con habitantes con poco conocimiento de este tema de Energías Renovables y por consecuencia desconocen esta alternativa para poder cubrir sus necesidades y tener un desarrollo sostenible, por lo cual la información ha sido un poco restringida.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Utilizar la energía eólica y solar para suministrar energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en Chimban, provincia de Chota en el departamento de Cajamarca.

### **1.6.2. Objetivo Específicos**

- a) Determinar demanda de energía eléctrica requerida por las unidades de vivienda del caserío Alto Pongoya.
- b) Realizar los cálculos justificativos para determinar las especificaciones técnicas de los equipos del sistema híbrido que logren suministrar energía eléctrica a las viviendas del caserío Alto Pongoya.
- c) Dimensionar la red de distribución eléctrica secundaria.
- d) Realizar el presupuesto referencial.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

#### Contexto Internacional

**BETANCO** (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 Mirafior Moropotente, municipio de Condega”. Nos dice que la investigación se realizó en la comunidad el Jilguero, ubicada en la Reserva Natural Mirafior Moropotente del municipio de Condega. El informe investigativo abordó la posibilidad de electrificación en la comunidad mediante la utilización de las energías renovables como fuente primaria. La demanda energética mundial ha aumentado considerablemente tras el desarrollo poblacional, según europa (2015) “las proyecciones efectuadas, durante el período 2000-2030 la demanda mundial de energía aumentará a un ritmo aproximado del 1,8% anual”. Tomando como referencia los conceptos básicos, así como toda la información de la comunidad.

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.

Para 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 kw/h, 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<sup>4</sup>.

**TOPAMPA & HIDALGO (2014)** en su tesis “Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014”, este trabajo estuvo encaminado al análisis e implementación de equipos para un sistema híbrido aprovechando los recursos eólicos y solares de la zona, como es el caso de la asociación de productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, para la generación de energía eléctrica, el mismo que sirvió de apoyo para trabajos de investigación a futuro. La aplicación de tecnologías limpias renovables, están orientadas a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo, esto permitirá que la asociación de

---

<sup>4</sup> (Sandoval Sanchez, Navarro Ramirez y Alvites Urbina 2017)

productores pecuarios Sincholagua, hacienda “La Merced”, no dependan totalmente de las centrales hidroeléctricas que proveen de energía al país<sup>5</sup>.

### **Contexto Nacional**

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

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

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.

---

<sup>5</sup> Toapanta Aguilar, Rodrigo Sebastian, y Jorge Lius Hidalgo Guerrero. «Análisis e implementación de una pico central híbrida solar eólica para generar 500w en la hacienda “La Merced” ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi en el periodo 2014.» Ecuador, 2016

Para lograr esto se desarrolla en los primeros capítulos la metodología que permite hacer el tratamiento estadístico de los datos con que se cuenta. Teniendo como base un ejemplo hipotético, pero bastante realista, de consumo de energía en una localidad rural se establecen la demanda de energía que se requiere para satisfacer necesidades básicas de luz y agua. Finalmente, y estableciendo a partir de las alternativas que ofrece el mercado, la configuración del sistema solar-eólico, se puede conocer la energía que es capaz de suministrar el sistema y hacer la comparación con la alternativa de grupo electrógeno la cual es una de las más utilizadas en nuestro país para suministrar energía en situaciones de aislamiento<sup>6</sup>.

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

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

Posterior al cálculo de la demanda energética, se realizó un análisis en estado estacionario con la finalidad de evaluar el potencial energético

---

<sup>6</sup> Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico- solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

disponible en la zona. Se Utilizó la data meteorológica de radiación solar y velocidad del viento, tomada en el lugar de emplazamiento del proyecto por el radar de la Universidad de Piura, luego se calculó el potencial solar y eólico disponibles y se procede a dimensionar correctamente el sistema para la demanda energética calculada previamente.

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

Seleccionado todos los componentes de la instalación y el presupuesto inicial requerido, se identificaron los egresos e ingresos anuales del proyecto, con la finalidad de evaluar económicamente la instalación y analizar los factores claves que garanticen la rentabilidad del proyecto<sup>7</sup>.

### **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

---

<sup>7</sup> Servan Socola, Jorge. «Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red.» Piura, 2014.



generación eléctrica de un motor diésel. El objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) autónomo en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados a comunidades de nuestra región que aún no cuentan con el suministro eléctrico, además de contribuir a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, así mismo capacitar a la población sobre la gran importancia que tiene la energía solar y sus diferentes aplicaciones. Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

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

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico autónomo a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto, el cual me permitirá reducir el consumo de combustible diésel en 912 galones/año. Se recomienda difundir y apoyar la investigación sobre este tipo de tecnología y así

desarrollar proyectos en beneficio de comunidades que aún no tienen el servicio de electricidad en sus domicilios<sup>8</sup>.

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

### **2.2.1. Energías Renovables<sup>9</sup>**

Un concepto similar, pero no idéntico es el de las energías alternativas: una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo

funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

---

<sup>8</sup> Llauce Chozo , Anthony Joel. «Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura”.» Lambayeque, 2016.

<sup>9</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

### **2.2.1.1. Evolución Histórica<sup>10</sup>:**

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello. Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

### **2.2.1.2. Fuentes de Energía Renovables:**

Energía verde es un término que describe la energía generada a partir de fuentes de energía primaria respetuosas con el medio ambiente. Las energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir,

---

<sup>10</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente. Actualmente, están cobrando mayor importancia a causa del agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global, acompañado por una mayor toma de conciencia a nivel internacional con respecto a dicho problema. Asimismo, economías nacionales que no poseen o agotaron sus fuentes de energía tradicionales (como el petróleo o el gas) y necesitan adquirir esos recursos de otras economías, buscan evitar dicha dependencia energética, así como el negativo en su balanza comercial que esa adquisición representa.

#### **2.2.1.3. La energía solar<sup>11</sup>:**

Es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada a la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables. Se puede diferenciar entre receptores activos y pasivos en que los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol -llamados seguidores- y captar mejor la radiación directa. Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración

---

<sup>11</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

arquitectónica en edificios. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte -que en la actualidad suponen aproximadamente el 40 % del total- y la dependencia energética.

#### **2.2.1.4. Biomasa<sup>12</sup>:**

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

#### **2.2.1.5. Energía Eólica<sup>13</sup>:**

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico. La energía del viento está

---

<sup>12</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

<sup>13</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

relacionada con el movimiento de las masas de aire que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). Por lo que puede decirse que la energía eólica es una forma no-directa de energía solar. Las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, son las que ponen al viento en movimiento. Es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por sus aplicaciones. De entre todas ellas, la más extendida, y la que cuenta con un mayor crecimiento es la de los parques eólicos para producción eléctrica. Un parque eólico es la instalación integrada de un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente, son una evolución de los tradicionales molinos de viento. Como tales son máquinas rotativas que suelen tener tres aspas, de unos 20-25 metros, unidas a un eje. El elemento de captación o rotorque está unido a este eje, capta la energía del viento. El movimiento de las aspas o paletas, accionadas por el viento, activa un generador eléctrico que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. Estos aerogeneradores suelen medir unos 40-50 metros de altura dependiendo de la orografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos. Este es uno de los grandes problemas que afecta a las poblaciones desde el punto de vista estético. Los aerogeneradores pueden trabajar solos o en parques eólicos, sobre tierra formando las granjas eólicas, sobre la costa del mar o incluso pueden ser instalados sobre las aguas a cierta distancia de la costa en lo que se llama granja eólica marina, la cual está generando grandes conflictos en todas aquellas costas en las

que se pretende construir parques eólicos. El gran beneficio medioambiental que proporciona el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica viene dado, en primer lugar, por los niveles de emisiones gaseosas evitados, en comparación con los producidos en centrales térmicas. En definitiva, contribuye a la estabilidad climática del planeta. Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> del planeta. Como energía limpia que es, contribuye a minimizar el calentamiento global. Centrándose en las ventajas sociales y económicas que nos incumben de una manera mucho más directa, son mayores que los beneficios que aportan las energías convencionales. El desarrollo de este tipo de energía puede reforzar la competitividad general de la industria y tener efectos positivos y tangibles en el desarrollo regional, la cohesión económica y social y el empleo. Hay quienes consideran que la eólica no supone una alternativa a las fuentes de energía actuales, ya que no genera energía constantemente cuando no sopla el viento. Es la intermitencia uno de sus principales inconvenientes. El impacto en detrimento de la calidad del paisaje, los efectos sobre la avifauna y el ruido, suelen ser los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales de los parques eólicos. Con respecto a los efectos sobre la avifauna el impacto de los aerogeneradores no es tan importante como pudiera parecer en un principio. Otro de los mayores inconvenientes es el efecto pantalla que limita de manera notable la visibilidad y posibilidades de control que constituye la razón de ser de sus respectivos emplazamientos,

consecuencia de la alineación de los aerogeneradores. limitaciones visuales se añaden las previsibles interferencias electromagnéticas en los sistemas de comunicación.

#### **2.2.1.6. Energía Hidráulica<sup>14</sup>:**

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. En España se utiliza esta energía para producir alrededor de un 15 % del total de la electricidad. Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona, pero para la que se necesita construir las necesarias infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas.

#### **2.2.1.7. Energía Marina<sup>15</sup>:**

La energía marina o energía de los mares (también denominada a veces energía de los océanos o energía oceánica) se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar

---

<sup>14</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)

<sup>15</sup> [http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos\\_2016/energias\\_renovables.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/instituto/articulos_2016/energias_renovables.pdf)



electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria. Los principales tipos son: - Energía de las olas, olamotriz o undimotriz. - Energía de las mareas o energía mareomotriz. Energía de las corrientes: consiste en el aprovechamiento de la energía cinética contenida en las corrientes marinas. El proceso de captación se basa en convertidores de energía cinética similares a los aerogeneradores empleando en este caso instalaciones submarinas para corrientes de agua. - Maremotérmica: se fundamenta en el aprovechamiento de la energía térmica del mar basado en la diferencia de temperaturas entre la superficie del mar y las aguas profundas. El aprovechamiento de este tipo de energía requiere que el gradiente térmico sea de al menos 20°. Las plantas maremotérmicas transforman la energía térmica en energía eléctrica utilizando el ciclo termodinámico denominado “ciclo de Rankine” para producir energía eléctrica cuyo foco caliente es el agua de la superficie del mar y el foco frío el agua de las profundidades. - Energía osmótica: es la energía de los gradientes de salinidad.

#### **2.2.1.8. Energía Geotérmica:**

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra (5 000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico

y el calor radiogénico. Geotérmico viene del griego geo, "Tierra"; y de thermos, "calor"; literalmente calor de la Tierra.

#### **2.2.1.9. Beneficios de las energías renovables**

En el ámbito internacional, se reconoce la actividad humana ha incrementado las concentraciones atmosféricas de los llamados gases de efecto invernadero. Se dice que esto ha perturbado el balance de la radiación solar en el planeta, provocando un cambio climático global que amenaza la evolución natural del medio ambiente.

La contaminación del aire también es motivo de gran preocupación. En algunas zonas, los contaminantes atmosféricos han alcanzado niveles que pueden perturbar el equilibrio de los ecosistemas y afectar la calidad de vida. Las partículas suspendidas y la lluvia ácida, por ejemplo, afectan la salud humana y dañan las edificaciones.

Los procesos convencionales para generar electricidad que se basan en la quema de combustibles fósiles (principalmente carbón y combustóleo), emiten cantidades importantes de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos<sup>16</sup>.

Si bien el beneficio principal del uso de las energías renovables no convencionales o limpias para el Perú y el mundo es la mitigación del cambio climático mediante la retención de carbono, no es el único bien que otorga. Para Pedro Gamio el uso de energías renovables no convencionales también disminuye el índice de conflictos

---

<sup>16</sup> Cerdan Cabrea, Ana María. «Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México.» Mexico, 2011.

socioambientales, ya que al desarrollar actividades que no vulneran tierras comunales o indígenas, se descartan futuros enfrentamientos.

En el **informe de conflictos sociales** de la Defensoría del Pueblo del Perú se precisa que de los 168 conflictos sociales existentes en dicho país, con datos actualizados a setiembre del 2017, 119 son de carácter socioambiental, y de estos conflictos, las actividades productivas vinculadas con hidrocarburos son 18, mientras que con el sector energético son 10, de esta manera ambos sectores ocupan el segundo y el tercer lugar en la lista de conflictos socioambientales, respectivamente. “El promover energías limpias haría decrecer de manera considerable los conflictos socioambientales relacionados a hidrocarburos y energía”, afirmó Gamio.

Por otro lado, de acuerdo a la **presentación** “Economía mundial y cambio climático” de Pedro Gamio, Perú ocupa el segundo lugar, luego de Haití, como el país con más población sin acceso a la electricidad en América Latina y El Caribe.

Ante la falta de cobertura de energía eléctrica, de manera especial en zonas rurales y amazónicas, especificó Isabel Calle de la SPDA, la promoción de energías limpias ayudaría mucho en reducir esta brecha de acceso a la energía eléctrica. “En especial se podrían desarrollar los paneles solares en las zonas alejadas de las grandes ciudades en el Perú. Con este tipo de artefactos se prescinde de extensos cableados o instalaciones de torres de alta tensión en zonas agrestes o donde el clima no es propicio para su construcción”, explicó.

Si bien es importante el incremento de proyectos que sigan apostando por las energías limpias, advirtió Calle, la diversificación energética no se

logrará de la noche a la mañana. “Ahí hay dos tipos de energías convencionales que ayudarán en lo que llamamos la transición energética. Están las hidroeléctricas y el gas natural. Es cierto que ambas tienen impactos ambientales, pero ayudarán a saltarnos de la energía fósil a la limpia de manera total”.

Según el “Documento de política: acceso universal a energía y tecnologías renovables” de Pedro Gamio, cada año está decreciendo la producción convencional de barriles de petróleo, de acuerdo a información de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), lo que indica la caída cada vez más cercana del crudo como la materia prima por excelencia en la generación de energía mundial<sup>17</sup>.

### **Acuerdos internacionales comprometen al Perú**

El Perú está comprometido con los países firmantes del Acuerdo de París a disminuir hasta el 2030 el 30% de sus emisiones totales de gases de efecto invernadero, de acuerdo a información de sus contribuciones nacionales que fijó en el Pacto de Varsovia durante la COP19, y que precisó en la COP21 en París. “De ese 30%, el 20% es no condicionado, es decir, obligatorio. El 10% restante está condicionado a la inversión privada y la cooperación internacional”, detalló Calle de la SPDA.

En 2015 también el Perú junto al resto de países de Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, la cual incluye los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible. El **número 7** es el que se refiere a Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y

---

<sup>17</sup> <http://larepublica.pe/sociedad/1136822-energias-limpas-por-que-es-necesario-desarrollarlas-en-el-peru>

moderna para todos. En especial, Naciones Unidas especifica que al 2030 se debe “aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas”.

Lo poco o lo mucho que se ejecute para el desarrollo de las energías limpias en el Perú y el mundo, advierte Gamio, será para la supervivencia del ser humano. “La naturaleza se defiende sola, si seguimos emitiendo los gases de efecto invernadero mediante los combustibles fósiles y así se rebase la capacidad de retención de carbono por los mares y los bosques, quien estará en peligro no es la Tierra, sino la humanidad”.

## **2.2.2. La energía solar**

### **2.2.2.1. Situación actual de la energía solar fotovoltaica<sup>18</sup>**

El último informe trimestral *PV Demand Market Tracker* de la consultora **IHS Markit** ha confirmado que 2016 completa una década de crecimiento global de la demanda solar. Según los datos del informe, la nueva capacidad instalada alcanzará a finales de año una cifra récord de 77 GW, que representa una tasa de crecimiento anual del 34 %, dos puntos por encima del aumento del 32 % registrado en 2015. Esta es la primera vez desde 2010-2011 que el crecimiento de la demanda solar ha superado el 30% durante dos años consecutivos.

---

<sup>18</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Por su parte, **EurObserv'ER**, acaba de sacar su último barómetro de fotovoltaica, según el cual el mercado mundial de energía solar fotovoltaica alcanzaba su máximo en capacidad añadida en 2016, superando los 76 GW, con un crecimiento de un 50 % respecto a 2015, lo que supone que la capacidad total conectada a red en el mundo alcanza ya la cifra de 304 GW. Los líderes indiscutibles son China, Estados Unidos e India: los tres doblaron el año pasado la potencia que tenían instalada.

De acuerdo con datos oficiales de la Administración Nacional de Energía de China (NEA), la capacidad fotovoltaica instalada en el gigante asiático se sitúa actualmente en 77,42 GW, tras haberse añadido 34,54 GW en 2016. En 2015 se añadieron 15,13 GW y en 2014 un total de 10,56 GW. Este potente crecimiento del mercado chino se debe principalmente – explica EurObserv'ER– a la fuerte reducción de las tarifas que se había anunciado para el 1 de enero de 2017.

2016 fue un año también especialmente bueno para la energía solar en EEUU. Según la Asociación de Industrias de Energía Solar (SEIA), se instalaron 14,76 GW , potencia que duplicaba los 7,55 GW instalados en 2015. De hecho, según remarca la SEIA, la solar fotovoltaica se convirtió, por primera vez, en la principal tecnología por capacidad conectada a la red durante el año, con una participación del 39 %, por delante del gas (29%) y de la energía eólica (26 %).

En cuanto a India, a 31 de marzo de 2017, el país contaba ya con 12.289 MW fotovoltaicos. Una cifra próxima al doble de los 6.763 MW que tenía instalados justo un año antes. Al finalizar el año fiscal (que en India se contabiliza del 1 de abril de 2016 hasta el 31 de marzo de 2017) el país tenía conectados 5,526 MW frente a los 2,803 MW del período anterior.

Fruto de gran esfuerzo inversor, han surgido numerosos grandes proyectos en estos países, que han modificado el Top ten de las mayores plantas fotovoltaicas del mundo, que está dominado por proyectos de estos tres países. Hay proyectos mayores, pero que se encuentran en sus inicios, y la foto fija a día de hoy de las mayores plantas fotovoltaicas del mundo queda como sigue:



Figura N° 3: Kurnool Ultra Mega Solar Park. 1 000 MW. India

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

El pasado 28 de abril los medios de comunicación de la India informaron que ya se habían conectado a la red 900 MW del parque fotovoltaico indio **Kurnool Ultra Mega Solar Park**, un parque solar que, cuando esté terminado a finales de este mes, contará con 1 000 MW de capacidad, pero que a día de hoy ya es la planta fotovoltaica más grande del mundo, al haber superado los 850 MW de la china Longyangxia Solar Park.

El parque ocupa una superficie de 2 400 hectáreas en Panyam Mandal, en el distrito de Kurnool, en Andhra Pradesh. El proyecto está siendo ultimado por **Andhra Pradesh Solar Power Corporation Private Limited (APSPCL)**, una empresa conjunta de **Solar Energy Corporation of India**,

**Andhra Pradesh Power Generation Corporation y New & Renewable Energy Development Corporation of Andhra Pradesh Ltd.**

La construcción del parque ha requerido una inversión de alrededor de 7 000 millones de rupias (unos 1 100 millones de dólares) cuya financiación ha corrido a cargo de los desarrolladores y los gobiernos central y estatal. Los desarrolladores invirtieron 6.000 millones de rupias (unos 930 millones de dólares), y el resto fue financiado por APSPCL y una subvención del Gobierno de la Unión.

El parque utiliza más de 4 millones de paneles solares con una capacidad de 315 vatios cada uno. Los paneles están conectados a cuatro estaciones de 220/33 kV de 250 MW cada una y una subestación eléctrica de 400/220 kV integrada por casi dos mil kilómetros de circuitos de cables. El parque solar Kurnool genera cerca de 8 GWh al día, producción suficiente para satisfacer el 80% de la demanda eléctrica del distrito de Kurnool.

NTPC Limited invitó a los desarrolladores de energía solar a que presentaran sus ofertas para la primera fase del parque el 29 de abril de 2015, y la segunda fase, el 21 de mayo de 2015. Los contratos fueron adjudicados a los desarrolladores de energía solar a mediados de diciembre de 2015. 500 MW fueron otorgados a **SunEdison** (su parte fue adquirida por **Greenko** tras la quiebra de la estadounidense) y 350 MW a **Softbank Energy**, 100 MW a **Azure Power** y 50 MW a **Adani Power**.





Figura N° 4: Longyangxia Hydro- Solar PV Station. 850 MW. China<sup>19</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta solar de Longyangxia, situada en la provincia china de Qinghai, es la estación más grande de tecnología mixta hidro-solar del mundo, fue diseñada y construida íntegramente por **Powerchina**, y conectada a la red eléctrica del coloso oriental hace poco más de un mes.

La central hidroeléctrica cuenta con una capacidad de 1 280 MW de potencia. Los trabajos en la estación fotovoltaica **Longyangxia Solar Park** comenzaron el 25 de marzo de 2013, en el Parque Industrial de Gonghe, cubriendo un área de 9,16 kilómetros cuadrados, es el de mayor

---

<sup>19</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

inversión en tecnología hidro-solar fotovoltaica y se espera que suministre 483 GWh anuales a la red eléctrica china.

En diciembre de 2015 fue completada la segunda fase de 530 MW de potencia, que sumados a los 320 MW de la primera fase, dan un total de 850 MW que convierten a Longyangxia en la segunda mayor planta fotovoltaica del mundo a día de hoy.



Figura N° 5: Planta fotovoltaica de Kamuthi. 648 MW. India<sup>20</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

**Kamuthi Solar Power Project** es una planta solar fotovoltaica ubicada en Kamuthi , a 90 km de Madurai, en el estado de Tamil Nadu , India, y ha sido realizada por **Adani Green Energy**, perteneciente a **Adani Group**. La planta tiene una **capacidad de generación de 648 MW**, que la convierten **en la planta más grande de la India** y la tercera mayor del mundo, y se

---

<sup>20</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

completó el pasado 21 de septiembre, aunque empezó a generar energía el pasado mes de junio, cuando **ABB** conectó a la red los primeros 360 MW.

La planta solar, en la que **se han invertido 4 550 millones de rupias (alrededor de 70 millones de euros)** se compone de 2,5 millones de módulos solares y 27 000 Mt de estructuras. La instalación cuenta con 576 inversores, 154 transformadores y casi 6 000 kilómetros de cables.

Los paneles solares ocupan una superficie de 514 hectáreas. En la construcción de la planta se han utilizado 30 000 toneladas de acero galvanizado y han participado 8 500 trabajadores que han construido la planta en un tiempo récord de ocho meses, habiendo momentos en que se construían 11 MW en un solo día. La energía producida se suministrará a **Tamil Nadu Generation & Distribution Corporation** a un precio estipulado de 11 centavos el kWh.



Figura N° 6: Solar Star Solar Farm I y II. 597 MW. Estados Unidos<sup>21</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

---

<sup>21</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Solar Star es una central fotovoltaica de 597 MW ubicada en las proximidades de Rosamond, California. Consta de dos fases: la primera, de 318 MW, y una segunda de 279 MW. La planta fue finalizada en junio de 2015, y es actualmente la cuarta planta solar más grande del mundo en términos de capacidad instalada, con 1,7 millones de paneles solares fabricados por **SunPower** y repartidos sobre una superficie de alrededor de 13 kilómetros cuadrados (3.200 acres). La planta es propiedad de **MidAmerican Solar**, una filial del grupo **MidAmerican Renewables**.

En comparación con otras plantas fotovoltaicas de tamaño similar, Solar Star utiliza un número más pequeño (1,7 millones) de paneles de eficiencia más alta, montados sobre seguidores de eje único. En contraste, las plantas fotovoltaicas Desert Sunlight y el Topaz Solar Farm (de 550 MW cada una) utilizan un número mayor (aproximadamente 9 millones) de módulos fotovoltaicos de telururo de cadmio en lugar de la tecnología cristalina fotovoltaica de silicio convencional, repartidos en un área más grande (alrededor de 25 kilómetros cuadrados). En cualquier caso, ambos tipos de instalaciones son comercialmente viables.





Figura N° 7: Copper Mountain. 552 MW. Estados Unidos<sup>22</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta fotovoltaica **Copper Mountain Solar** tiene una capacidad instalada de 552 MWp gracias a los 94 MW de la cuarta fase ultimada el año pasado y está ubicada en Nevada. La compañía propietaria de la instalación, **Sempra Generation**, anunció el 1 de diciembre de 2010, cuando entró en funcionamiento la primera fase del proyecto, que era la planta fotovoltaica más grande de los EEUU, con una potencia instalada de 58 MW. La producción anual de Copper Mountain Solar es de 1000 GWh. La producción de la fase 1 fue vendida a **Pacific Gas & Electric** en virtud de un acuerdo de compra de energía a 20 años (PPA). La energía generada a partir de la fase 2 ha sido vendida a la misma compañía en virtud de otro acuerdo

---

<sup>22</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

de compra de energía a 25 años (PPA). La energía generada de las fases 3 y 4 se vende a la **Southern California Public Power Authority**.

Copper Mountain Solar 3 es la tercera fase del complejo Copper Mountain Sola, con 250 MW y fue realizada por **Cupertino Electric**, aunque es propiedad y fue desarrollada en Boulder City por **Sempra US Gas & Power** y **Consolidated Edison Development**.

La fase 3 del proyecto es uno de los mayores desarrollos fotovoltaicos llevados a cabo en los EEUU, ocupa una potencia instalada de 250MW que, unida a la de las dos fases anteriores y a los 94 MW de la cuarta, da un total de 552 MW. Sempra US Gas & Power es su propietaria, mientras que Cupertino Electric y **Amec Foster Wheeler** se asociaron para desarrollar conjuntamente el proyecto, encajando más de un millón módulos fotovoltaicos terrestres de inclinación fija.



Figura N° 8: Desert Sunlight Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos<sup>23</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta fotovoltaica **Desert Sunlight** tiene una capacidad instalada de 550 megavatios (MWAC) y está ubicada aproximadamente a seis millas al norte de Desert Center, California, en el desierto de Mojave. La planta tiene aproximadamente 8,8 millones de módulos de teluro de cadmio procedentes de las fábricas de película delgada de la estadounidense **First Solar**. A partir de su inauguración en febrero de 2015, la planta solar cuenta con la misma capacidad instalada -550 MW- que Topaz Solar Farm, planta ubicada en la región central de Carrizo, en California, por lo que ambas están empatadas en el sexto lugar de la clasificación de las plantas solares operativas más grandes por capacidad instalada.

---

<sup>23</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La construcción del proyecto se llevó a cabo en dos fases, las cuales estuvieron apoyadas en sendos acuerdos de compra de energía a largo plazo (ppa). La fase I tiene una capacidad de 300 MW, cuya producción se vende a la compañía **Pacific Gas & Electric Company**. La fase II tiene una capacidad de 250 MW, cuya producción se vende a **Southern California Edison**. El desarrollo del proyecto generó más de 550 trabajos en el condado de Riverside, California durante su construcción.

El proyecto está radicado en un terreno de más de 16 km<sup>2</sup> en las proximidades de Desert Center, junto al Parque Nacional Joshua Tree. La construcción comenzó en septiembre de 2011 y la conclusión final fue en enero de 2015. Los créditos de 1 460 millones de dólares comprometidos en el proyecto están parcialmente garantizados por el Departamento de Energía de EEUU y están financiados por un grupo de inversores liderado por **Goldman Sachs Lending Partners**, que han presentado el proyecto en el marco del Programa de Asociación de Instituciones Financieras (FIPP), y **Citigroup Global Markets Inc.** como colíder de la operación.





Figura N° 9: Topaz Solar Farm. 550 MW. Estados Unidos<sup>24</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

**MidAmerican Solar**, compañía de la que es dueño desde febrero de 2012 el legendario empresario y multimillonario **Warren Buffett**, puso en funcionamiento en 2014, en la localidad de San Luis Obispo, California, la planta solar hasta entonces más grande y de mayor potencia del mundo: Topaz Solar Farm. La planta ocupa una superficie de 26 kilómetros cuadrados que acoge a un total de 9 millones de paneles fotovoltaicos de First Solar con una potencia de 550 MW.

La planta, en la que se invirtieron 2.500 millones de dólares es capaz de suministrar energía a un total de 160.000 hogares, ahorra un total de 377 000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> al año, equivalentes a lo que contaminan 73 000 vehículos en la carretera. Las operaciones y el mantenimiento

---

<sup>24</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

de Topaz, seguirán corriendo a cargo de **First Solar**, y la producción irá íntegramente a **Pacific Gas & Electric**, con la que la compañía firmó un contrato (ppa) de 25 años de duración. La que fuera hace dos años la mayor planta fotovoltaica del mundo, hoy comparte la sexta plaza con Desert Sunlight.



Figura N° 10: Mesquite Solar Project. 400 MW. Estados Unidos<sup>25</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Mesquite Solar es un proyecto fotovoltaico de **Sempra US Gas & Power** que cuando esté finalizado tendrá 700 MW de capacidad pero que a día de hoy solo cuenta con 400 MW conectados repartidos en tres fases. La

---

<sup>25</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

planta se está construyendo en Arlington , Condado de Maricopa , Arizona , propiedad de Sempra Generation .

La fase 1 de Mesquite Solar, de 150 MW, se conectó en enero de 2013. Esa fase, en la que se invirtieron 600 millones de dólares fue realizada con 800.000 paneles solares de **Suntech Power** . El EPC contratista fue **Zachry Holdings**. Sempra Generation firmó en su momento un acuerdo de compra de energía (PPA) a 20 años con Pacific Gas and Electric Company (PG & E) para los 150 MW de Mesquite 1.

Las fases 2 (100MW) y 3 (1 50MW) fueron terminadas en diciembre de 2016. El cliente de la segunda fase es Southern California Edison, mientras que la generación de la tercera fase va íntegra al Departamento de la Armada de Estados Unidos.



Figura N° 11: Quaid-e-Azam Solar Park. 400 MW. Pakistán<sup>26</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

<sup>26</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>



El parque fotovoltaico de Quaid-e-Azam (QASP), que toma el nombre del fundador de Pakistán, no es sólo un gran proyecto sobre el papel, sino una realidad que cuenta en la actualidad con 400 megavatios de capacidad, y que cuando el proyecto esté terminado, en 2017, cubrirá una superficie de 500 hectáreas, dispondrá de un total de 5,2 millones de células fotovoltaicas con una potencia de 1 000 MW, con capacidad para abastecer electricidad a 320.000 hogares tipo. Además, la planta también reducirá la huella de carbono de Pakistán, dijo Najam Ahmed Shah, el director ejecutivo de QASP, ya que se quemarán 57 500 toneladas menos de carbón y se reducirán las emisiones en 90 750 toneladas al año.

El proyecto se está realizando en el desierto de Cholistan, en Punjab, Pakistán, una de las zonas del mundo con mayor irradiación solar. La zona recibe 13 horas de luz solar al día, mientras que la enorme extensión de desierto plano es ideal para un proyecto comercial grande como éste.

La primera fase del proyecto fue construida por la compañía china **SunOasis** en sólo tres meses, con un costo de alrededor de 130 millones de dólares y está operativa desde este pasado verano. El parque fotovoltaico Quaid-e-Azam es el primer gran proyecto de energía que se construirá bajo el programa 'China-Pakistan Economic Corridor', dotado con 46 000 millones de dólares.

La empresa china, **Zonergy**, ha sido la encargada de la construcción de la segunda fase de la instalación del parque de Quaid-e-Azam. Pakistán pretende reducir su dependencia de los combustibles fósiles a alrededor del 60 % para el 2025 desde el 87 % actual. El país cuenta con un objetivo de renovables establecido en el 10 % de su mix energético total, sin contabilizar

la energía hidroeléctrica, que cubre un 15 % de la demanda en la actualidad. Un objetivo ambicioso teniendo en cuenta que Pakistán parte de una cuota renovable de entre el 1 % y el 2 %.



Figura N° 12: Planta fotovoltaica Ningxia Yanchi Fase I. 380 MW. China<sup>27</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

El pasado mes de junio, **Minsheng New Energy**, filial de energía del mayor grupo inversor chino, **China Minsheng Investment Group (CMIG)**, había finalizado y conectado a la red los primeros 380 megawattios (MW) de una megaplanta fotovoltaica de 2 000 MW que está construyendo por fases en la región del noroeste del país Ningxia.

---

<sup>27</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Cuando esté finalizado, el proyecto estará compuesto de unos seis millones de paneles solares que cubrirán una extensión de 4 607 hectáreas. Será la mayor planta solar del mundo y en ella se va a efectuar una inversión estimada de 2 340 millones de dólares. Se espera que el proyecto cuando esté terminado genere 2 730 millones de kilovatios-hora de electricidad al año.



Figura N° 13: Charanka Solar Park. 345 MW. India<sup>28</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Se trata del segundo mayor parque fotovoltaico de la India. Su construcción se inició el 3 de diciembre de en 2010 sobre una extensión de 2.000

---

<sup>28</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

hectáreas. Se halla situado en el distrito de Patan, y en la actualidad cuenta con una potencia instalada en generación de 345 MW, aunque está planificada para que llegue a los 500 MW de potencia.

Se trata de la instalación más importante dentro de Parque Gujarat, que alberga 19 diferentes proyectos de distintos desarrolladores. El 19 de abril de 2012, alcanzó los 214 MW de potencia, convirtiéndose en ese momento en la segunda planta de energía fotovoltaica más importante del mundo y lo que el año pasado le permitió figurar en el sexto puesto de este ranking y ahora en el octavo. **El coste de la inversión del Charanka Solar Park ascendió a unos 280 millones de dólares.**



Figura N° 14: Planta fotovoltaica de Cestas. 300 MW. Francia<sup>29</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta fotovoltaica de **Cestas, de 300MW**, es la última en incorporarse a este ranking. La planta comenzó a funcionar a principios de diciembre de 2015, cubre una extensión de 250 hectáreas cerca de la ciudad francesa de



Burdeos y tiene una potencia instalada de 300 MW, lo que la acredita como la planta más grande de Europa.

Desarrollado por **Neoen** con un coste de 360 millones de euros, Cestas venderá su energía solar a un precio de 105 euros MWh durante los próximos 20 años, precio que está a la par con el de la energía eólica y es más barato que el coste de la nueva energía nuclear, según ha confirmado el presidente de Neoen, Xavier Barbaro.

La planta se compone de 25 subplantas de 12 MW y fueron conectadas a la red a través de un consorcio de colaboradores, la mayoría de ellos del país, entre las que sobresalen la empresa de infraestructuras gala **Eiffage** y **Schneider Electric**.

Los 300 MW de potencia instalada suponen, con toda probabilidad, que sea la instalación más grande del viejo continente, y a buen seguro que ayudará a impulsar a Francia a conseguir su objetivo de completar 1 GW de nuevas instalaciones fotovoltaicas en este año, lo que le permitiría igualar los registros logrados en 2016 y 2017, según las proyecciones de **Bloomberg New Energy Finance** (BNEF).





Figura N° 15: 13. Agua Caliente Solar Project. 290 MW. Estados Unidos<sup>30</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

### **First Solar~Agua Caliente, Yuma, AZ**

El **Proyecto Solar de Agua Caliente** se sitúa en el Condado de Yuma, en Arizona, Estados Unidos. La planta tiene una capacidad instalada de 290 MW, de los cuales 250 MW se encuentran conectados a la red, generando 626,2 GWh de energía al año, cifra que aumentará cuando alcance su plena capacidad de producción.

La planta incluye tres clases de paneles de capa fina con capacidad de 75 a 77 W cada uno. Así mismo, se situó en un ángulo de inclinación fija los paneles CdS/CdTe, requiriendo el proyecto de la instalación de más de 400 inversores SMA 720CP. La energía generada es distribuida por **Pacific Gas & Electric**, en virtud de un acuerdo de compra de energía a 25 años. **NRG**

---

<sup>30</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

**Energy** adquirió los derechos de propiedad sobre el proyecto solar después de su puesta en venta por **MidAmerican Renewables**.



Figura N° 16: Antelope Valley Solar Ranch. 266 MW. Estados Unidos<sup>31</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

El **Antelope Valley Solar Ranch** es una planta de 266 MW de potencia fotovoltaica cerca de Lancaster, en Antelope Valley, en el oeste del desierto de Mojave, en el sur de California. El proyecto fue desarrollado por First Solar y más tarde comprado por Exelon Corporation en 2011. La planta ha entrado completamente en producción a finales del año pasado.

En septiembre de 2011, el Departamento de Energía de Estados Unidos emitió una garantía de préstamo de 646 millones para apoyar la construcción del proyecto, en el que finalmente se han invertido 1,360

---

<sup>31</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>



millones de dólares. La planta cuenta con aproximadamente 3,8 millones de paneles solares, alrededor del 20 % de los cuales se han montado en bastidores de seguimiento de un solo eje. La planta genera 623 GWh al año, equivalente al consumo de 75 000 hogares, y ahorra 140 000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>. La energía generada por Antelope Valley es adquirida por **Pacific Gas & Electric Company** en virtud de un acuerdo de compra de energía a 25 años de duración.



Figura N° 17: 15. Mount Signal Solar. 265,7 MW. Estados Unidos<sup>32</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta fotovoltaica **Mount Signal Solar** ocupa una extensión de 801 hectáreas y tiene en la actualidad una potencia instalada de 206 MW. El

---

<sup>32</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

parque está ubicado en Calexico, en el Condado de Imperial, en el estado de California. De hecho, inicialmente se le conocía por el nombre de Imperial Valley Solar. El parque es propiedad de **Silver Ridge Power** y suministra electricidad a **San Diego Gas & Electric** mediante un contrato de 25 años de duración.

La planta fue construida por la española **Abengoa** y está operativa desde mayo de 2014. La instalación tiene más de tres millones de paneles solares que están montados sobre un rastreador de un solo eje y requirió una inversión superior a los 365 millones de dólares. La planta genera suficiente energía solar para abastecer a 72 000 hogares en San Diego y sus alrededores. Se prevé que el parque se amplíe en dos fases más para aumentar su capacidad hasta los 600 MW



Figura N° 18: Springbok Solar Farm. 260 MW. Estados Unidos<sup>33</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

---

<sup>33</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>



La planta solar de Springbok está situada en el desierto de Mojave, al este del condado de Kern, en California. El proyecto que está desarrollando **8minute energy** tendrá una capacidad de 350 MW cuando se acaba la tercera fase de 90 MW que la compañía inicia ahora tras firmar un acuerdo de compraventa de energía a largo plazo (PPA) con **Southern California Public Power Authority (SCPPA)**.

Hasta el momento la planta cuenta con una capacidad de 260 MW repartidos en dos fases. La primera, de 105 MW, se finalizó en julio de 2016. La segunda fase, de 155 MW, se completó en septiembre. La suma de las tres fases, cuando estén terminadas, generará suficiente energía limpia y renovable para atender a más de 152000 hogares. La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se evitarán es comparable a la eliminación de casi 150 000 coches de las carreteras.



Figura N° 19: 17. California Valley Solar Ranch. 250 MW<sup>34</sup>

Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

<sup>34</sup> <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

La planta California Valley Solar Ranch se encuentra, como el Topaz Solar Farm, en el Condado de San Luis Obispo, California. La construcción de la planta de energía solar fotovoltaica de 250 MW comenzó en 2011, quedando el proyecto en pleno funcionamiento desde junio de 2013. Como resultado, la planta genera en la actualidad 684 GWh anuales de energía, suministrando electricidad a más de 100.000 hogares.

Las instalaciones, propiedad de **NRG Energy**, cubren un total de 795 hectáreas, contando con 88.000 paneles fotovoltaicos cristalinos (PV) con tecnologías **SunPower Tracker**, cuya energía generada es distribuida por **Pacific Gas & Electric** bajo un acuerdo de compra para los próximos 25 años. Los ingenieros de SunPower fueron los encargados de proveer toda la ingeniería, procura y construcción (EPC) para el proyecto.

#### **2.2.2.2. Energía solar en Perú<sup>35</sup>**

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>; 5,0 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.

---

<sup>35</sup> <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar. El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente Arequipa y Puno, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos. No obstante, aún es amplio el camino a recorrer para masificar el uso de paneles solares tanto para áreas urbanas como rurales destinados al uso térmico el cual implicaría menor consumo de la red eléctrica en los hogares (una terma eléctrica es uno de los principales consumidores de energía eléctrica en un hogar). Asimismo, su uso no se limitaría a lo domestico sino también podría incluirse en usos productivos como secadores de granos para la agricultura (en la zona sur la producción de granos andinos como kiwicha, quinua, kañihua es alta) así como para como la potabilización de agua en aquellas zonas que lo requieran.

Otro ámbito donde existen avances es en la provisión de electricidad a las zonas rurales. Según datos del 2011, el 16 % población peruana no tiene electricidad en sus casas, cifra que se eleva a 22 % en las zonas rurales. Según la Dirección General de Electrificación Rural aún existen cerca de 500 000 hogares ubicados en zonas rurales que quedarían sin ser atendidos por los programas públicos de electrificación. El Plan de Electrificación Nacional de Electrificación Rural cerca de 345 823 hogares deberán ser cubiertos con módulos fotovoltaicos en espacios rurales.

Entre los proyectos existentes está el financiado por el Banco Mundial, el Global Environment Facility – GEF y el MEM que ya ha subvencionado la provisión de electricidad a 2 216 hogares con sistemas fotovoltaicos pilotos. Asimismo, dentro de este esquema existiría en cartera otro subproyecto para llegar a 7 000 hogares más. Otro programa es Euro Solar, que provee 130 pequeñas centrales de energía híbrida (eólico-solar) destinadas a abastecer de energía a postas, colegios y locales comunales rurales. Asimismo, el programa Luz para Todos del Gobierno Central contempla que cerca de 11 640 nueva localidades con servicio eléctrico serán atendidas con fuentes renovables siendo una buena parte de ellas a través de sistemas fotovoltaicos. Entre las opciones para la electrificación rural están los sistemas fotovoltaico domiciliario (SFD). La empresa estatal ADINELSA, encargada de la promoción de la electrificación rural en áreas no concesionadas, ya posee más 1500 SFDs operativos en el sur del país.

El tercer ámbito de desarrollo, y el más promisorio, es el que ha surgido con la concesión de las 4 centrales solares que se enlazarán al Sistema Eléctrico Nacional (SEIN) luego de la primera subasta de suministro de electricidad de Recursos Energéticos Renovables (RER) llevada a cabo por el Ministerio de Energía y Minas. Las compañías españolas T-Solar Global y Solarpac Corporación Tecnológica son las que construirán estas cuatro centrales fotovoltaicas, con una potencia conjunta de 80 megavatios (mw). Estas empresas han firmado contratos con el Gobierno Peruano que les permite asegurar la venta



de electricidad producida de fuentes solares durante un lapso de 20 años. Según Juan Laso, Director General de T Solar, esta adjudicación le permitirá “incrementar la cartera de proyectos en fase de desarrollo de T-Solar, que suman una potencia superior a los 650 MW”.

Como vemos, el sector de la energía solar va desde pequeñas instalaciones familiares hasta grandes proyectos de centrales solares. Es interesante que los avances, en este último caso, generen el desarrollo tecnológico y la difusión de esta fuente de energía renovable en el país. Una característica primordial de la energía solar es su capacidad para adecuarse a proyectos de mediana y pequeña envergadura para usuarios individuales. Por ejemplo, en ámbitos urbanos se pueden desarrollar instalaciones fotovoltaicas que se integren a grandes superficies expuestas como estacionamientos, edificios, marquesinas. De hecho, la T –Solar ya desarrolla proyectos de este tipo en España. Este tipo de innovaciones permite acercar la producción de electricidad al punto de consumo evitando pérdidas durante el transporte y además de reemplazar el consumo de energía eléctrica de la red nacional y ahorrar costos a quienes la implementan.

No cabe duda de que las opciones de uso de la energía solar son grandes. Lamentablemente, aún existe desconocimiento de aquellos sectores que pueden aprovecharlo más intensamente. Desarrollar este subsector energético sería crucial ya que es una de las mejores opciones para cambiar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero.

### **2.2.2.3. El efecto fotovoltaico como base de la tecnología solar<sup>36</sup>**

El efecto fotovoltaico es el efecto fotoeléctrico caracterizado por la producción de una corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a la luz o, en general, a una radiación electromagnética.

Este efecto fotovoltaico constituye el principio de las células fotovoltaicas y es, lo tanto, fundamental para la producción de electricidad mediante energía solar.

Los materiales semiconductores (como el silicio) tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad. El comportamiento de los semiconductores depende de si una fuente energética externa los excita o no. Esta fuente energética sería la radiación solar.

El efecto fotovoltaico se inicia en el momento en el que un fotón impacta con un electrón de la última órbita de un átomo de silicio. Éste último electrón se llama electrón de valencia y recibe la energía con la que viajaba el fotón. el fotón no es otra cosa que una partícula de luz radiante.

Si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo (energía de valencia), este sale de su órbita y queda libre

---

<sup>36</sup> <https://solar-energia.net/definiciones/efecto-fotovoltaico.html>

del átomo y, por tanto, puede viajar a través del material. En este momento, diríamos que el silicio se ha hecho conductor (banda de conducción) y, para hacer esto, hace falta que la fuerza de impacto de un fotón sea, como mínimo, de 1,2 eV

Cada electrón liberado deja atrás un agujero, o espacio libre, hasta que lo ocupe un electrón que ha saltado de otro átomo. Estos movimientos de los electrones liberados o de los espacios que dejan atrás es lo que se llaman cargas eléctricas.

Esta corriente de cargas puede alcanzar los contactos y salir del material con el fin de realizar un trabajo útil. Para que esto suceda de manera constante y regular, es necesario que exista la presencia de un campo eléctrico de polaridad constante. Este campo polariza las partículas y actúa como una verdadera bomba que impulsa los electrones en un sentido y, los hoyos, en el opuesto.

En las células solares convencionales, el campo eléctrico (0,5 V) se forma gracias a una unión P-N, es decir, una zona del material tiene exceso de electrones (carga negativa), mientras que la otra tiene carencia de ellos (carga positiva), de modo que al ser liberado un electrón es impulsado a través del material hasta los conductos de plata, de baja resistividad.

Si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo (energía de valencia), este sale de su órbita y queda libre del átomo y, por tanto, puede viajar a través del material. En este momento, diríamos que el silicio se ha hecho conductor (banda de

conducción) y, para hacer esto, hace falta que la fuerza de impacto de un fotón sea, como mínimo, de 1,2 eV.

Los fotones correspondientes a longitudes de onda pequeñas (radiación ultravioleta) son más energéticos (de 2 a 3 electronvoltios) que los correspondientes a longitudes de onda mayores (radiación infrarroja).

Cada material semiconductor tiene una energía mínima que permite liberar electrones de sus átomos. Esta energía corresponderá a fotones de una determinada banda de frecuencias (gap) que irá desde los asociados a la ultravioleta hasta los colores visibles, salvo del rojo que ya tiene una energía asociada inferior de los 1,2 electronvoltios.

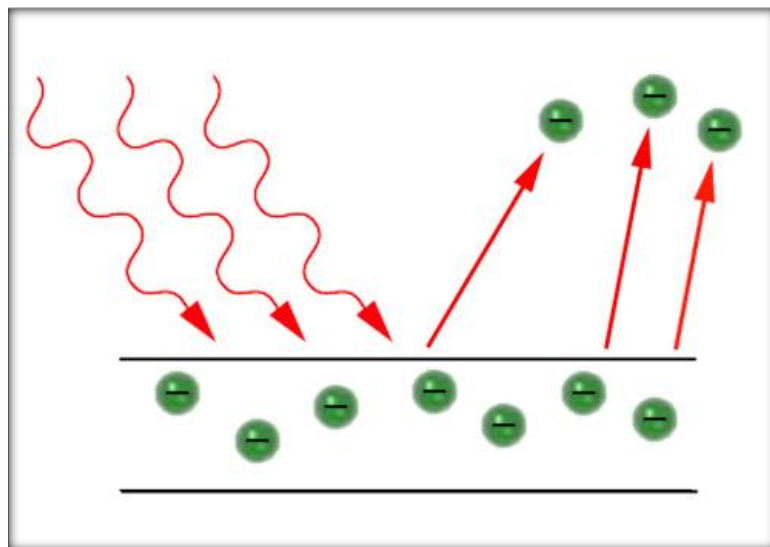


Figura N° 20: Liberación de electrones<sup>37</sup>

No todos los fotones alcanzan el objetivo de separar electrones. Esto se debe a que atravesar el material implica siempre una cierta pérdida energética. Esta pérdida energética implica que en el momento de la

<sup>37</sup> <https://solar-energia.net/definiciones/efecto-fotovoltaico.html>

colisión algunos fotones ya han perdido la demasiada energía para desplazar un electrón. Estas pérdidas por no-absorción sólo dependen de las propiedades del material y son inevitables.

Asimismo, hay un porcentaje de fotones que llegan a atravesar la lámina de semiconductor sin toparse con ningún electrón y de otros que iluminan la superficie del material y son reflejados (pérdidas por reflexión). Estas pérdidas se pueden reducir a través de tratamientos anti reflejos de la superficie de la célula fotovoltaica. En estos casos no se produciría el efecto fotovoltaico.

Sólo se consigue la generación de un par electrón-hueco por cada fotón con energía cinética superior a la mínima energía (gap) que logre penetrar en el material y tope con un electrón de valencia.

#### **2.2.2.4. Células fotovoltaicas**

Una **célula fotoeléctrica**, también llamada **celda, fotocélula o célula fotovoltaica**, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) está alrededor del 16 %, pero según la tecnología utilizada varía desde el

6% de las células de silicio amorfo hasta el 22 % de las células de silicio monocristalino. También existen las células multicapa, normalmente de arseniuro de galio, que alcanzan eficiencias del 30 %. En laboratorio se ha superado el 46 % con células experimentales.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable<sup>38</sup>.



Figura N° 21: Célula solar monocristalina durante su fabricación<sup>39</sup>

### **Tipos de células fotovoltaicas**

Podemos encontrar en el mercado numerosos módulos fotovoltaicos. Estos están formados por distintos tipos de células fotovoltaicas, con diferentes tamaños, precios y tecnologías. La mayoría de ellos se fabrican a partir de Silicio, sin embargo, en los últimos años, el

---

<sup>38</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_fotoel%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica)

<sup>39</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_fotoel%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica)

desarrollo de industria fotovoltaica ha permitido que algunos fabricantes centren sus esfuerzos en buscar otras tecnologías con el fin de reducir costes y mejorar la eficiencia. A pesar de estos esfuerzos, el mercado sigue "inundado" de paneles de Silicio en sus distintos tipos (monocristalinos, policristalinos, amorfos, etc.)

A continuación, se muestran los principales tipos de células que componen la gran mayoría de módulos fotovoltaicos (se estima que alrededor del 90% de los módulos fabricados son de Silicio)

### **SILICIO MONOCRISTALINO (M-SI)**

Está constituido por un único cristal de silicio con estructura



Figura N° 22: Célula de Silicio monocristalino<sup>40</sup>

muy uniforme obtenido mediante el método Czochralski. Se trata de un material de alta pureza que garantiza un rendimiento superior al resto de tecnologías debido a que los átomos de silicio están perfectamente alineados facilitando así la conductividad. Su proceso de fabricación requiere un elevado gasto energético y coste, sin embargo, la madurez

---

<sup>40</sup> <https://helioesfera.com/fotovoltaica/tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>

de esta tecnología ha supuesto que en los últimos años mejoren los procesos productivos, reduciendo costes e incrementando la eficiencia.

estas células son reconocibles por tener un color homogéneo azul oscuro y de forma octogonal.

#### VENTAJAS:

*Mayor rendimiento, 18-25 %.*

Mayor vida útil.

Funcionan mejor con baja radiación solar.

#### DESVENTAJAS:

Peor coeficiente térmico, es decir, bajan más el rendimiento con el incremento de temperatura ambiente.

Son más caros. El proceso de fabricación es más lento y costoso.

Peor comportamiento de una instalación en caso de sombras parciales.

Hay un gran derroche de silicio en el p

#### **SILICIO POLICRISTALINO (P-SI)**

Está formado por muchos cristales de silicio. En su fabricación se vierte el silicio en moldes cuadrados, por lo que no es necesario biselarlos como los monocristalinos. Su proceso de fabricación es más económico pero su rendimiento también es algo menor. Estas células son reconocibles por tener una superficie y color irregular además de ser células totalmente cuadradas.



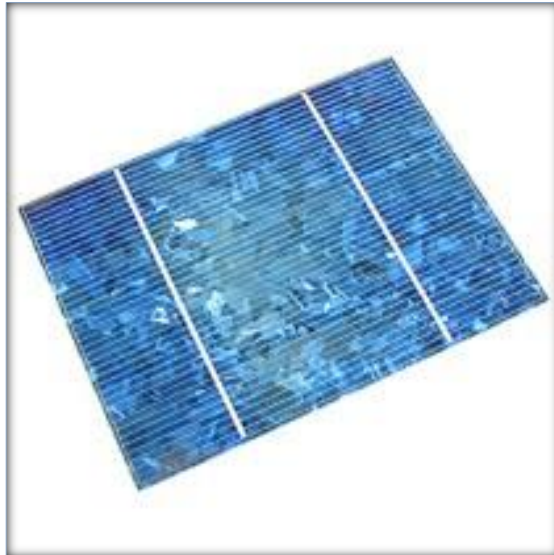


Figura N° 23: Célula de silicio policristalino<sup>41</sup>

#### **VENTAJAS:**

Proceso de fabricación más sencillo y económico que los monocristalinos.

Se desperdicia menos silicio.

Mejor coeficiente térmico, es decir, mejor comportamiento frente al incremento de temperatura.

#### **DESVENTAJAS:**

Menor rendimiento, 16-20 %

Necesitan disponer de más superficie para una misma potencia debido a su menor rendimiento.

---

<sup>41</sup> <https://helioesfera.com/fotovoltaica/tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>

Peor rendimiento que el monocristalino en condiciones de baja radiación solar.

#### 2.2.2.5. El panel solar<sup>42</sup>

Las células fotovoltaicas, monocristalinas y policristalinas, son conectadas en serie o en paralelo para alcanzar el voltaje de salida requerido por el panel solar, de 12 ó 24V. Una célula solo puede proporcionar un voltaje de alrededor de 0,5 V y una potencia máxima de 1 ó 2 W. La conexión de las células se efectúa por soldadura, se une el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente (Fig. 24). Un panel de 12 V nominales requiere de 30 a 40 células, según las características que tengan éstas.

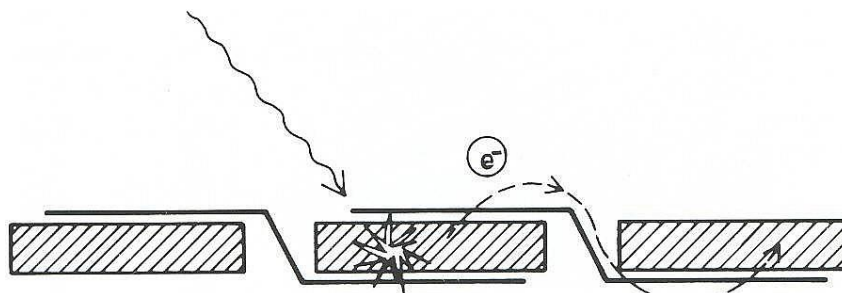


Figura N° 24: Unión de células en un panel solar<sup>43</sup>

Realizadas las conexiones eléctricas, las células son encapsuladas en una estructura tipo sándwich, que consiste en una lámina de vidrio

<sup>42</sup> Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

<sup>43</sup> Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

templado, otra de un material orgánico como el acetato de etileno-vinilo (EVA), las células, otra capa de sustrato orgánico y finalmente una cubierta posterior compuesta por varias láminas de polímeros u otro vidrio (Figura N° 25). Este encapsulado tiene variaciones entre fabricantes. El sellado al vacío y la encapsulación se hace en un horno especial. El perímetro del panel se cubre con neopreno u otro material que lo aisle de las partes metálicas del marco soporte de aluminio anodizado o acero inoxidable.

Dentro de lo que es control de calidad, el panel solar es sometido a pruebas como ciclos térmicos que varían desde  $-40$  a  $90^{\circ}\text{C}$ , ciclos de humedad y congelación y pruebas de vientos fuertes junto con su estructura. Los paneles pueden tener formas cuadradas o rectangulares, con superficies de  $0,1\text{ m}^2$  hasta  $1\text{ m}^2$ . El espesor de un panel sin incluir el marco protector no sobrepasa los 3 cm.

En cuanto al peso, los paneles son relativamente ligeros, por ejemplo, un panel de  $0,5\text{ m}^2$  puede pesar entre 6 a 7 kg. Comercialmente en el rango de los 100W existen paneles solares con potencias máximas o pico de 50W, 75W, 100W, 120W.

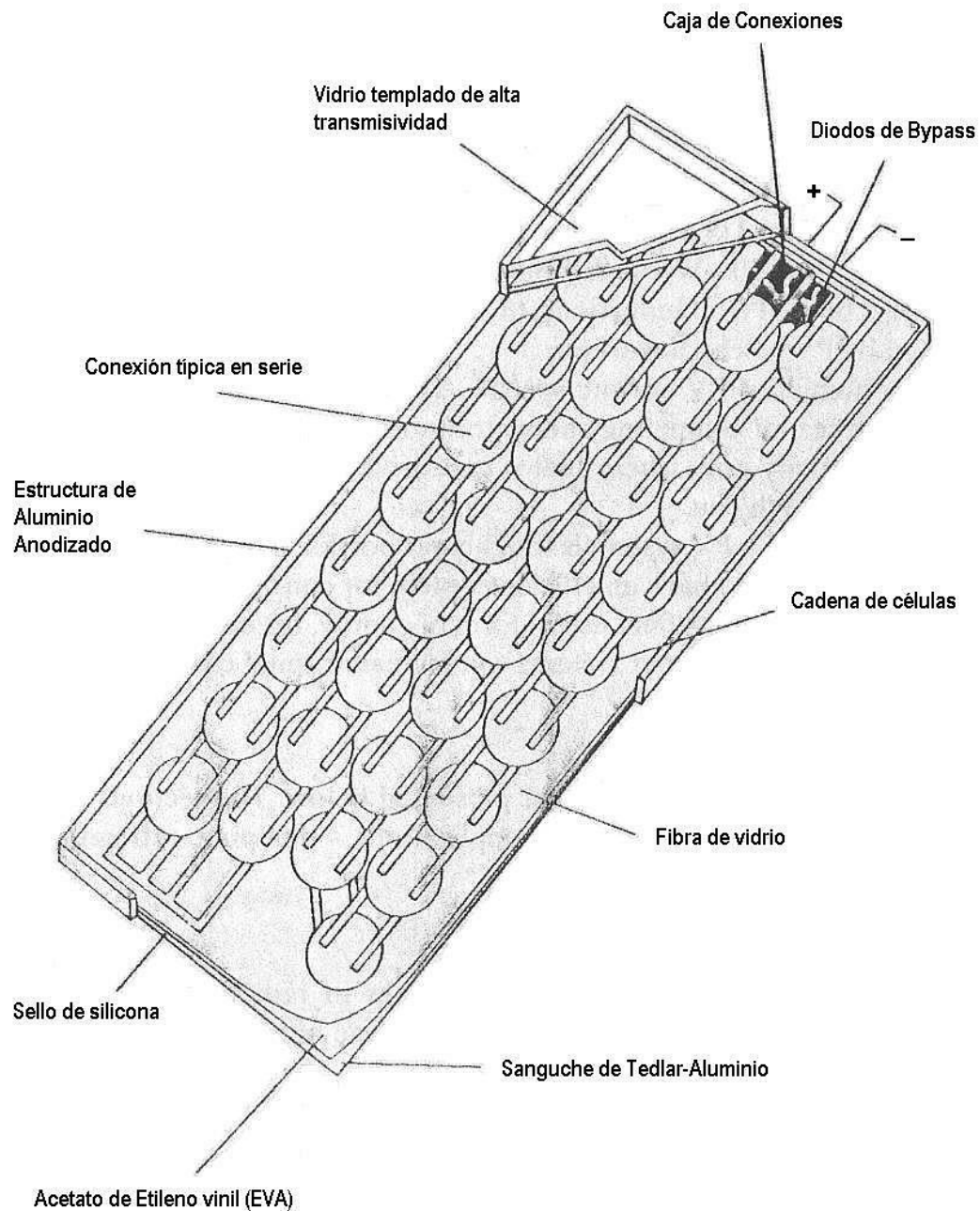


Figura N° 25: Esquema de un panel solar con sus células<sup>44</sup>

<sup>44</sup> Hualpa Mamani, Maimer Tomas. «Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico– solar en el departamento de Moquegua.» Lima, 2006.

### **2.2.3. La energía eólica**

#### **2.2.3.1. Situación actual de la energía eólica<sup>45</sup>**

Según las últimas cifras de Bloomberg New Energy Finance (BNEF), las inversiones en energía limpia durante el segundo trimestre de 2017 alcanzaron los 64 800 millones de dólares en todo el mundo. 21% más que en el primer trimestre. De esa cantidad, la energía eólica representó US \$ 26 200 millones en nuevas inversiones en el segundo trimestre.

#### **Energía eólica 2017 en Estados Unidos**

En los principales mercados individuales, hay cerca de 14 GW de capacidad eólica en construcción. La industria eólica de Estados Unidos comienza a desarrollar la enorme línea de proyectos que calificaron el año pasado para el crédito tributario de producción total. Según nuevas estadísticas de la American Wind Energy Association. La cuenta del año hasta la fecha está alrededor 2,4 GW.

#### **Energía eólica 2017 en Europa e India**

En Europa, se agregó un poco más de 6 GW de capacidad de energía eólica en el primer semestre de 2017. Según cifras publicadas por WindEurope. La cifra pone a Europa en camino por un año sólido para las instalaciones. La India está teniendo un año fuerte. Es probable que exceda las cifras de instalación de 2016. A finales de junio de 2017, el

---

<sup>45</sup> <http://www.biodisol.com/medio-ambiente/energia-eolica-2017/>

mercado registró un poco más de 3,8 GW en nueva capacidad, llevando a la capacidad instalada acumulada a 32,5 GW.

### **Energía eólica 2017 en China**

China probablemente seguirá liderando la cuenta nacional en 2017 también. En enero, la Administración Nacional de Energía de China estableció un objetivo obligatorio de energía limpia. Satisfacer el 20% de las necesidades energéticas del país para el año 2030. China se ha comprometido a invertir 2,5 billones de CNY en energía renovable en 2020.

### **Energía eólica 2017 en Arabia Saudita**

Recientemente Arabia Saudita, un país productor de combustibles fósiles, se acercó un paso más hacia la construcción de su primer proyecto de energía eólica a escala de utilidad. Este paso se tomó en consonancia con el plan del país para producir el 10% de su energía de energía renovable en 2023. El Ministerio de Energía de Arabia Saudita pidió a los posibles licitadores y desarrolladores de plantas presentar sus calificaciones para construir el proyecto de 400 MW en Dumat Al Jandal en la región de Al Jouf.

### **¿Y la energía eólica marina? – Energía eólica 2017**

En el segundo trimestre de 2017, se financiaron en Europa dos grandes parques eólicos marinos. Estos incluyen los proyectos de 200 MW Borkum West II. Y 112-MW Albatros en aguas alemanas, en US \$ 918 millones y US \$ 532 millones. Otros acuerdos de alto nivel del trimestre fueron dos arreglos de energía eólica marina en China de 300 MW. A

saber, las Tres Gargantas Dafeng y las Tres Gargantas Zhuanghe, con un costo estimado en US \$ 1 800 millones.

### **La caída del precio de la energía eólica**

Según la nueva perspectiva energética de BNEF, las fuentes de energía renovables se ubicarían en casi tres cuartas partes de los US \$ 10,2 billones que el mundo invertirá en nueva tecnología generadora de energía hasta 2040. Esto ocurrirá en gran parte debido a la rápida caída de los costos y un papel creciente de las baterías. Incluidas las de vehículos eléctricos, para equilibrar la oferta y la demanda. El informe espera que el viento dé cuenta de casi el 30 por ciento de esta nueva inversión hasta 2040.

Varios expertos y publicaciones líderes del sector han estimado que el coste de producción de energía mediante el viento ha descendido a unos 100 EUR / MWh. Este precio hace que la fuente de energía sea casi tan rentable como el carbón convencional y la energía nuclear en la mayoría de los mercados.

La industria eólica offshore de Europa logró un hito varios años antes de lo previsto. Alcanzó el coste de 100 EUR / MWh. En general para la energía eólica, ha habido una rápida reducción en el precio en los últimos tres años, cayendo casi un 27 por ciento desde 2014. Algunos incluso predicen una nueva reducción en el precio. Pero este avance esperanzador depende de la localización y de la tecnología disponible de la turbina, del cable, y del convertidor.

## **Energía Eólica: Fuerte Empuje del Crecimiento de la Energía Renovable – Energía eólica 2017**

La caída en el precio de la energía eólica marca una gran victoria para la energía renovable. Esto provoca que la fuente de energía sea atractiva económicamente y ambientalmente. Lo cual es crucial para su adopción generalizada.

Es poco probable que utilicemos menos energía a medida que aumenta la población mundial y el desarrollo económico continúa. Para satisfacer la creciente demanda de energía a medio y largo plazo, la nueva generación utilizará cada vez más opciones más limpias y más ecológicas. Los avances en la energía eólica son especialmente prometedores. Establece el camino para las energías renovables creando ganancias individuales y colectivas.

### **Mirando hacia el futuro – Energía eólica 2017**

Estamos en camino para un buen año en instalaciones de capacidad eólica. Se observa casi 60 GW instalados a nivel mundial en 2017. Un 2018 más o menos plano y luego el crecimiento de nuevo a finales de la década. Para llevar las instalaciones totales a poco más de 800 GW al final De 2021. Con el mercado anual subiendo a 75 GW en ese año.

El crecimiento global continuará siendo impulsado por los mercados asiáticos. Si bien esperamos que el mercado chino en 2017 tenga mejores resultados que el año pasado, debido a la inminente reducción en los aranceles, es poco probable que repita su récord de más de 30 GW en 2015. Al menos en el mediano plazo.



### 2.2.3.2. Energía eólica en el Perú<sup>46</sup>

**ENERGÍA.** Potencial eólico aprovechable de Perú supera los 20 mil megavatios según MEM. En un reciente estudio, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) determinó que el potencial eólico total del país llega a los 20,493 megavatios (MW).

De este total, las regiones de Piura y Lambayeque concentran cerca del 69% al registrar un potencial eólico de 7,098 MW y 7,017; respectivamente. En tanto, Ica y Arequipa se ubican en las siguientes posiciones con potenciales que alcanzan los 2,280 MW y 1,020 MW; respectivamente.

Según el Atlas Eólico -elaborado por el MEM- se define como “potencial eólico total” a las zonas preferentes para la futura prospección detallada in situ y que serían de interés para la instalación de aerogeneradores o parques eólicos.

“Para este análisis, se han tomado en cuenta criterios como la densidad de potencia desde moderado a excelente a 100 metros; distribución de frecuencia del viento favorable; pendiente del terreno menor o igual al 20%; cercanía a las vías de acceso transitables; así como cercanía a los centros poblados, a las Líneas y Subestaciones de Media y Alta Tensión existentes; entre otros factores”, informó el MEM.

---

<sup>46</sup> <http://www.rumbominero.com/noticias/energia/potencial-eolico-aprovechable-de-peru-supera-los-20-mil-megavatios-segun-mem/>

Asimismo, determina que el “Potencial Eólico Aprovechable” es aquel potencial que cumple los requisitos anteriormente citados y que además se encuentran fuera de las zonas inadecuadas para la construcción de aerogeneradores y parque eólicos; vale decir, zonas arqueológicas, parques nacionales, reservas naturales, zonas históricas, áreas naturales protegidas, zonas recreacionales, etc.

### **En marcha**

Actualmente, el Perú registra un total de cuatro parques eólicos funcionando. Estos se ubican en Ica, La Libertad, Piura (Tabla N° 2).

Tabla N° 2: Parques eólicos en operación

PARQUE EÓLICO	POTENCIA INSTALADA	DEPARTAMENTO
P.E. Marcona	32 MW	Ica
P.E. Cupisnique	80 MW	La Libertad
P.E. Talara	30 MW	Piura
P.E. Tres Hermanas	97 MW	Ica

Fuente: Atlas eólico del Perú (2016)

En febrero de 2016, se resolvió la adjudicación de potencia de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), donde en primera ronda se adjudicó un proyecto eólico de 126 MW (de los 34 proyectos eólicos presentados en primera ronda) y en segunda ronda se adjudicaron dos proyectos eólicos de 18 MW cada uno (del total de los siete proyectos eólicos presentados en segunda ronda). La potencia total asignada fue de 162 MW.

Tabla N° 3: Parque eólicos adjudicados hacia el 2016

PARQUE EÓLICO	POTENCIA INSTALADA	DEPARTAMENTO
P.E. Parque Nazca	126 MW	Ica
P.E. Huambos	18 MW	Cajamarca
P.E. Duna	18 MW	Cajamarca

Fuente: Atlas eólico del Perú (2016)

### 2.2.3.3. El viento como recurso natural.

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la maremotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 100.000.000.000.000 kW-h de energía hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe  $10^{17}$  W de potencia. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las corrientes de aire son causadas por diferencias de presión en diferentes regiones del planeta debido a diferencias de calentamiento en la superficie por la radiación solar. Por ejemplo, la radiación solar absorbida por la tierra en latitudes cercanas al ecuador es mayor que en los polos. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur.

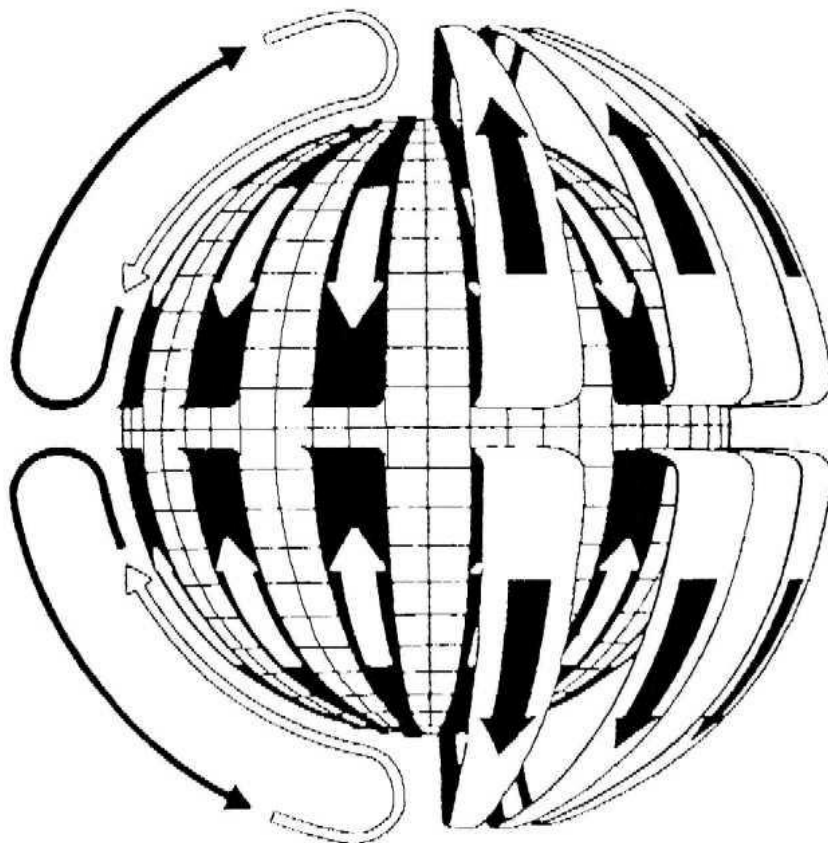


Figura N° 26: Circulación de aire a escala planetaria sin considerar la rotación de la tierra<sup>47</sup>

Si la tierra no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para luego descender y volver al ecuador. Debido a la rotación del globo, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, si se mira desde nuestra posición en el suelo (en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda). Esta aparente fuerza de curvatura es conocida como **fuerza de Coriolis** (debido al matemático francés Gustave Gaspard Coriolis 1792-1843) y tiene efecto sobre las corrientes de aire.

---

<sup>47</sup> (Hualpa Mamani 2006)

En el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj (visto desde arriba) cuando se acerca a un área de bajas presiones. En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento suba desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur. En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío.

Esto tiene como consecuencia un modelo de corrientes de aire (Figura N° 27) más complicado al mostrado en la Figura N° 26

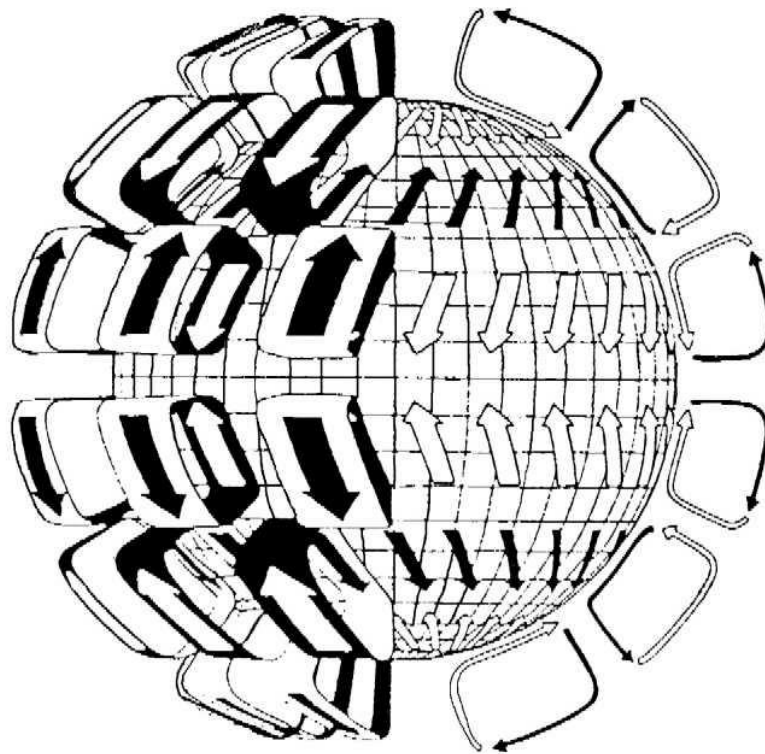


Figura N° 27: Circulación de aire considerando la rotación terrestre<sup>48</sup>

#### 2.2.3.4. Potencia en un tubo de corriente de aire y límite de Betz

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

El viento con una masa **m** que se mueve a una velocidad **v** genera energía cinética **EC** que es calculada mediante la fórmula:

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

Además, sabemos que:  $\rho = m/Vol$

<sup>48</sup> (Hualpa Mamani 2006)

Al expresar la energía cinética del viento que pasa por el área transversal **A** por unidad de tiempo obtenemos la ecuación para calcular la potencia en el viento **P**.

$$\begin{aligned}\frac{E_c}{t} &= \frac{(\rho x Vol)xv^2}{2xt} = \frac{(\rho x A x l)xv^2}{2xt} = \frac{(\rho x A)xv^2}{2} x \left(\frac{l}{t}\right) \\ &= \frac{(\rho x A)xv^2}{2} x(v) = \frac{\rho x A x v^3}{2} \dots (2)\end{aligned}$$

Ahora surge la pregunta

¿cuánto de esa energía puede ser extraída del viento? Límite de Betz<sup>49</sup>

La expresión (1) anterior es una expresión matemática que nos indica que la potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área expuesta perpendicularmente al flujo de viento y al cubo de la velocidad del mismo.

La potencia eólica disponible es la máxima potencia que podríamos extraer al viento si pudiésemos convertir toda su energía cinética en energía útil.

La potencia eólica extraída o captada del viento por el rotor de la máquina se conoce como **Potencia Eólica Aprovechada (Pa)**. El rendimiento de conversión se describe por un **Coeficiente de Potencia (Cp)** definido como la relación entre la potencia aprovechada y la disponible (**Cp=Pa/Pd**). Es la fracción de la energía cinética del viento convertida en energía cinética de rotación en el rotor del aerogenerador.

<sup>49</sup> <https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-sacar-del-viento-limite-de-betz/>

Existe un límite superior para la potencia eólica aprovechada, según el cual ningún aerogenerador puede extraer del viento una potencia superior a la fijada por este límite. Este es el definido por la Teoría de Betz y, aunque este teorema se demuestra para máquinas de eje horizontal (tipo hélice), sus conclusiones son aplicables a las de eje vertical. De hecho, el rendimiento de estas últimas se acostumbra a referir a la potencia máxima aprovechada dada por el límite de Betz.

### **Límite de Betz:**

Para calcular cuándo tendremos máxima potencia mecánica, derivamos e igualamos a cero la potencia extraída por el aerogenerador:

$$\frac{dP_m}{da} = 2 \cdot \rho \cdot S \cdot V_1^3 \cdot (1 - 4a + 3a^2) = 0 \dots (3)$$

La máxima potencia ocurre cuando  $a = 1/3$ , por tanto:

$$P_m = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho \cdot S \cdot V_1^3 \cdot \left(\frac{16}{27}\right) \dots (4)$$

Este valor, es el máximo valor de la potencia contenida en el tupo de corriente del aire que es capaz de extraer el rotor de una aeroturbina.

***Una turbina eólica puede convertir en energía mecánica como máximo un 59,26 % de la energía cinética del viento que incide sobre ella.***

La teoría de Betz es una simplificación ya que no tiene presente algunos aspectos existentes en la práctica como resistencia aerodinámica de las palas, pérdida de energía por turbulencia de la



estela, la compresibilidad del aire y la propia interferencia entre las palas.

Esta teoría es sólo una aproximación al problema de determinar la potencia que puede obtenerse de una eólica de eje horizontal (Ver Figura N° 28), pero es útil para establecer un límite superior para el coeficiente de potencia  $C_p$  (rendimiento de conversión de potencia eólica-mecánica en un aerogenerador).

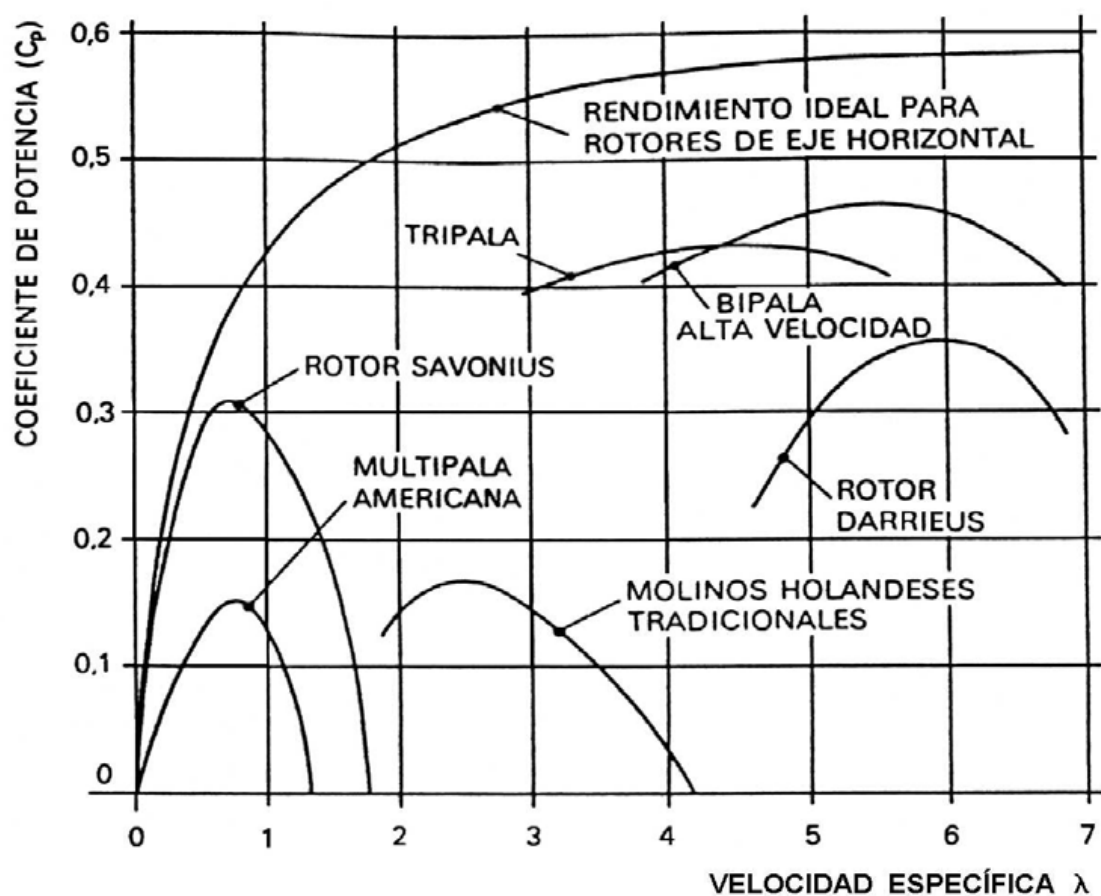


Figura N° 28: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica<sup>50</sup>

<sup>50</sup> (Hualpa Mamani 2006)

### **2.2.3.5. Clasificación de los aerogeneradores**

Los aerogeneradores se pueden clasificar según la potencia que producen en:

- a) Pequeños, generan alrededor de 3 kW
- b) Medianos, llegan a producir hasta 1 MW
- c) Grandes, de un 1 MW en adelante

Según su diseño pueden ser:

- a) Aerogeneradores de eje horizontal. Son los que más se utilizan debido a que tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura. En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen conectados a red son tripalas de eje horizontal, orientados a barlovento y montados sobre torre tubular<sup>51</sup>.

---

<sup>51</sup> (Cerdan Cabrea 2011)



Figura N° 29: Aerogenerador de eje horizontal<sup>52</sup>

b) Aerogeneradores de eje vertical. Su eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo, también conocidos como VAWTs por sus siglas en inglés (vertical axis wind turbines). Tienen la ventaja de no requerir un sistema de orientación y que pueden ser instalados a ras de suelo, sin embargo, su eficiencia es menor y para dar mantenimiento al rotor se requiere desmontar toda la maquinaria del aerogenerador. Se dividen en:

**Savonius:** Consta de dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro.

---

<sup>52</sup> [https://wikivisually.com/lang-es/wiki/Parque\\_e%C3%B3lico](https://wikivisually.com/lang-es/wiki/Parque_e%C3%B3lico)



Figura N° 30: Aerogenerador Sabonius<sup>53</sup>

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

---

<sup>53</sup> <https://energiasorolla.wikispaces.com/aerogeneradores+y+parque>



Figura N° 31: aerogenerador Windside<sup>54</sup>

**Darrieus:** Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión. Es el de más éxito comercial entre los VAWTs. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque.

---

<sup>54</sup> <http://mesemar.com/ayudas-a-la-navegacion/sistemas-de-alimentacion/aerogeneradores/>



Figura N° 32: Aerogenerador Darrieus<sup>55</sup>

**Giromill:** Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento.

---

<sup>55</sup> <https://www.evwind.com/2013/08/14/eolica-en-argentina-presentan-aerogeneradores-de-la-unc/>

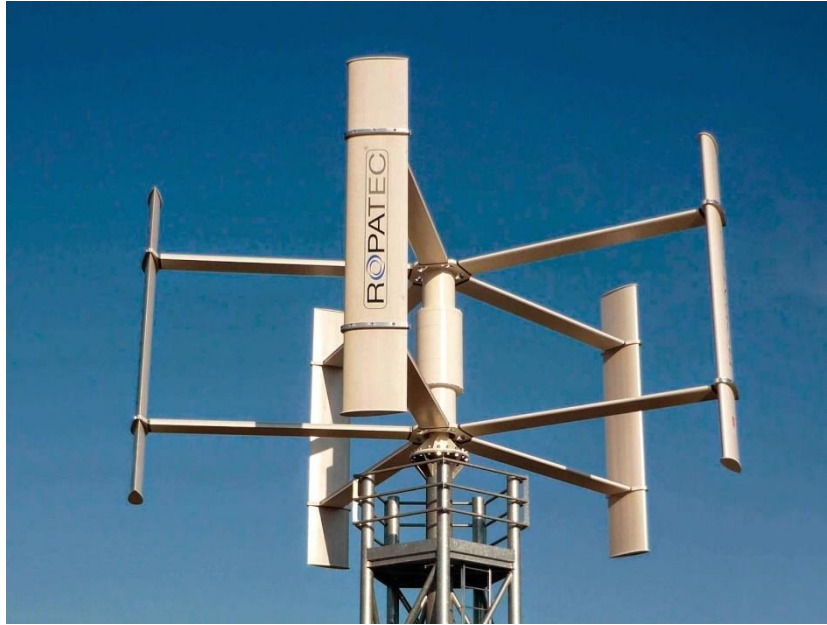


Figura N° 33: Aerogenerador Giromill<sup>56</sup>

**Panemonas:** Cuatro o más semicírculos unidos al eje central, su rendimiento es bajo.

---

<sup>56</sup> <http://energiaeolica1101.blogspot.pe/2015/03/tipos-de-aerogeneradores.html>



Figura N° 34: Aerogenerador panemona<sup>57</sup>

Y de acuerdo a su aplicación los podemos dividir en:

a) Aerogeneradores para aplicaciones aisladas. Son máquinas pequeñas que se utilizan para alimentar cargas que están alejadas de las redes eléctricas convencionales. Típicamente, se combinan con bancos de baterías para almacenar la electricidad que generan y poder acoplar en el tiempo la generación con la demanda. Con frecuencia, este tipo de aerogeneradores se combinan con generadores Diesel para proveer una función de respaldo y, dependiendo de las necesidades de suministro de

---

<sup>57</sup> <https://educarenergetico.wordpress.com/2007/08/08/generando-energia-con-poco-viento-la-panemona/>



electricidad y de la disponibilidad de los recursos energéticos no convencionales, se pueden combinar también con sistemas fotovoltaicos, microturbinas hidráulicas y otros, dando lugar a combinaciones que se conocen como "sistemas híbridos".

b) Aerogeneradores para centrales eoloeléctricas. Son máquinas de tamaño considerable que típicamente se conectan a una red eléctrica convencional para contribuir a la alimentación de cargas específicas de capacidad importante o para construir centrales eoloeléctricas.



Figura N° 35: Aerogeneradores según su aplicación<sup>58</sup>

En la Figura N° 35 se muestra del lado izquierdo un aerogenerador de 500 W para aplicaciones aisladas y del lado derecho un aerogenerador para

---

<sup>58</sup> (Cerdan Cabrea 2011)

central eoloelectrica. Por su apariencia se podría pensar que los dos tipos de aerogeneradores son muy similares; sin embargo, existen diferencias técnicas importantes en relación con su diseño y funcionalidad.

Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas. En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables<sup>59</sup>.

#### **2.2.3.6. Sistema eólico**

Un sistema eólico es un conjunto de máquinas eólicas (Aerogeneradores) accionadas por el viento que son capaces de suministrar electricidad a gran escala o a viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales. Las máquinas eólicas de producción de energía eléctrica se diferencian en función de las potencias nominales: a) Grandes aerogeneradores y b) Pequeños aerogeneradores. (Cerccha Ramirez 2014).

##### **a) Grandes aerogeneradores**

Aerogeneradores destinados a la producción de energía eléctrica a gran escala, cuya potencia nominal es de cientos de kilowatios (en la actualidad las máquinas instaladas tienen potencias nominales de 600, 900 kW hasta 5 MW).

---

<sup>59</sup> (Cerdan Cabrea 2011)

**Torre:** Estructura que soporta el aerogenerador (góndola y el rotor), mejor cuanto más alta es, a mayor altura mayor velocidad de viento, un aerogenerador de 600 kW puede estar en torno a los 50 metros. Las torres pueden ser tubulares (más seguras) o, de celosía (más baratas).

**Turbina Eólica:** Se encarga de captar energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica en su eje. (Cerccha Ramirez 2014).

**Los componentes de la turbina eólica son** (Cerccha Ramirez 2014) :

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

**Eje de Buje:** Eje de baja velocidad del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira bastante lentamente, de 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 (ver figura 36).

**Pala:** Transforma por aprovechamiento aerodinámico la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

**Góndola:** Ubicada en la parte superior del aerogenerador, dentro se encuentran el multiplicador, el generador eléctrico o el sistema de orientación, los 2 primeros son componentes claves del aerogenerador. Las palas, el rotor del aerogenerador y el buje están situados a la izquierda de la góndola.

**Los componentes de la góndola son:**

**Anemómetro:** Mide la velocidad del viento, envía señales al controlador electrónico conectando el aerogenerador cuando el viento alcance la

velocidad de arranque, Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar los desperfectos.

**Controlador electrónico:** Equipado con un ordenador para monitorear las condiciones del aerogenerador y controlar el mecanismo de orientación, en caso de disfunción automáticamente detiene el aerogenerador y da aviso al ordenador del operario encargado de la turbina.

**Eje de alta velocidad con su freno mecánico:** Gira aproximadamente a 1,500 revoluciones por minuto (r.p.m.) lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un 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.

**Generador eléctrico:** Transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Existen fundamentalmente 3 tipos de generadores: Generador asíncrono de jaula de ardilla, Generador asíncrono de rotor bobinado y Generador síncrono de imanes permanentes.

**Multiplificador:** Sistema mecánico encargada de elevar la velocidad de giro del sistema mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada, desde la velocidad de la turbina (20-30 rpm) a la velocidad del generador (1000-1500 rpm).

**Mecanismo de Orientación:** Utilizado para mantener el rotor de la turbina en posición contra el viento (perpendicular a la dirección del viento) para que a través del rotor pase la mayor proporción posible de energía eólica.

**Sistema Hidráulico:** Restaura los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

**Unidad de Refrigeración:** Compuesta por un ventilador eléctrico y una unidad de refrigeración de aceite, el primero enfría el generador eléctrico y el segundo enfría el aceite del multiplicador, otras turbinas son enfriados por agua.

**Veleta:** Mide la dirección del viento, envía señales al controlador electrónico de forma que hace girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación (Cerccha Ramirez 2014).

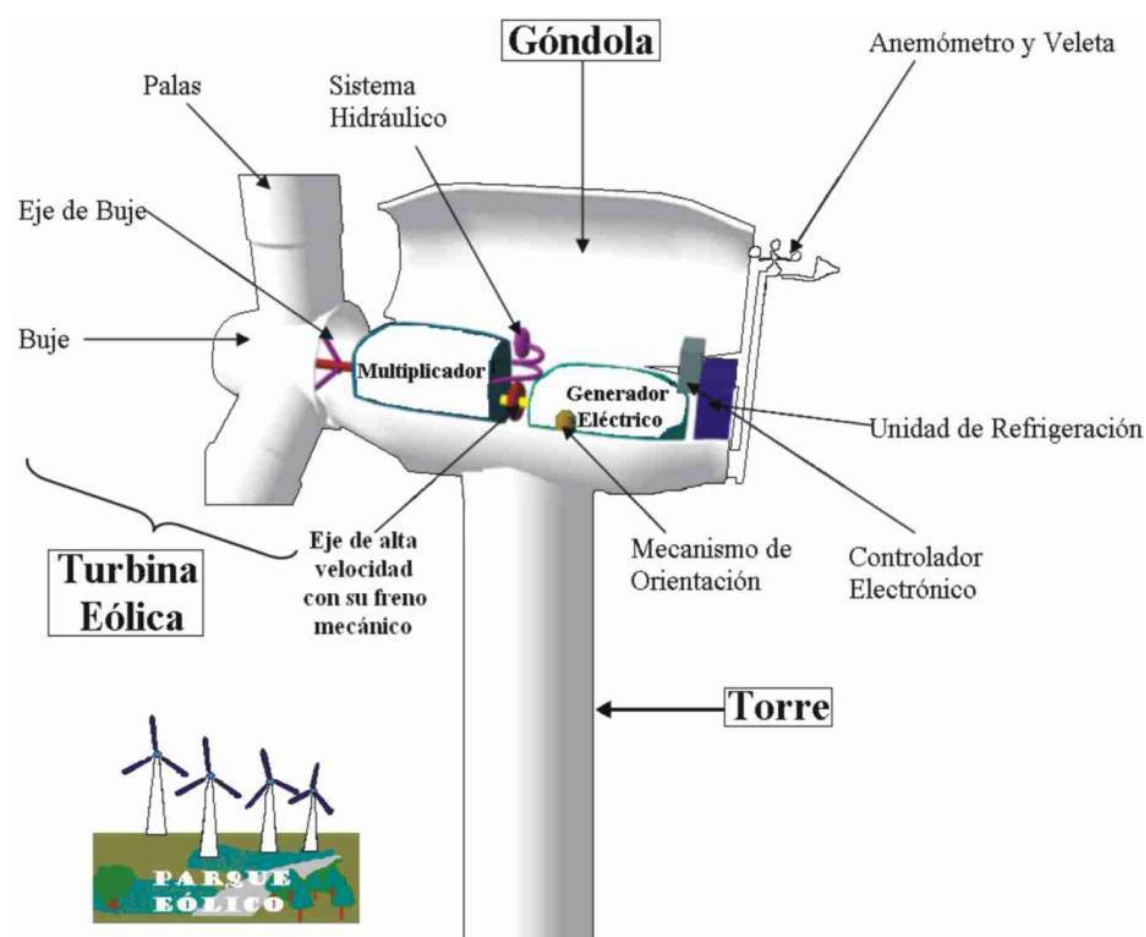


Figura N° 36: Grandes aerogeneradores y sus partes<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Cerccha Ramirez, Juan Avilio. «Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el centro poblado rural La Gramita de Casma.» Lima, 2014.

## **b) Pequeños Aerogeneradores** (Cerccha Ramirez 2014)

Este tipo de generadores suelen ser instalados en zonas alejadas del suministro eléctrico o trazado de la red general de distribución eléctrica, el tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación y es característico en ellos que la instalación se sitúe muy cerca del centro de consumo (viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales), requiriéndose frecuentemente la existencia de acumuladores.

Las instalaciones más frecuentes emplean tecnologías muy fiables en las que es necesario un mantenimiento básico, las aeroturbinas empleadas en las instalaciones de pequeña potencia son aerogeneradores de alta velocidad ( $\lambda > 2$ ), normalmente utilizadas para suministro eléctrico a viviendas aisladas y/o otros centros de consumo, las potencias de estas aeroturbinas varían entre 100 W y 10 kW. Estos aerogeneradores son muchos más sencillos que los descritos anteriormente para sistemas de generación a gran escala, sus características fundamentales son:

### **1. Aerogenerador de viento de baja potencia:**

**Turbina:** Puede tener 2 o 3 palas realizadas en fibra de vidrio y carbono.

**Generador:** Es de imanes permanentes y este acoplado directamente a la turbina (no utiliza multiplicador).

**Sistema de Orientación:** Ejerce el papel de sistema primario de protección ante velocidades elevadas de viento, consiste en una cola. Los sistemas de orientación automática están diseñados especialmente para conseguir una sensible timonización ante rachas de viento de bajas velocidades, cuando las velocidades se acercan a valores demasiado

elevados para el buen funcionamiento de la máquina, este sistema produce la progresiva desorientación del aerogenerador que lo lleva a dejar de funcionar.

**Salida del sistema:** Depende del sistema al que se desee abastecer puede ser en corriente continua o alterna.

**Torre:** Puede ser de celosía o tubular (Cerccha Ramirez 2014).

## **2. Equipo de regulación y monitorización del aerogenerador (Segundo sistema de seguridad):**

Conjunto de resistencias de frenado y un regulador de carga, que desvía hacia el conjunto de resistencias los excedentes de energía que las baterías de la instalación no pueden asumir, evitándose de este modo que el aerogenerador tenga que estar funcionando en vacío y por lo tanto girando a velocidades peligrosamente elevadas, en los períodos de tiempo en que las baterías presentan elevados niveles de carga.

**3. Banco de Baterías:** Almacena energía durante varios días, con el objeto de disponer de energía en los períodos de viento flojo o de calma, este sistema es inútil en sistemas de generación eléctrica conectados a la red.

**4. Inversor:** Transforma y amplifica corriente continua en alterna. Los voltajes continuos pueden ir desde los 12 V hasta los 100 V.

**5. Punto de Consumo:** Lugares alejados o remotos y centros poblados que no están interconectados a la red eléctrica nacional (Cerccha Ramirez 2014).

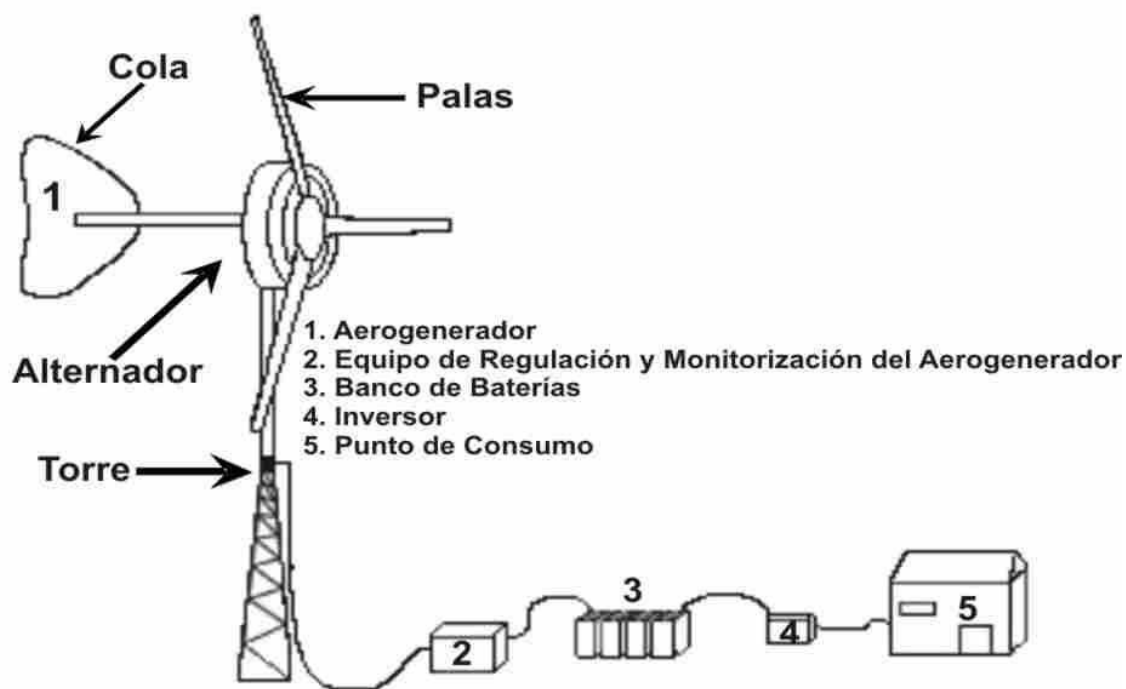


Figura N° 37: Pequeños aerogeneradores y sus partes<sup>61</sup>

#### 2.2.4. Sistemas híbrido eólico fotovoltaico

Son aquellos que disponen, además de la energía solar, otros medios de generación de energía eléctrica. Estos generadores podrían ser otros sistemas de generación limpios, como los eólicos, o generadores eléctricos conectados a motores de combustión. En este caso, los sistemas se complementan entre sí para entregar la cantidad de energía necesaria a la carga o para cubrir todas las horas de utilización requeridas.

La combinación de generación eólica y solar fotovoltaica es posible y es una alternativa para la generación de electricidad en sistemas aislados, a través de los denominados sistemas híbridos, sostuvo Renán Orellana,

<sup>61</sup> Cerccha Ramirez, Juan Avilio. «Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el centro poblado rural La Gramita de Casma.» Lima, 2014.



consultor de Energética y experto en Energías Renovables y Eficiencia Energética (Sandoval Sanchez, Navarro Ramirez y Alvites Urbina 2017).

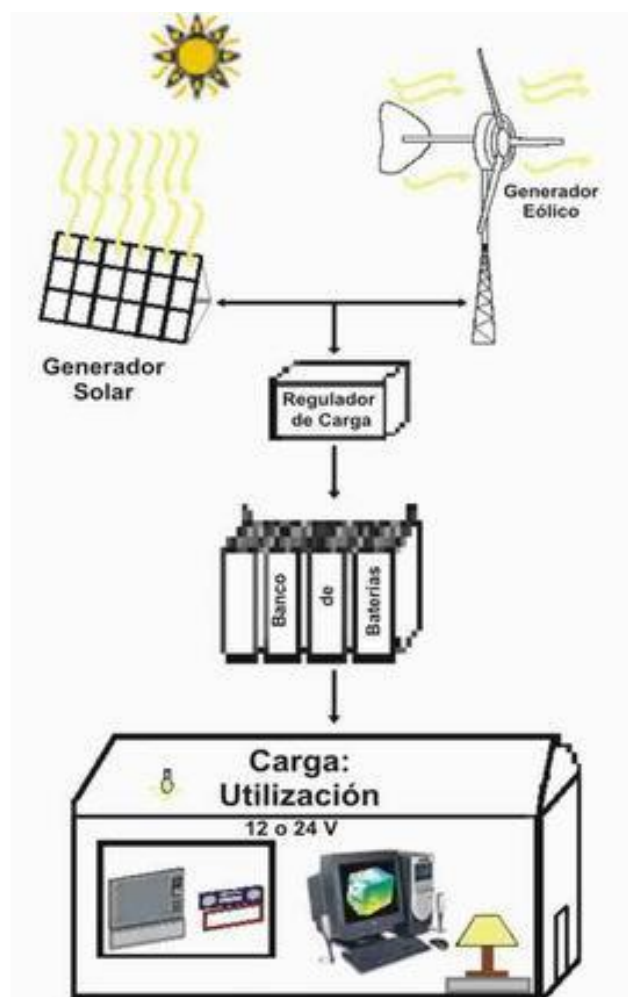


Figura N° 38: Sistema híbrido eólico solar fotovoltaico<sup>62</sup>

<sup>62</sup> Sandoval Sanchez, Jorge Ulices, Ismael Navarro Ramirez, y Dayton Isidoro Alvites Urbina. «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 Miraflores Moropotente, municipio de Condega.» UNAN-Managua, 2017.

## **2.2.5. Evaluación del recurso eólico**

### **2.2.5.1. Perfil de velocidades**

La velocidad del viento se ve afectada por la altura y por factores geográficos. Normalmente las mediciones de velocidad de viento se realizan a una altura de 10 m sobre el nivel del terreno, para optimizar generalmente se requiere instalar la turbina a mayor altura, siendo usual encontrar torres de 24 m ó 36 m de altura<sup>63</sup>.

### **2.2.5.2. Variación de la velocidad con la altura**

El viento varía con la altura debido al rozamiento con la superficie de la Tierra hasta una distancia límite donde la velocidad no se ve afectada. Como para cualquier otro fluido, esta es la definición de capa límite de velocidades. Esta variación con la altura dependerá de varios factores, como la rugosidad del terreno o los posibles obstáculos cercanos, la estación del año o incluso la hora del día, siguiendo una ley exponencial. En la Figura N° 39 se muestran, a modo de ejemplo, cómo puede ser dicha ley exponencial en función de las características típicas de diferentes emplazamientos.

Como se ha mencionado anteriormente, para extrapolar estos datos a la altura a la que trabaja el aerogenerador, se usa una ley exponencial llamada exponencial de Hellman , con la siguiente forma:

---

<sup>63</sup> (Hualpa Mamani 2006)

$$V(h) = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \dots (5)$$

**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)

$\alpha$ : Exponente adimensional

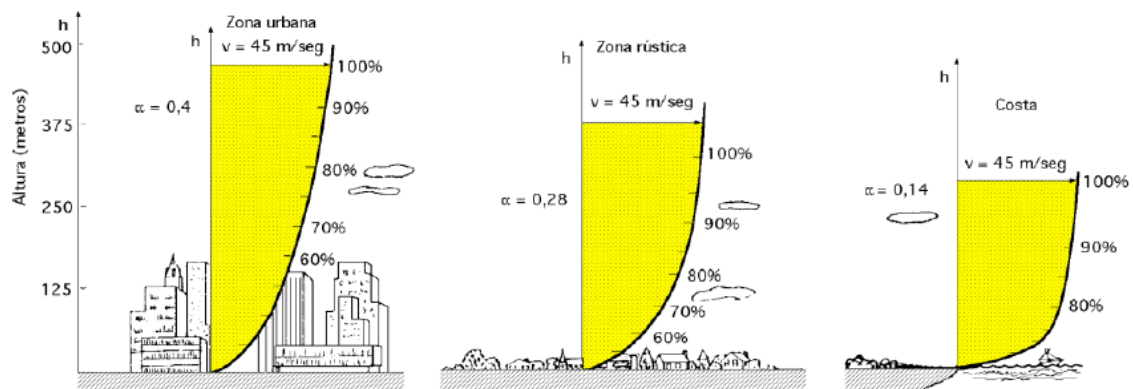


Figura N° 39: Variación de la velocidad con la altura<sup>64</sup>

La correcta elección del parámetro  $\alpha$  es complicada pero importante, ya que los datos que se usan para obtener la energía suministrada por los diferentes aerogeneradores, vienen caracterizados por la extrapolación de los datos recogidos inicialmente en cada estación mediante la ley exponencial de Hellman marcada por este parámetro.

<sup>64</sup> <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5116/fichero/Cap%C3%ADtulo+2.pdf>

Tabla N° 4: Valores para algunos tipos de terreno

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

Fuente: (Hualpa Mamani 2006)

#### **Calculo del parámetro $\alpha$ :**

Para obtener el parámetro  $\alpha$  se suele recurrir a métodos sencillos y directos por la complejidad de los múltiples factores que le influyen. Como se tienen diferentes datos para cada estación, se calculará por varios métodos por comprobar la magnitud del error en el cálculo<sup>65</sup>.

Un método sencillo es usar una correlación. Se elige la correlación de Justus por facilidad con los datos de que se dispone:

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \times \log(V_{ref})}{1 - 0,088 \times \log(\frac{h_{ref}}{10})} \dots (6)$$

#### **2.2.5.3. Variación de la densidad del aire con la altura**

La potencia que es posible extraer del viento depende fundamentalmente de la velocidad, pero no se puede obviar la dependencia del mismo con la densidad del aire. La densidad del aire no es constante, depende fundamentalmente de la temperatura y la altura.

<sup>65</sup> <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5116/fichero/Cap%C3%ADtulo+2.pdf>

Al variar la densidad del aire varía la potencia que se puede extraer de él. Para calcular este factor se puede usar la siguiente correlación:

$$\rho = 1,225 \exp\left(\left(\frac{-h}{8435}\right) - \left(\frac{T - 15}{288}\right)\right) \dots (7)$$

Donde  $h$  es la altura en metros sobre el nivel del mar y  $T$  es la temperatura promedio en grados centígrados.

#### **2.2.5.4. Mapas eólicos**

Los mapas eólicos proporcionan una información global sobre el nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, mostrando las zonas más idóneas desde el punto de vista energético.

#### **2.2.5.5. 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.

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

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.

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° 40 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.

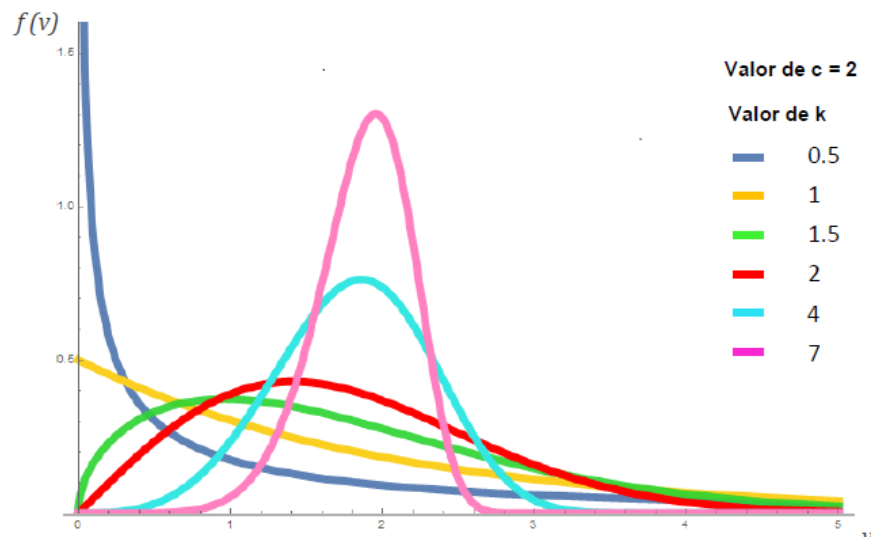


Figura N° 40: Distribución de velocidades para diferentes valores de su parámetro  $k^{66}$

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

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

Representada gráficamente para los valores especificados anteriormente de los parámetros  $k$  y  $c$  tiene la forma que se muestra en la Figura N° 41 siguiente:

<sup>66</sup> <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22939>

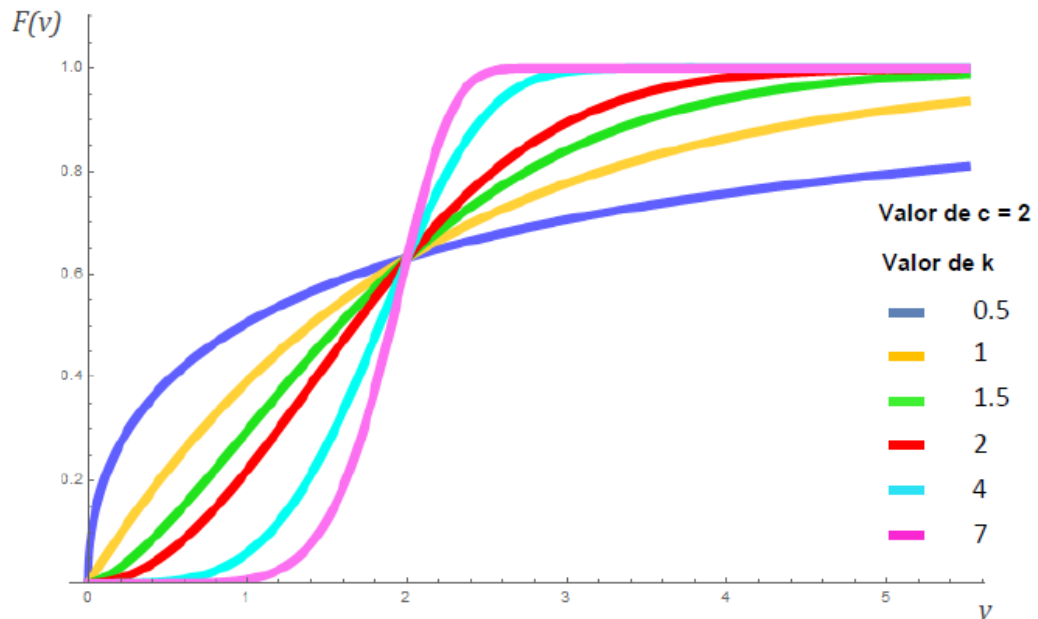


Figura N° 41: Distribución acumulativa de Weibul para diferentes valores de su parámetro de forma  $k$ <sup>67</sup>

### 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:

$$\ln\{\ln[1 - f(v)]\} = k \ln(v) - k \ln(c) \dots (10)$$

<sup>67</sup> <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22939>



## 2.2.6. Evaluación del recurso solar

### 2.2.6.1. Radiación solar

La distribución espectral de la radiación solar recibida en los límites exteriores de la atmósfera terrestre está comprendida entre los  $0,3 \mu\text{m}$  y los  $2,6 \mu\text{m}$  de longitudes de onda, alcanzando su máxima energía con una longitud de onda de  $0,5 \mu\text{m}$ , que equivale a la emisión de energía de un cuerpo negro ideal a unos  $6000 \text{ K}$ . De este rango de longitudes de onda, la luz visible para el ojo humano se encuentra entre los  $0,4$  y  $0,7 \mu\text{m}$ .

La Figura N° 42 muestra el porcentaje de radiación directa espectral captada en la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera, según la longitud de onda de la radiación.

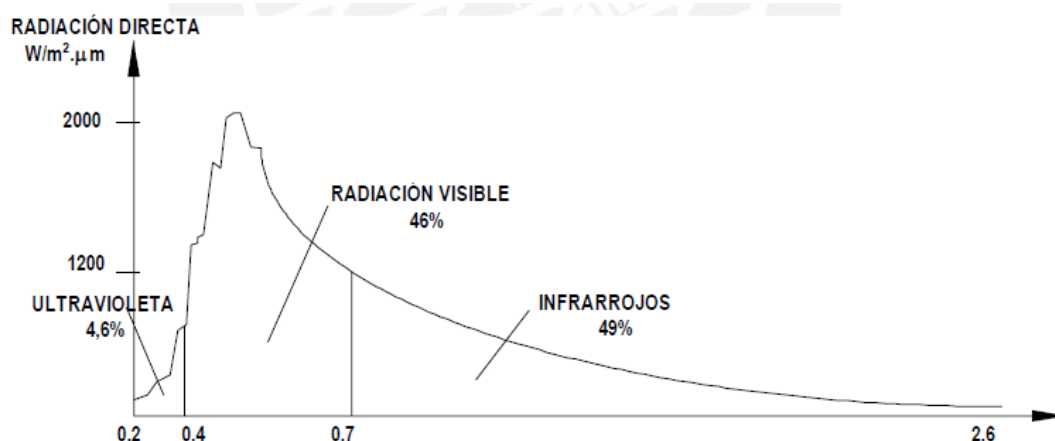


Figura N° 42: Radiación solar captada en la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera<sup>68</sup>

<sup>68</sup> (Hualpa Mamani 2006)

El 99% de la energía solar se encuentra comprendida entre bandas de 0,28 mm (rayos ultravioletas) y de 4,96 mm (rayos infrarrojos).

#### **2.2.6.2. Radiación directa y difusa**

Debido a que la capa atmosférica terrestre se comporta como un obstáculo al libre paso de la radiación, solo parte de la radiación solar interceptada por la Tierra llega hasta la superficie. Los efectos de mayor influencia son la reflexión en la parte superior de las nubes y la absorción parcial por las diferentes moléculas de aire. Este último efecto causa que la intensidad que llega a la superficie sea como máximo  $1100 \text{ W/m}^2$ , aun en días despejados y con atmósfera muy limpia. Sin embargo, las mediciones de valores superiores a  $1000 \text{ W/m}^2$  no son comunes.

No obstante que los rayos solares viajan en línea recta, los fotones al llegar a las capas atmosféricas y chocar con las moléculas y el polvo en suspensión, sufren difusiones y dispersiones y ocasionan cambios bruscos de dirección en los rayos solares. La radiación “difusa” tiene su origen aquí y cuando llega a la superficie esta luz difundida al haber cambiado muchas veces de dirección a medida que ha atravesado la atmósfera, da la impresión que procediera de toda la atmósfera y no del Sol. En cambio, la radiación “directa” alcanza la superficie manteniendo la línea recta desde el Sol.

La suma de las radiaciones directa y difusa es la radiación total, que es la que interesa para efectos energéticos. La radiación difusa hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía

por todas sus partes, incluso por las que no están expuestas directamente a la luz del Sol. En un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa, sin embargo, en días nublados será la radiación difusa es la única que puede ser aprovechada. La radiación difusa es aproximadamente la tercera parte de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

Otro tipo de radiación es la de albedo que es la reflejada por los cuerpos situados alrededor de la superficie que interesa evaluar la radiación, y hay que añadirla a la directa y difusa que dicha superficie recibe. El albedo de los cuerpos es tanto mayor cuanto más claro sea el color de los mismos. La influencia del albedo del entorno sobre la radiación incidente en un colector solar suele ser despreciable, y tan solo en casos de ubicaciones muy particulares, como por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los colectores, puede suponer una pequeña ganancia adicional de energía<sup>69</sup>.

---

<sup>69</sup> (Hualpa Mamani 2006)

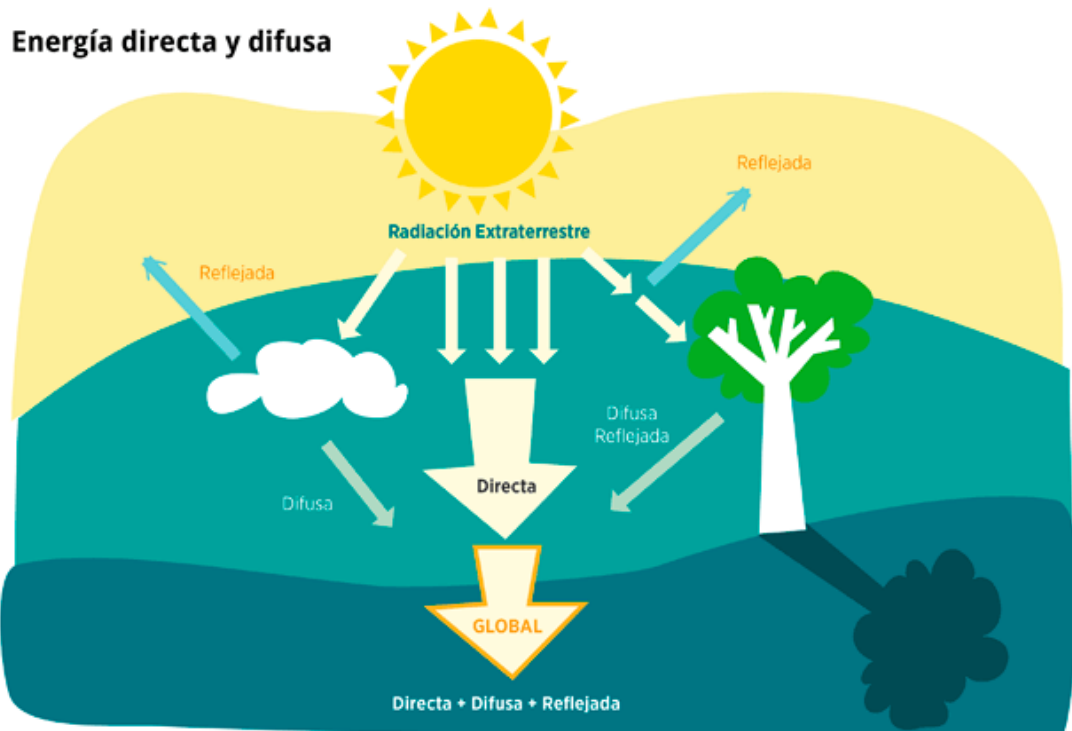


Figura N° 43: Radiación solar directa y difusa<sup>70</sup>

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

#### Central eólica

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

#### El viento

Es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal.

Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos»

#### Ángulo de Inclinación

<sup>70</sup> <http://www.aprendeconenergia.cl/uso-de-la-energia-solar-en-el-mundo/>

Es el ángulo al cual el arreglo solar se inclina en relativo a la posición horizontal en dirección al sol. Ese ángulo puede ajustarse para maximizar la energía disponible durante el año.

### **Arreglo Solar**

Un sistema interconectado de módulos fotovoltaicos que funcionan como una unidad independiente de producción de electricidad. Los módulos o paneles solares se instalan en estructuras con monturas y apoyos comunes.

### **Batería**

Dos o más celdas electroquímicas en un contenedor y conectados eléctricamente en un arreglo en serie/paralelo para proveer el voltaje de operación y corriente requerido.

### **Celda Solar**

El más pequeño elemento semiconductor de un módulo fotovoltaico (PV) para realizar la conversión inmediata de luz solar en electricidad.

### **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 inexhaustible, algunos ejemplos son; solar, viento, geotermal y agua.

### **Horas de Sol por Día**

Es el equivalente de número de horas por día equivalente a la irradiación solar de 1,000 vatios/por metro cuadrado. Por ejemplo, en Puerto Rico, se reciben alrededor de 5,53 Kilovatios por metro cuadrado por día o 5,53 horas sol. Este número se utiliza para calcular la capacidad necesaria del sistema solar de acuerdo a su necesidad de energía.

### **Radiación solar**

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

### **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 en Serie**

Es una forma de conectar paneles solares al conectar el positivo de una placa con el negativo de otra y así aumenta el voltaje del sistema. Quedan libres el negativo de la primera placa y el positivo de la última para las conexiones posteriores en el sistema.

### **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**

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

### **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.

### **Panel Solar**

También se le conoce como módulo fotovoltaico, mejor definido como un sistema de módulos conectados físicamente en una misma estructura desde la fábrica.

### **Seguidores Solar**

Se refiere a un arreglo solar en una estructura diseñada para seguir la posición del sol y maximizar la radiación solar incidente en la superficie de las placas solares. Los hay de un solo eje que busca al sol de este a oeste y de dos ejes que ajusta el ángulo respecto al horizonte para maximizar la irradiación en todo el año.

### **Sistema híbrido**

Es un sistema solar eléctrico o sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes de generación de electricidad, tales como, generadores diesel, generadores de viento y generadores de agua.

### **Vida de la Baterías**

El periodo de duración en que la celda o batería es capaz de operar sobre su capacidad nominal o eficiencia esperada. La vida de la batería se mide en ciclos de descarga o años, dependiendo de la aplicación o el tipo de servicio para la cual fueron diseñadas. En aplicaciones solares, las baterías deben ser de ciclos profundos o deep cyclell.

### **Voltaje**

La cantidad de fuerza eléctrica, medida en voltios, que existe entre dos puntos. El voltaje típico de una batería es 12 Vdc y el de nuestras residencias es 120 Vac.

### **Voltio**

Es una medida de fuerza eléctrica que puede causar una corriente de un amperio para fluir en una resistencia de un ohmio.



## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

En cuanto a la aplicación de la energía eólica y solar como fuente para el suministro de energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en el departamento de Cajamarca.

la metodología empleada es la siguiente:

**a) Investigación Aplicada:** Se hará uso de los conocimientos y bases teóricas, de la ingeniería para dar solución al dimensionamiento del sistema eólico fotovoltaico.

**b) Investigación Descriptiva:** Porque se describe las características de los equipos seleccionados y las variables en estudio (radiación solar y energía solar) tal y como se presentan en la realidad.

**El diseño de investigación es no experimental:** Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos<sup>71</sup>.

### 3.2. Población y muestra

**La población:** son las viviendas y cargas especiales del caserío Alto Pongoya en el departamento de Cajamarca.

---

<sup>71</sup> <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion37.htm>

**la muestra** son las viviendas y cargas especiales del caserío Alto Pongoya en el departamento de Cajamarca.

### **3.3. Hipótesis**

Utilizando la energía eólica y solar se logrará suministrar energía eléctrica al caserío Alto Pongoya en Chimban, provincia de Chota en el departamento de Cajamarca.

### **3.4. Operacionalización de las variables**

X: Variable independiente: energía eólica y solar

Y: Variable dependiente: suministro de energía eléctrica

Tabla N° 5: Operacionalización de variables ( Fuente: elaboración propia)

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
<b>Variable independiente</b>  Energía solar y eólica	<p>La <b>energía eólica</b> es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los <b>aerogeneradores</b>, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica<sup>72</sup>.</p> <p>La energía fotovoltaica es la <b>transformación directa de la radiación solar en electricidad</b>. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados <b>paneles fotovoltaicos</b><sup>73</sup></p>	<p>Dimensionamiento de un sistema híbrido utilizando la energía eólica y solar fotovoltaica.</p>	<p>Velocidad del viento</p> <p>Radiación solar</p> <p>Dimensionamiento del aerogenerador (kW)</p> <p>potencia y unidades de paneles fotovoltaico (kWp)</p> <p>Controladores, baterías (Ah), inversores (P), elementos de protección</p>
<b>Variable dependiente</b>  Suministro de energía eléctrica	<p>El <b>sistema de suministro eléctrico</b> comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la <u>generación</u>, el <u>transporte</u> y la <u>distribución</u> de la <u>energía eléctrica</u>. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección<sup>74</sup>.</p>	<p>Determinar la energía promedio diaria, la tensión de salida</p>	<p>Energía promedio diaria. (W.h)</p> <p>Tensión de suministro (V)</p> <p>Potencia (W)</p>

<sup>72</sup> <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>

<sup>73</sup> <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>

<sup>74</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_suministro\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico)

### 3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Método de investigación: deductivo

Técnicas de investigación:

#### a) **Análisis documental**

Este instrumento de medición se utilizó para registrar la información de diferentes bibliografías sobre sistemas de generación eléctrica fotovoltaica.

#### b) **La Entrevista<sup>75</sup>**

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

---

<sup>75</sup> <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

### **c) Observación directa<sup>76</sup>**

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.

La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

Es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar. Es indirecta cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de las observaciones realizadas anteriormente por otra persona.

Tal ocurre cuando nos valemos de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc., relacionadas con lo que estamos investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron antes lo mismo que nosotros.

Las ventajas de la observación: permite registrar hechos reales. Es la única técnica que hace posible el acopio de situaciones que no se pueden reproducir.

la observación participante permite adentrarse en las tareas cotidianas que los individuos desarrollan. Conocer más acerca de las expectativas de la gente, el investigador se desenvuelve con naturalidad dentro del grupo, es decir, se integra de lleno a las actividades que realizan sus componentes.

---

<sup>76</sup> <https://tecnicasdelectoescritura.jimdo.com/t%C3%A9cnicas-de-investigaci%C3%B3n/>

### 3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado. De acuerdo a la técnica utilizada tenemos los siguientes instrumentos

Tabla N° 6: Tecnicas e instrumentos<sup>77</sup>

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
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

Para hacer el análisis estadístico de los datos por ejemplo de la radiación solar, las cuales los datos provienen de tres fuentes se ha considerado observar el valor promedio sin embargo este valor no quedo como definitivo para el caserío debido a que se tuvo en consideración los datos de radiación solar más bajos.

Con respecto a los datos de la velocidad del viento se ha obtenido los datos de la estación meteorología automática de Chota luego se trabajarán los datos considerado la distribución de WEIBULL, para luego con la curva de la potencia del aerogenerador propuesto obtener la energía eléctrica que se puede obtener.

---

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

## CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. Descripción del sistema propuesto

El sistema híbrido eólico fotovoltaico propuesto a implementar en el caserío Alto Pongoya para la generación de energía eléctrica, se dimensionó considerando la radiación solar de la zona y el consumo de energía.

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

**a) Generador Fotovoltáico:** Está formado por un módulo de 12 paneles solares de la marca YINGLI SOLAR, estos se instalarán a un costado para más seguridad y menos riesgos en esta parte está concentrado todo el sistema de generación. El cual estará totalmente circulado e identificado y señalado como zona de alto riesgo, la potencia de cada panel es de 200 Wp, los cuales deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

**b) Aerogenerador.** Se considerará un aerogenerador de 5 kW + su controlador de carga eólico.

**b) El controlador de carga solar:** Estará conformado por 01 controlador (MPPT 150/45 VICTRON) de capacidad de 45 A y funcionará a una tensión de trabajo de 48 VDC; estará ubicado en el interior de un tablero metálico para su protección.

**c) La batería:** El banco de baterías instalado lo conforman 12 baterías RITAR de 12V-200 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.

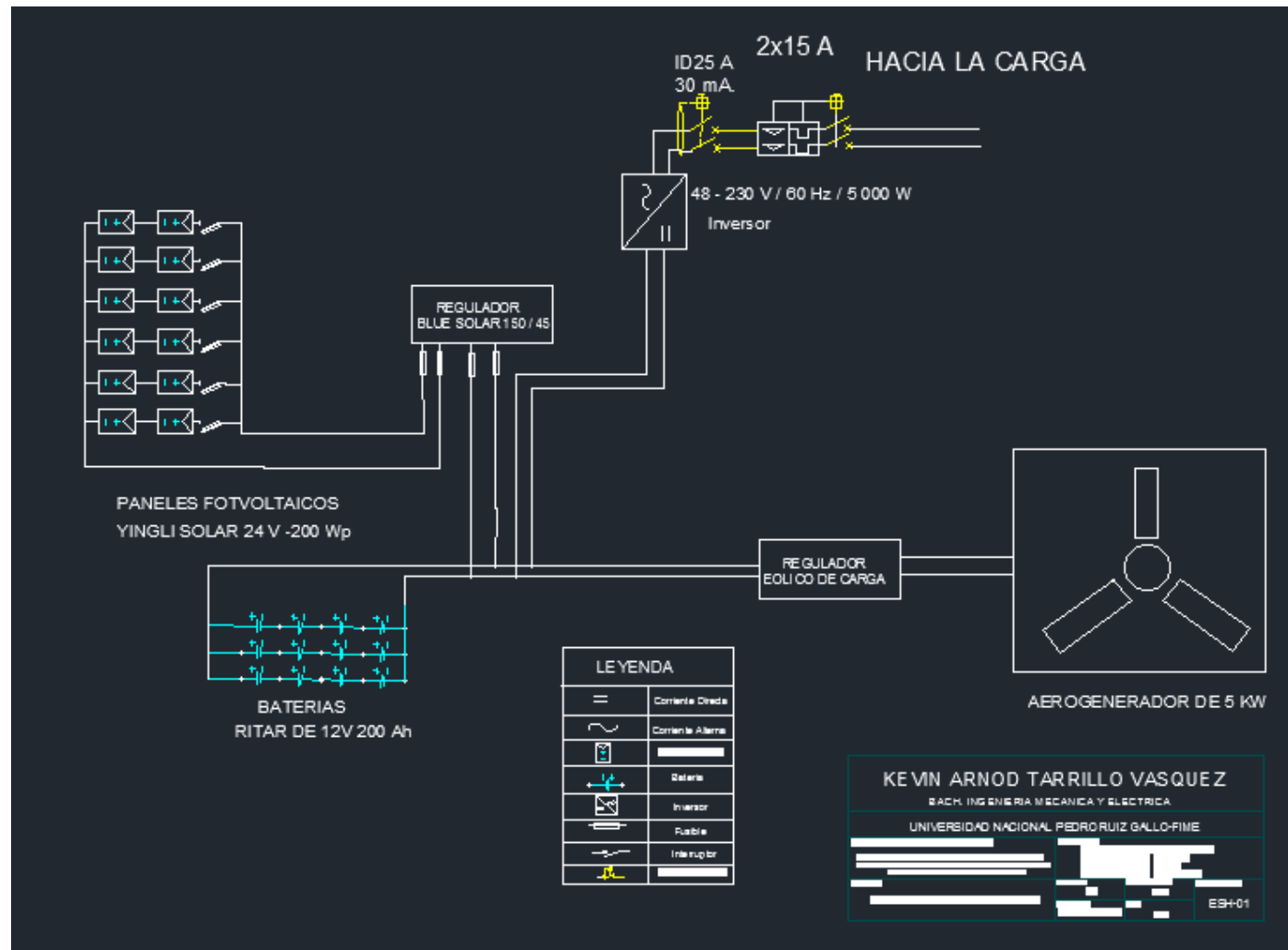
**d) El convertidor o inversor:** 01 inversor utilizado es de tipo onda pura cuya potencia es de 5000 W, a una tensión de trabajo de 48 VDC, este equipo suministrara la tensión al sistema en 220 VAC.

**e) Sistema de distribución en 220 V:**

En el plano del ANEXO N° 11, 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° 44: Esquema propuesto para el sistema híbrido eólico - fotovoltaico



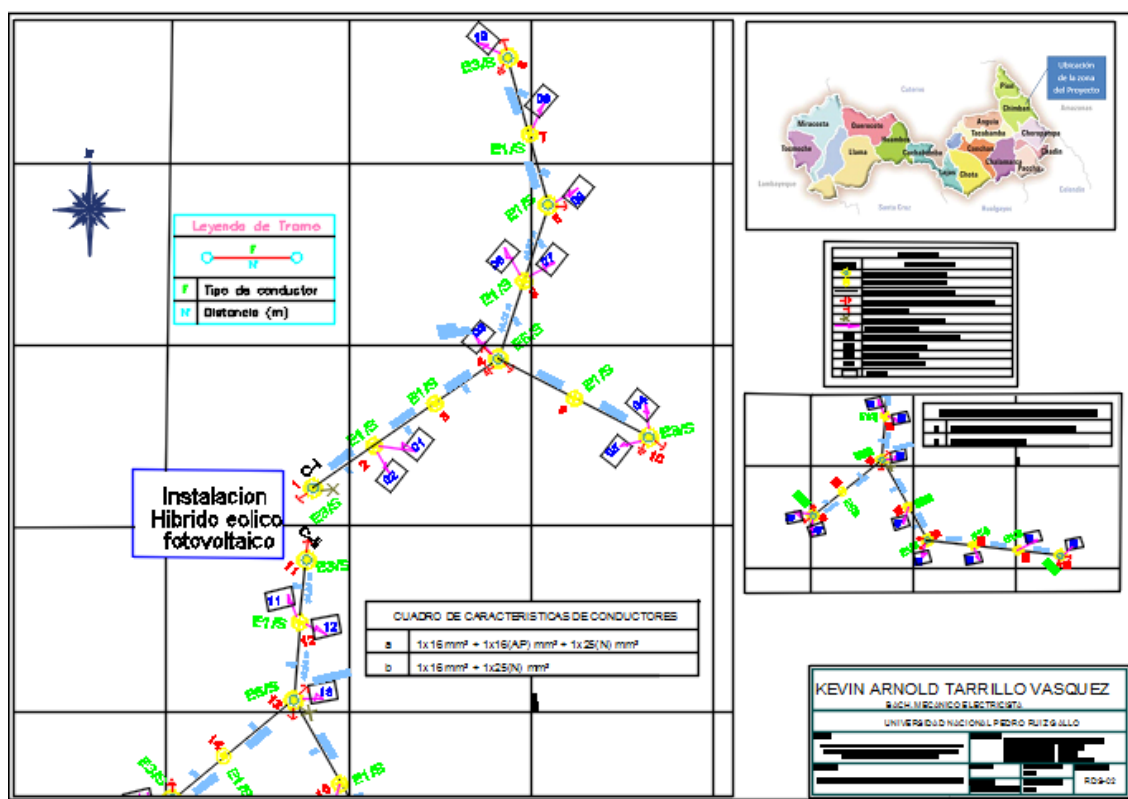


Figura N° 45: Sub sistema de distribución de energía eléctrica propuesta<sup>78</sup>

<sup>78</sup> Elaboración propia

## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Demanda de energía eléctrica

La demanda de energía se establece en función a un caso típico. Este caso corresponde al de un pequeño caserío, compuesto por 18 viviendas con 65 habitantes. El sistema híbrido satisface las necesidades de energía eléctrica de los habitantes de dicho caserío.

Tabla N° 7: tasa de crecimiento para el departamento de Cajamarca para diferentes periodos de tiempo<sup>79</sup>

Departamento	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
Cajamarca	1,2%	1,2%	1,1%	0,9%

Promedio= 1,1%

De la tabla N° 7 anterior observamos que el valor promedio de la tasa de crecimiento es de 1,1 % el cual lo consideramos con la tasa de crecimiento para el caserío Alto Pongoya.

El siguiente paso será proyectar la población y luego el número de viviendas. El número de años de proyección será de 20 años esto considerando la vida útil de los paneles fotovoltaicos.

relación entre el número de habitantes por unidad de vivienda permanece constante.

$$P_{\text{proyectada a 20 años}} = P_{\text{poblacion actual}}(1 + i)^{20} \dots (11)$$

$$P_{\text{proyectada a 20 años}} = 65x(1 + 0,011)^{20} \approx 81 \text{ habitantes}$$

<sup>79</sup> [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0015/cap-52.htm)

Ahora calcularemos el número de viviendas bajo el supuesto de que el número de habitantes por vivienda permanece constante en el tiempo, veamos:

$$N_{\text{viviendas proyectadas}} = \left(\frac{18}{65}\right) \times 81 \approx 23 \text{ viviendas}$$

Ahora calcularemos el consumo de energía diaria promedio diario:

Tabla N° 8: Consumo de energía promedio diario para las unidades de vivienda

Carga	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia (W)
Lampara(sala)	220 V c.a.	8	1	4	32	8
Lampara(dormitorio)	220 V c.a.	8	1	3	24	8
Lampara(cocina)	220 V c.a.	8	1	3	24	8
Radio	220 V c.a.	10	1	4	40	10
Carga de celular	220 V c.a.	5	5	2	50	25
Televisor	220 V c.a.	60	1	3	180	60
<b>TOTAL (Wh)</b>					<b>350,00</b>	<b>119,00</b>

fuentes: elaboración propia

Tabla N° 9: Consumo de energía promedio diaria para el local comunal

RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia (W)
<b>LOCAL COMUNAL</b>						
Lampara	220 V c.a.	8	2	3	48	16
Radio	220 V c.a.	10	1	4	40	10
Carga de celular	220 V c.a.	5	1	2	10	5
<b>TOTAL (Wh)</b>					<b>98</b>	<b>31</b>

fuentes: elaboración propia

Tabla N° 10: Consumo de energía eléctrica para en Centro Educativo de nivel primaria

RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)	Potencia (W)
<b>ESCUELA PRIMARIA</b>						
Lampara	220 V c.a.	8	5	2	80	40
Carga de celular	220 V c.a.	5	1	3	15	5
Radio	220 V c.a.	10	1	4	40	10
<b>TOTAL (Wh)</b>					135	55

fuelle: elaboración propia

De las tablas N°8, N° 9 y N° 10, tenemos que el consumo de energía eléctrica promedio diario total es de:

Tabla N° 11: Consumo total de energía eléctrica para el caserío Alto Pongoya

RECEPTOR	CANTIDAD	CONSUMO UNITARIO (Wh)	Energía diaria (Wh)	Potencia (W)
viviendas	23	350	8 050	2 737
Institución Educativa	1	135	135	55
Local Comunal	1	98	98	31
Alumbrado publico	2	1 440	1 440	120
<b>total (Wh)</b>			9 723	2 943

fuelle: elaboración propia

De la Tabla N° 11 La potencia instalada es de 2 943 W, para determinar la máxima demanda se considerara el caso crítico en que la máxima demanda es igual a la potencia instalada es decir 2 943 W .El consumo de energía diario con la población proyectada seria de 9,723 kWh. Esta energía no es la energía que llega a la carga, debido a las pérdidas, para considerar esta

situación entonces la energía que llega a la carga que satisface la energía demandada por los usuarios, depende de un factor de pérdidas el cual es función de los factores de pérdida de los equipos que componen el sistema.

$$E_{entrega a la carga} = F \times E_{sistema hibrido} \dots (12)$$

Donde F

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

Se consideran los siguientes valores para los factores de pérdida de

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

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

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

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

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

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

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

$$E_{sistema hibrido} = 9\,723 / 0,76 = 12\,793 \text{ W.h}$$

Entonces la energía que suministra el sistema hibrido es de 12, 793 kW.h/día

## **5.2. Evaluación de la energía solar disponible**

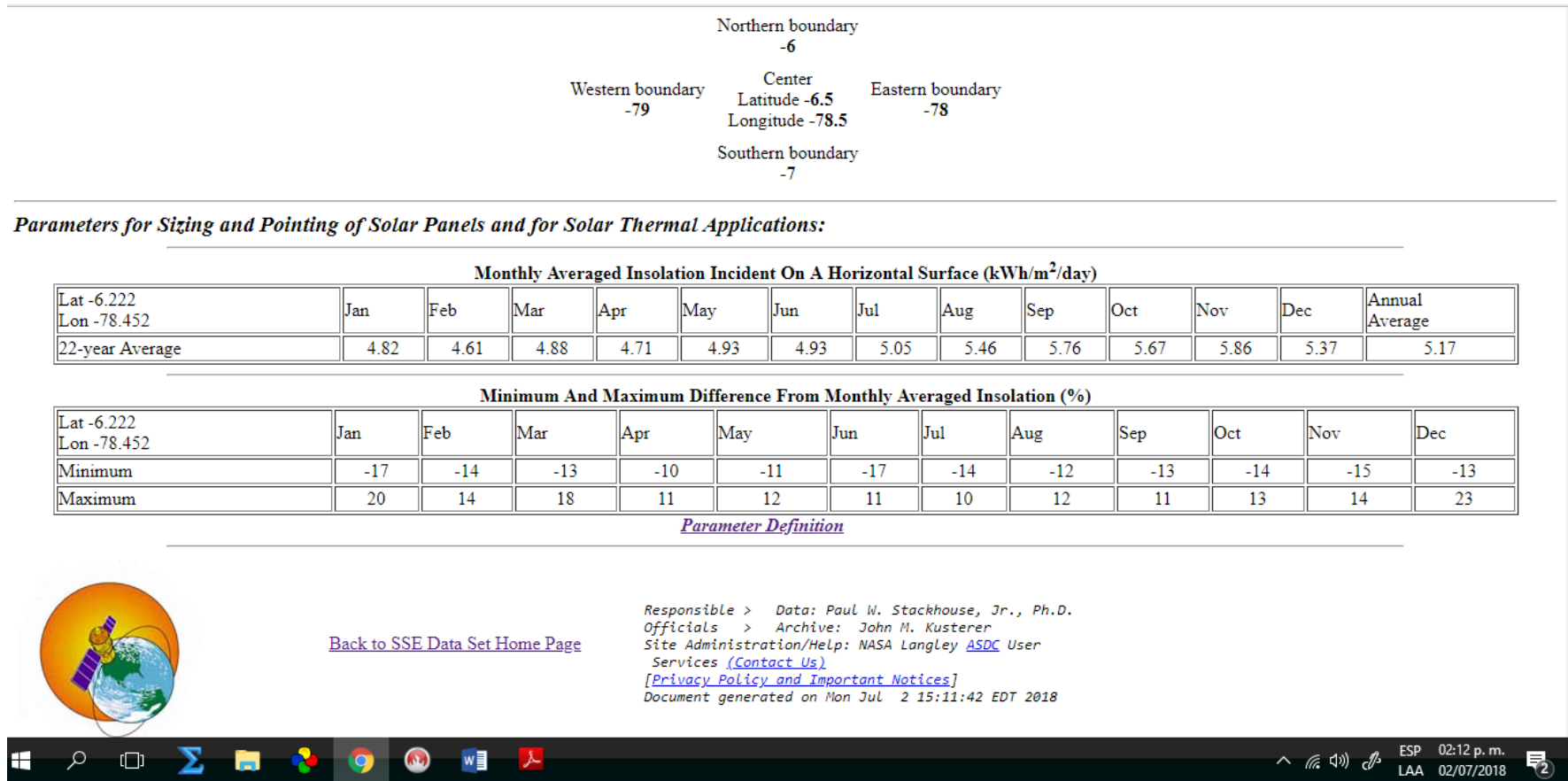
La cantidad de energía solar incidente en el panel dependerá de la orientación relativa al norte y del ángulo que forma con los rayos del sol. Para conseguir un mayor aprovechamiento de la instalación se deben calcular la orientación y el ángulo de inclinación óptimos. Existen algunas páginas de internet donde calculan directamente los datos de orientación y ángulo óptimos con seleccionar la ubicación geográfica que desees.

Después de seleccionar la ubicación del proyecto, obtenemos los datos medios mensuales de irradiación de todos los años, seleccionamos dentro de nuestros requisitos el mes más desfavorable, es decir el mes con menor irradiancia.

Hoy en día existe una gran variedad de bases de datos de donde se puede obtener información sobre la radiación solar disponible en cualquier parte del planeta, tenemos, por ejemplo:

### **a) Surface meteorology and Solar Energy Data Set – NASA**

Tabla N° 12: Radiación solar en el caserío Alto Pongoya



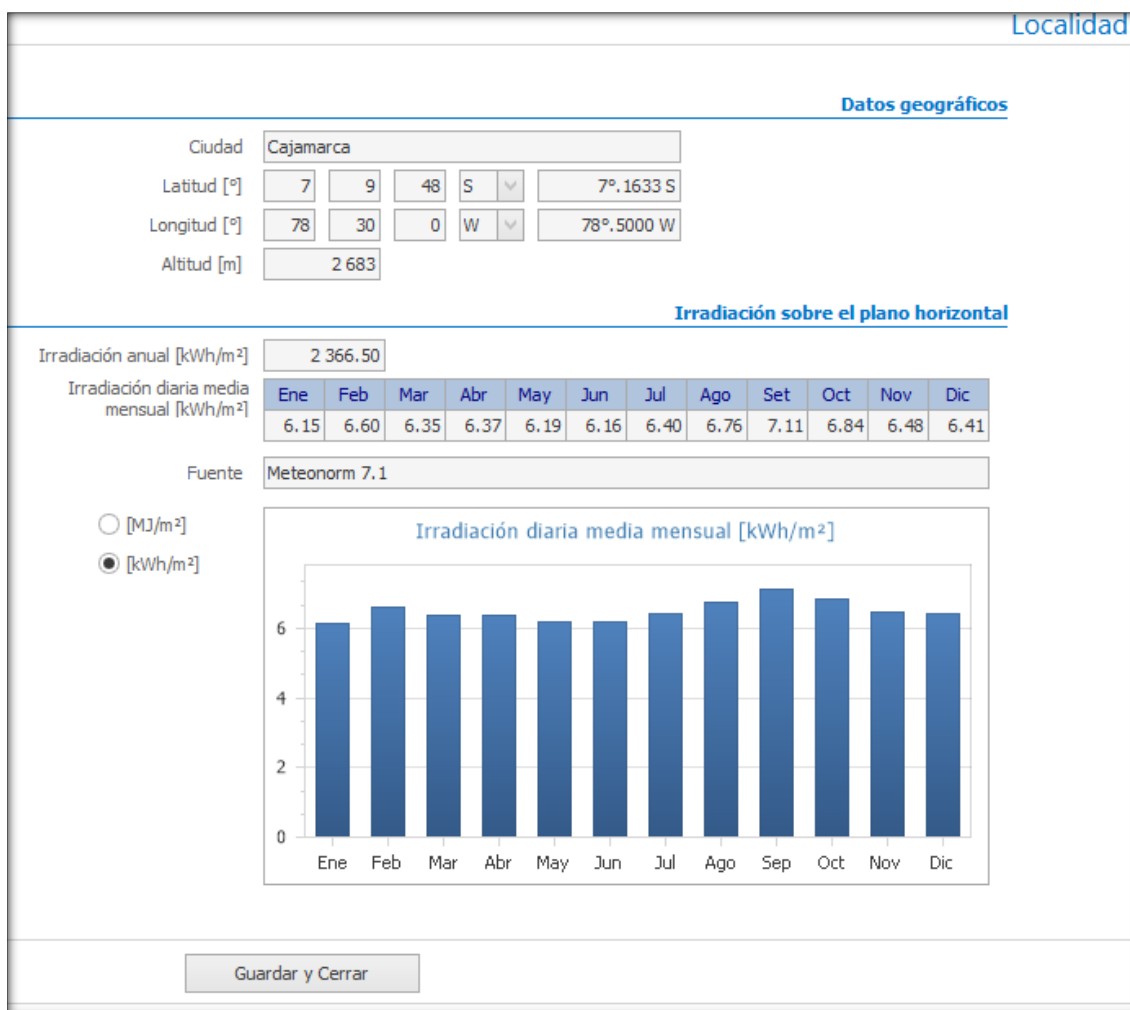
Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>



El valor crítico de radiación solar es en el mes de febrero con un valor de 4,61 kWh/m<sup>2</sup>/día

### b) Software SOLARIUS PLUS

Tabla N° 13: Radiación solar promedio en el departamento de Cajamarca



Fuente: software SOLARIUS PLUS

De la tabla N° 13, observamos que la radiación solar promedio más baja es de 6,15 kWh/m<sup>2</sup>/día

### **c) Atlas solar del Perú**

Del atlas solar del Perú para el departamento de Cajamarca (ANEXO 01) obtenemos que la radiación solar se encuentra entre 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día y 5,0 kWh/m<sup>2</sup>/día; con un valor promedio de 4,75 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Del resultado de las fuentes se obtiene que la radiación solar promedio diaria considerada para el caserío Alto Pongoya es de 4,61 kWh/m<sup>2</sup>/día

### **5.3. Determinación de la capacidad del sistema eólico**

Para determinar la energía eólica que se puede obtener se ha obtenido datos de la estación meteorológica EMA GORE CHOTA (ANEXO 03) De donde se observa que la velocidad del viento es relativamente pequeña por lo que el aporte en energía eólica deberá ser lo menor posible pues de lo contrario el costo del equipo eólico aumentará el costo de la instalación y la energía que suministre a la carga será muy pequeña en comparación con el sistema fotovoltaico.

Bajo esta idea se propone un aerogenerador de 5 000 W, cuyo diámetro del rotor es de 6,0 metros y tiene 3 palas. La particularidad de este aerogenerador es que se puede abatir para realizar su mantenimiento o variar el grado de inclinación de sus hélices

La altura de montaje de este aerogenerador es de una altura de 8-15m

#### **Características técnicas del generador eólico<sup>80</sup>:**

MARCA HLD-5KW

---

<sup>80</sup> [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.16.62845b97M8KJxw](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.16.62845b97M8KJxw)

Tabla N° 14: Datos técnicos del aerogenerador de 5 Kw

Datos técnicos de la turbina eólica	
<b>Rendimiento</b>	
Potencia nominal	5000 W @ 10 m/s
Potencia máxima	7500 W
Velocidad del viento de arranque	3 m/s
Velocidad del viento de trabajo	3-25 m/s
Velocidad del viento de supervivencia	50 m/s
Ruido	≤ 45db
<b>Rotor</b>	
Diámetro del rotor	6 m
Área de barrido	28.26M3
Hoja	3unids reforzado fibra de vidrio
Longitud de la hoja	2.9 m
Material de Shell	De acero de precisión
RPM nominal	200
Peso	300 kg
Regulación de la velocidad y la protección	Guiñada + freno electromagnético
Tensión nominal	DC 48 V-500 V
Capacidad de la batería sugerida	8 unids 12 V 200AH
Torre sugerida	8 M-18 m guyed cable /8-15 m libre de pie/Torre inclinable
Temperatura de trabajo	-40-60 °C

Fuente: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4)

Tabla N° 15: Aerogenerador 5 KW



Fuente: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4)

#### 5.3.1.1. Aplicación de la Ley de Hellman

eliminando los datos que tiene velocidad cero estos datos se han obtenido a una altura de 2 m aplicando la ley de Hellman podemos obtener los resultados a 15 m (altura recomendada<sup>81</sup> )

Elaboramos el cuadro de distribución de frecuencias tal como se muestra a continuación:

---

<sup>81</sup> [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4)

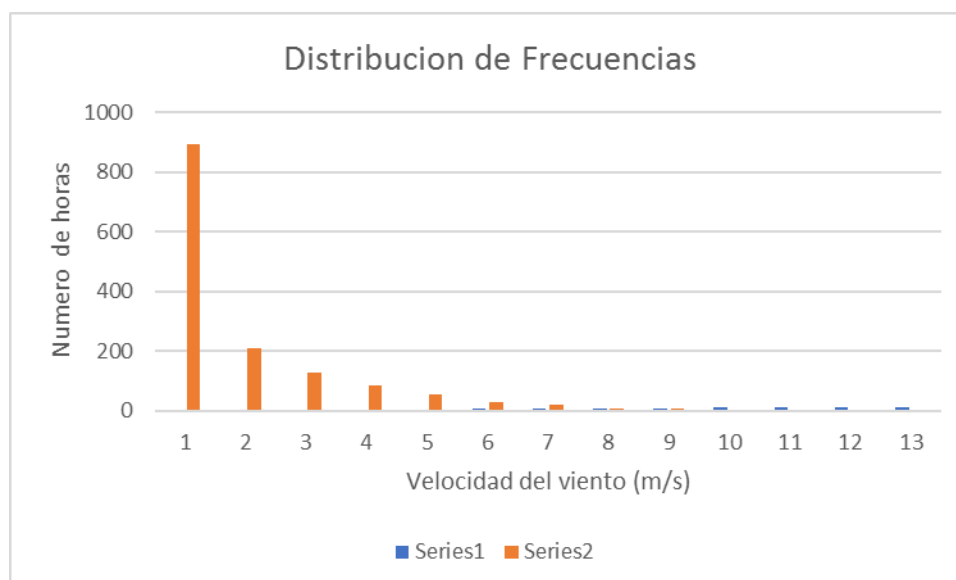
Tabla N° 16: Distribución de frecuencias y distribución acumulada de los promedios de velocidad de viento en el caserío para marzo y abril del 2017

Velocidad del viento (m/s)	Distribución de Frecuencia ( N° horas )	Distribución acumulada (h)	Frecuencia acumulada relativa
1	892	892	0,62247
2	211	1 103	0,76971
3	128	1 231	0,85904
4	85	1 316	0,91835
5	53	1 369	0,95534
6	29	1 398	0,97558
7	21	1 419	0,99023
8	7	1 426	0,99512
9	6	1 432	0,99930
10	1	1 433	1,00000

Fuente: elaboración propia

### 5.3.1.2. Determinación de los parámetros de la distribución de WEIBULL

Tabla N° 17: Distribución de frecuencias



Fuente: elaboración propia

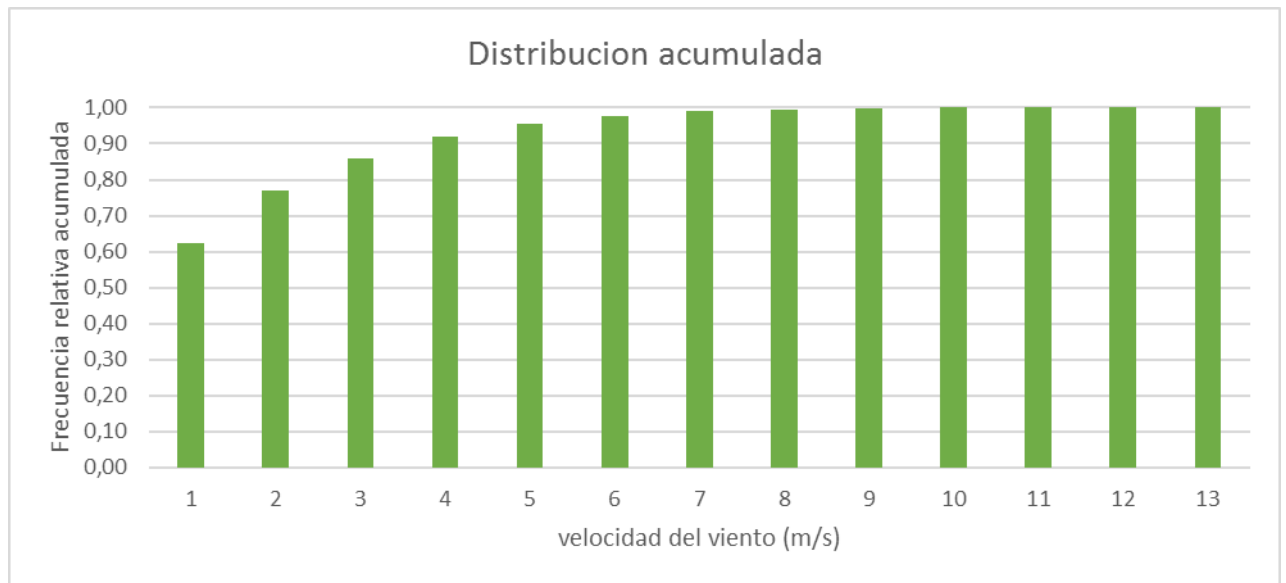


Figura N° 46: Distribución acumulada

A partir de los valores de la frecuencia acumulada mostradas en la tabla N° 16 se utilizan para dar forma a la ecuación de la recta, la cual puede ser expresada de la siguiente forma.

$$y = k.X + B \dots (14)$$

Siendo

$$Y = \ln(\ln[1 - F(v)]^{-1}) \dots (15)$$

$$X = \ln(v) \dots (16)$$

$$B = -k.\ln(c) \dots (17)$$

Haciendo las sustituciones y recordando que:

K: es el parámetro de forma.

C: parámetro de escala

Al graficar los valores de X e Y, se obtiene la figura N°

Tabla N° 18: valores de X e Y

Velocidad(m/s)	ln(v)	ln(ln(1/(1-F(v))))
1	0,0000	-0,0262
2	0,6931	0,3842
3	1,0986	0,6726
4	1,3863	0,9184
5	1,6094	1,1342
6	1,7918	1,3116
7	1,9459	1,5322
8	2,0794	1,6718
9	2,1972	1,9834

Fuente: elaboración propia

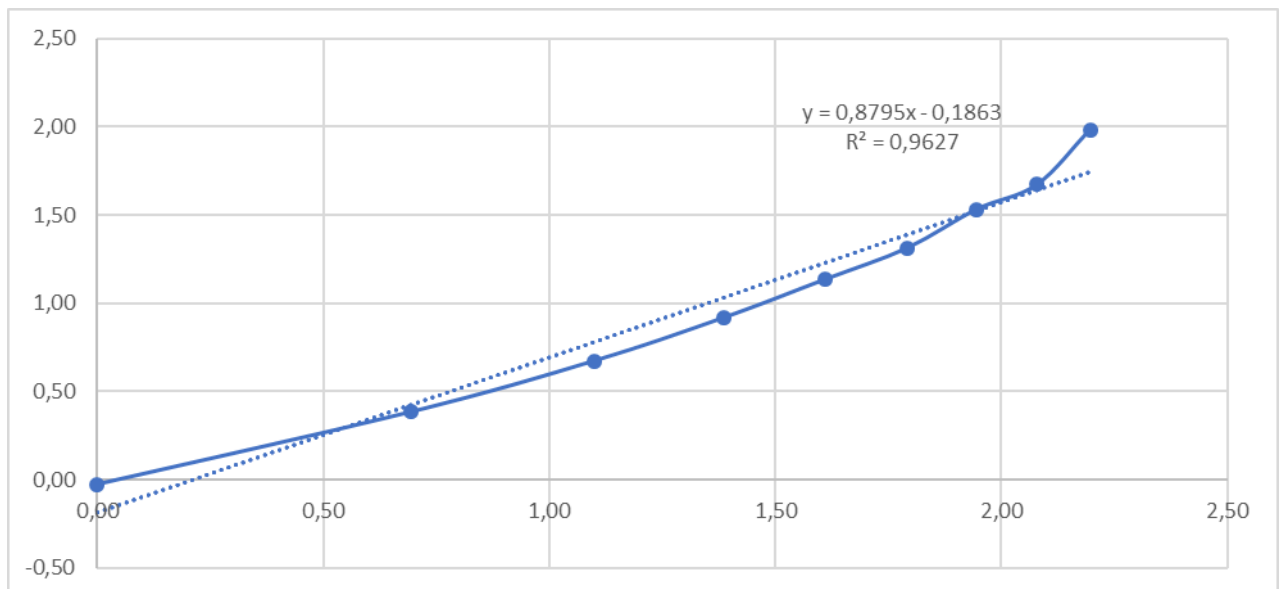


Figura N° 47: Gracia X vs Y

Fuente: elaboración propia

En la Figura N° 47 se muestra la recta de reajuste, para los valores dado en la tabla N° 16

$$Y = 0,8795X - 0,1863 \dots (18)$$

identificamos entonces los términos correspondientes y obtenemos:

$$K=0,8795$$

$$C=1,235931455 \text{ m/s}$$

forma matemática de poder obtener la ecuación de la recta (19) y (20) que corresponde a la recta que mejor se ajusta a los datos de la tabla N° 16

$$A = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (19)$$

$$B = \frac{\sum y - A \sum x}{N} \dots (20)$$

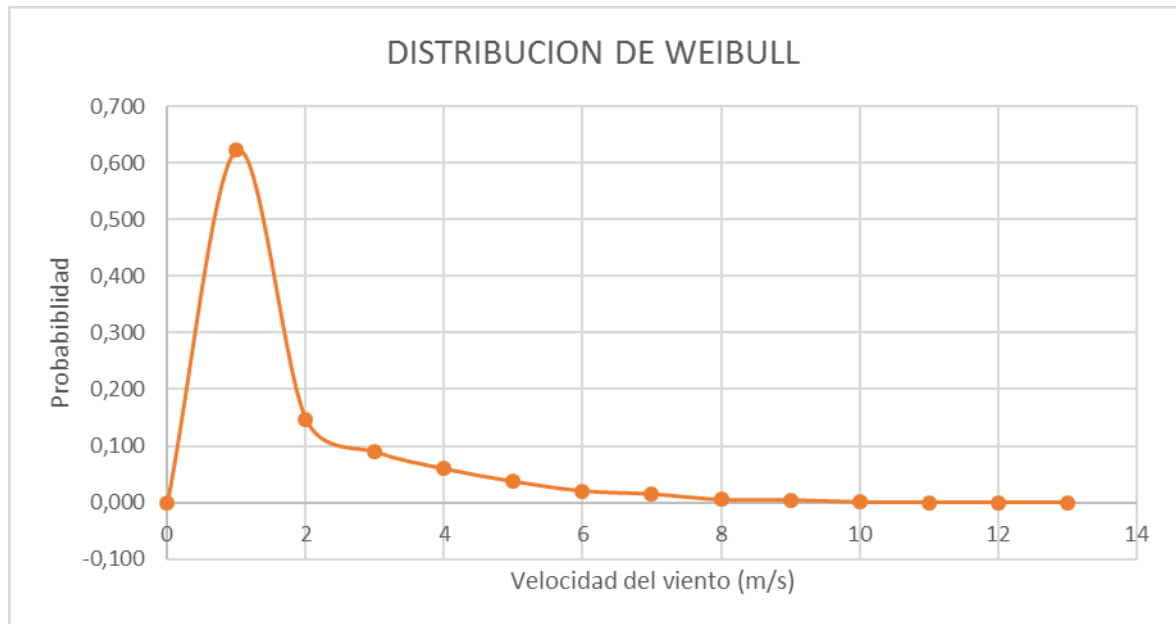


Figura N° 48: Distribución de velocidades del viento

Fuente: elaboración propia

sin embargo, desconocemos los valores de k, c y por ello trabajaremos con la integral de esta función que sería la frecuencia acumulada que está dado por la siguiente ecuación:



$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots (21)$$

La distribución de velocidades con frecuencia acumulada

Tabla N° 19: Número de horas en el periodo de tiempo en estudio

velocidad (m/s)	f(v)	horas
0	0,000000	0,00
1	0,318311	456,14
2	0,145839	208,99
3	0,072194	103,45
4	0,037214	53,33
5	0,019700	28,23
6	0,010634	15,24
7	0,005829	8,35
8	0,003235	4,64
9	0,001814	2,60
10	0,001027	1,47
11	0,000586	0,84
12	0,000336	0,48
13	0,000194	0,28

Fuente: elaboración propia

Elaboramos el grafico que se muestra a continuación

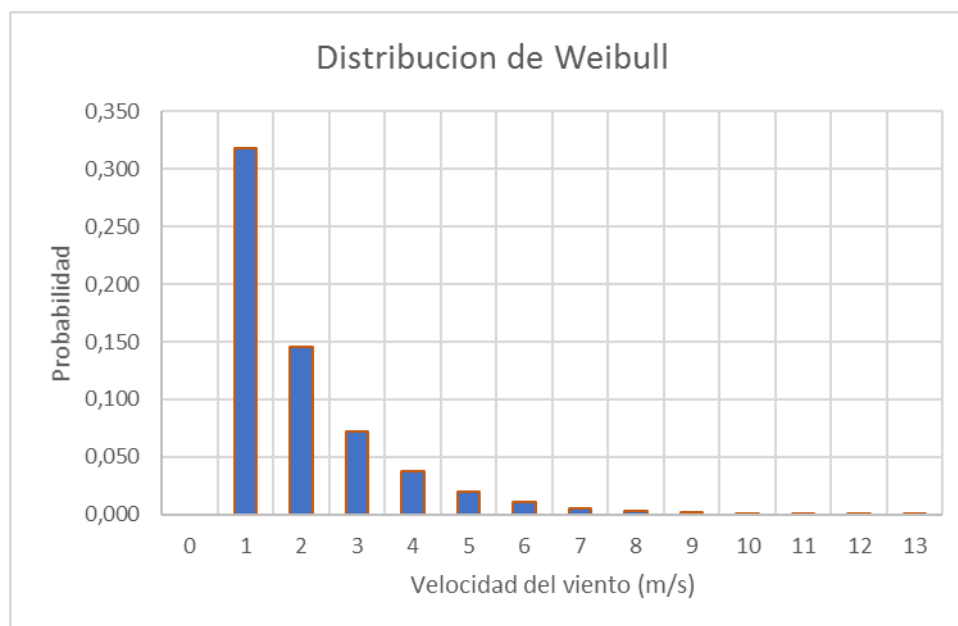


Figura N° 49: probabilidad de la velocidad

Fuente: elaboración propia

Para determinar la energía promedio diaria que se puede obtener del aerogenerador propuesto, necesitamos la curva de potencia del aerogenerador el cual se muestra en la siguiente tabla N° 20:

Tabla N° 20: Curva de potencia del Aerogenerador hdl-5 kw

Potencia nominal (W)	Velocidad del viento	Rotación (R/min)	Tensión de trabajo (V)	Potencia (W)
5000	3	81	82	105
	4	96	98	410
	5	128	138	950
	6	151	156	1815
	7	186	175	3480
	8	207	204	4270
	9	228	239	4735
	10	243	273	5290
	11	258	309	5875
	12	271	347	6310
	13	285	362	6730
	14	293	366	7010
	15	298	369	7205
	16	305	372	7380
	17	313	376	7505
	18	322	380	7620
	19	331	386	7680
	20	340	390	7695

Fuente: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4)

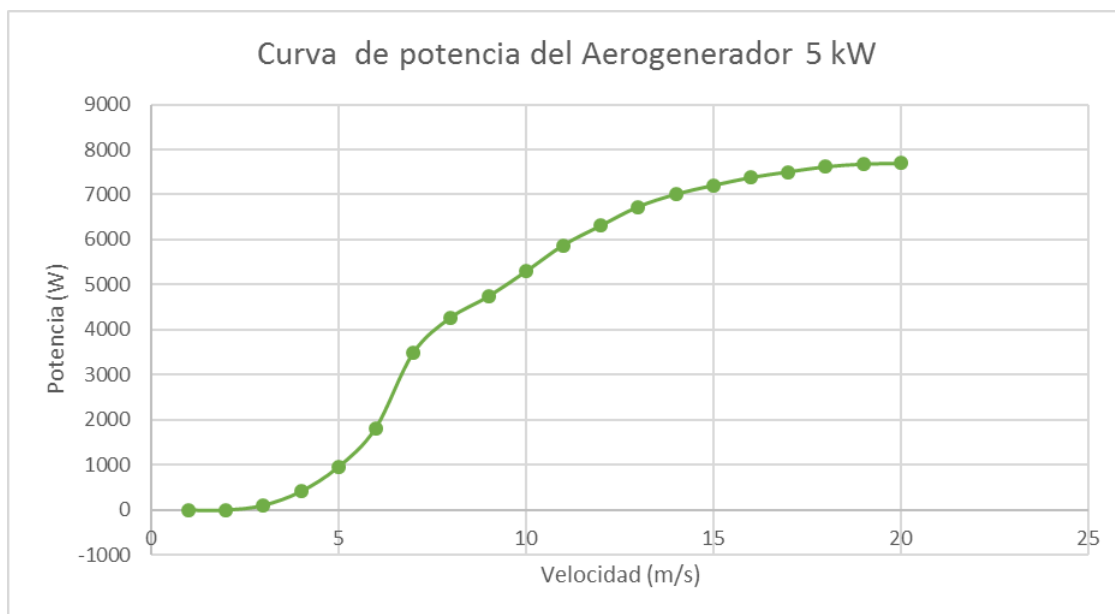


Figura N° 50: Curva de la potencia del aerogenerador

Fuente: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md\\_es\\_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4](https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-5kw-wind-turbine-for-home-48v-96v-120v-240v-360v-60346296596.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikever.11.5abc72a79fcil4)

Tabla N° 21: Energía suministrada por el aerogenerador

velocidad (m/s)	Potencia (W)	horas	Energía (wh)
0	0	0,00	0,00
1	0	456,14	0,00
2	0	208,99	0,00
3	105	103,45	10862,62
4	410	53,33	21864,13
5	950	28,23	26818,64
6	1815	15,24	27658,93
7	3480	8,35	29068,12
8	4270	4,64	19795,12
9	4735	2,60	12311,06
10	5290	1,47	7783,80
11	5875	0,84	4930,96
12	6310	0,48	3042,14
13	6730	0,28	1875,51
TOTAL			166011,05

Fuente: elaboración propia

De la tabla N° 21, obtenemos que la energía promedio diaria suministrada por el aerogenerador es de 2 780,366 Wh

#### **5.4. Dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico**

Como la energía total que suministra el sistema es de: 12 793 Wh y la energía que suministra el aerogenerador es de: 2780,366 W.h entonces la energía que debe suministrar el generador fotovoltaico es de:

8 954, 85 Wh

##### **5.4.1. Voltaje de la instalación**

El voltaje de trabajo de la instalación fotovoltaica será de 48 V Otra ventaja de suma importancia consiste en que al trabajar a 48 V se colocan más paneles en serie, lo que disminuye la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico y ello trae como consecuencia que la corriente máxima que circula por el controlador sea menor, por lo que los costos asociados a los equipos se reducen.

##### **5.4.2. Paneles solares**

El panel solar que se utilizará para nuestro sistema eléctrico fotovoltaico serán de la marca YINGLI SOLAR de 200 Wp

Tabla N° 22: Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

## JS 200 SERIES

### ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)					
Module name			YLxxxP-35b 2/3 (xxx=Pmax)		
Power output	$P_{max}$	W	210	205	200
Power output tolerances	$\Delta P_{max}$	W	$\pm 5$		
Module efficiency	$\eta_m$	%	15.8	15.5	15.1
Voltage at $P_{max}$	$V_{mpp}$	V	37.1	36.9	36.9
Current at $P_{max}$	$I_{mpp}$	A	5.65	5.55	5.42
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	V	46.6	45.9	45.7
Short-circuit current	$I_{sc}$	A	5.93	5.77	5.69

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.  
Average relative efficiency reduction of 5% at 200W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

fuelle: catalogo YINGLI SOLAR<sup>82</sup> (ANEXO 04)

Tabla N° 23: Especificaciones de los paneles fotovoltaicos

### GENERAL CHARACTERISTICS 1

Dimensions (L / W / H)	1335mm / 990mm / 40mm
Weight	14.9kg

### PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per box	2
Packaging box dimensions (L / W / H)	1350mm / 1005mm / 100mm
Number of modules per box	26
Packaging box dimensions (L / W / H)	1380mm / 1135mm / 1170mm

Fuente: catalogo YINGLI SOLAR<sup>83</sup> (ANEXO 04)

Se considerarán 12 módulos fotovoltaicos.

- b) El número de módulos fotovoltaicos conectados en serie es de:

<sup>82</sup>[http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2013\\_YGE\\_U\\_72\\_Ir.pdf](http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2013_YGE_U_72_Ir.pdf)

<sup>83</sup>[http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2013\\_YGE\\_U\\_72\\_Ir.pdf](http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2013_YGE_U_72_Ir.pdf)

$$N_{S\,mf} = V_T / V_{mf} \dots (23)$$

Donde:

$N_{S\,mf}$  = Número de módulos fotovoltaico que deben conectarse en serie

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

$V_{mf}$  = Tensión nominal de un módulo fotovoltaico (V).

$$N_{S\,mf} = 48 / 24$$

$$N_{S\,mf} = 2$$

c) Cálculo del número de ramas conectadas en paralelo

$$N_{P\,mf} = N_{mf} / N_{S\,mf} \dots (24)$$

Donde:

$N_{P\,mf}$  = Número de ramas conectadas en paralelo.

$N_{mf}$  = Número de módulos fotovoltaicos.

$N_{S\,mf}$  = Número de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

$$N_{P\,mf} = 12 / 2$$

$$N_{P\,mf} = 6$$

#### d) Parámetros eléctricos totales del campo fotovoltaico

Tabla N° 24: Parámetros eléctricos totales del sistema de captación

Potencia pico total (kWp)	Potencia Pico por paneles x Total de paneles	2,40
Corriente total de máxima potencia(A)	Corriente de máxima potencia. Por panel x Total de paneles paralelo	33,90
Corriente total de cortocircuito(A)	Corriente de cortocircuito por panel x Total de paneles paralelo	35,58
Tensión nominal total de salida del sistema (V)	Tensión de trabajo	48
tensión de máxima potencia total del sistema (V)	Tensión de máxima potencia por Panel x Total de paneles serie	74,20
Tensión total en circuito abierto del sistema (V)	Tensión de circuito abierto Panel x Total de paneles serie	93,20

Fuente: elaboración propia

### 5.5. Dimensionamiento del sistema hibrido

#### 5.5.1. Dimensionamiento del regulador de carga solar

Los reguladores deben ser elegidos con un factor de seguridad para evitar daños ocasionales, para nuestro dimensionamiento se ha considerado un factor de 1,25 tanto para determinar la corriente de entrada y salida del controlador<sup>84</sup>.

<sup>84</sup> 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 Cruceñito, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.

$$I_{REG} = 1,25 \times I_{CC\ mf} \times N_{P\ mf} \dots (25)$$

Donde:

$I_{REG}$  = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

$I_{CC\ mf}$  = Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (A).

$N_{P\ mf}$  = Número de ramas conectadas en paralelo.

1,25 = Es un factor de sobredimensionamiento más comúnmente utilizado; correspondiente al 25%.

$$I_{REG} = 1,25 \times 5,93 \times 6$$

$$I_{REG} = 44,48 \text{ A}$$

Consideraremos trabajar con el regulador BLUE SOLAR 150/45



Figura N° 51: Regulador BLUE SOLAR 150/45<sup>85</sup>

<sup>85</sup> <https://autosolar.pe/controladores-de-carga-mppt/controlador-mppt-blue-solar-150v-45a-victron>



Tabla N° 25: Especificaciones del regulador BLUE SOLAR 150/45

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software)				
Corriente de carga nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Potencia FV máxima, 12V 1a,b)	650 W	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Potencia FV máxima, 24V 1a,b)	1300 W	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Potencia FV máxima, 48V 1a,b)	2600 W	3440 W	4000 W	4900 W	5800 W
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98 %				
Autoconsumo	10 mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95 %, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos y on-off remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				

fuelle: Catalogo del regulador BLUE SOLAR<sup>86</sup> 150/45 (ANEXO 05)

El número de reguladores que vamos a utilizar se calcula de la siguiente manera

$$N_{P reg} = I_{REG} / I_{reg} \dots (26)$$

Donde:

$N_{P reg}$  = Número de reguladores que deben conectarse en paralelo.

$I_{REG}$  = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

$I_{reg}$  = Corriente de cada regulador (A).

$$N_{P reg} = 44,48 / 45$$

$$N_{P reg} = 0,99 \approx 1$$

Entonces utilizaremos un controlador MPPT 150/45

<sup>86</sup> <https://autosolar.pe/controladores-de-carga-mppt/controlador-mppt-blue-solar-150v-45a-victron>

### Comprobación

debido a que los 12 módulos fotovoltaicos se van a agrupar en 6 grupos de 2 módulos, para ser conectados al regulador debemos de comprobar que las 6 ramas en paralelo de dos módulos sus características están por debajo de la del regulador

La potencia para el regulador es de 2 600 W (para 48 V), según tabla 25; ahora la potencia de los 12 módulos fotovoltaicos es de  $12 \times 200 = 2\,400\text{ W} < 2\,600\text{ W}$ , OK.

***Se utilizara 01 controlador Blue solar de 45 A***

### 5.5.2. Baterías

Para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía.

$$C_T = (N_D \times E_{elec}) / (P_{D\max} \times V_T) \dots\dots (27)$$

Donde:

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

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

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

$P_{D\max}$  = Profundidad máxima de descarga profunda u ocasional, expresada en tanto por uno. Para baterías de plomo ácido puede valer entre 0,6 y 0,8.

$V_T$  = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico elegida por el proyectista.

$$C_T = (2 \times 9\,723) / (0,70 \times 48)$$

$$C_T = 578,75 \text{ Ah}$$



Figura N° 52: batería RITAR 200 Ah<sup>87</sup>

El número de baterías que deben conectarse en serie:

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

Donde:

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

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

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

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

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

El número de baterías que deben conectarse en paralelo

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

Donde:

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

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

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

<sup>87</sup> <https://autosolar.pe/baterias-agm-12v/bateria-ritar-12v-200ah-ra-agm>

$$N_{P \text{ bat.}} = 578,75 / 200$$

$$N_{P \text{ bat.}} = 2,89$$

Del resultado consideraremos 3

Luego el número total de baterías es de 12

***Se utilizaran 12 baterías RITAR de 200 Ah***

### 5.5.3. Inversor

Los inversores que se utilizarán para nuestro sistema de generación fotovoltaica serán los inversores de Inversor de onda pura 48V 5000W (ver figura 53)



Figura N° 53: Inversor de onda pura 48V 5000W VICTRON ENERGY <sup>88</sup>

Fuente: <https://autosolar.es/pdf/Inversor-Victron-Phoenix-1200-5000.pdf>

El inversor cuenta con las siguientes características:

<sup>88</sup> <https://www.tutiendaenergetica.es/inversor-solar-48v-2000w-tbb>

Tabla N° 26: Especificaciones técnicas del inversor 48 V-5000 W

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V   19 – 33V   38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25 °C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25 °C (W)	1000	1300	1600	2500	4500
Potencia cont. de salida 40 °C (W)	900	1200	1450	2200	4000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 / 48 V (%)	92 / 94	92 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10	8 / 10	9 / 11	15 / 15 / 16	25 / 25
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8	5 / 8	7 / 9	10 / 10 / 12	20 / 20
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3	2 / 3	3 / 4	4 / 5 / 5	5 / 6
GENERAL					

Fuente: <https://autosolar.es/pdf/Inversor-Victron-Phoenix-1200-5000.pdf>

Para determinar la potencia del inversor, utilizaremos la siguiente ecuación:

***Potencia de entrada al inversor***

$$= \frac{\text{Maxima Demanda de la carga}}{\text{Rendimiento del inversor}} \dots (30)$$

$$\text{Potencia de entrada al inversor} = \frac{2,943}{0,95} = 3,098 \text{ kW}$$

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

#### 5.4.5. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

la Intensidad máxima que debe soportar el tramo campo fotovoltaico – regulador lo hallaremos haciendo uso de la siguiente ecuación

$$I_{\text{minimo del regular}} = 1,25 \times I_{\text{Cortocircuito del panel}} \times N_{\text{ramas en paralelo}} \quad (31)$$

Reemplazando:

$$I_{\text{MAX paneles-controlador}} = 1,25 \times 5,93 \times 6 = 44,48 \text{ A}$$

hallaremos la intensidad de corriente eléctrica para el Para el tramo baterías inversor, la corriente eléctrica está dado por (

$I_{\text{MAX controlador-inverso}}$ ):

$$I_{\text{MAX controlador-inversor}} = 1,25 \times \frac{P_{\text{carga}}}{(V_{\text{tension de trabajo}} \times \eta_{\text{inversor}})} \quad (32)$$

Reemplazando tenemos:

$$I_{\text{MAX controlador-inversor}} = \frac{1,25 \times 2943}{48 \times 0,94} = 80,67 \text{ A}$$

Para el cálculo de la sección mínima del conductor eléctrico utilizaremos la ecuación siguiente:

$$S_{\text{CABLE}} = \frac{2 \times L \times I}{56 \times \Delta V} \quad (33)$$

Donde:

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

$L$  = Longitud tramo [m].

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

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

Ahora consideraremos las caídas de tensión máximas en cada tramo:

- a) Para el tramo generador fotovoltaico- controlador se recomienda una caída de tensión entre 1 % a 3 %, en este caso se ha considerado el 3 % y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máximo de tensión es de 1,44 V
- b) Para el tramo batería - inversor se recomienda una caída de tensión máxima de 1% y como la tensión de trabajo es 48 V, entonces la caída máximo de tensión es de 0,48 V

Tabla N° 27: Caída de tensión por cada tramo de la instalación fotovoltaica<sup>89</sup>

Subsistema	Caída tensión Máxima
Paneles – Regulador	3%
Regulador – Baterías	1%
Baterías – Inversor	1%

Tabla N° 28: Calculo de la sección de los conductores eléctricos en cada tramo

<b>Generador fotovoltaico - Regulador</b>	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 6 \times 44,48 / (56 \times 1,44)$ $S_{CABLE} = 6,62 \text{ mm}^2$
<b>Batería- Inversor</b>	$S_{CABLE} = 2 \times L \times I_{MAX} / (56 \times \Delta V)$ $S_{CABLE} = 2 \times 3 \times (80,69) / (56 \times 0,48)$ $S_{CABLE} = 18,01 \text{ mm}^2$

Fuente. Elaboración propia

<sup>89</sup> <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Tabla N° 29: Características eléctricas de los conductores THW-90



TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm <sup>2</sup> )								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (")	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

fuelle: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000464.pdf>

De la Tabla N° 29, Seleccionamos el conductor de 10 mm<sup>2</sup> THW-90 para el tramo generador fotovoltaico - controlador y para el tramo batería- inversor utilizaremos 25 mm<sup>2</sup> THW-90, con la finalidad de tener un elemento de protección adecuado

#### 5.5.4. Elementos de protección<sup>90</sup>

Con la finalidad de proteger los equipos de la instalación híbrida eólico fotovoltaica de sobrecargas o cortocircuitos se empleará

<sup>90</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>



fusibles de la marca **DF Electric**, que proporcionan una adecuada protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm} \dots (34)$$

siendo,

$I_b$  la intensidad de corriente que recorre la línea.

$I_n$  la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

$I_{adm}$  es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.



Figura N° 54: Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas<sup>91</sup>

---

<sup>91</sup> <http://www.df-sa.es/documentacion/documentos-fotovoltaicos/fusibles-y-bases-fotovoltaicos.pdf>  
(ANEXO 10)

Tabla N° 30: Selección de fusibles de protección<sup>92</sup>

<b>Generador - fotovoltaico - Regulador</b>	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $44,48 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (62)$ $44,48 \leq I_n \leq 55,80$ $I_n = 50 \text{ A}$
<b>Batería- Inversor</b>	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm}$ $80,69 \leq I_n \leq 0,9 \cdot (158)$ $80,69 \leq I_n \leq 142,20$ $I_n = 100 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia

#### 5.5.4.1. Protección del inversor

A la salida del inversor utilizaremos protecciones con interruptores termomagnéticos con la finalidad de evitar choques eléctricos. Además, usaremos un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad.

$$I_{MAX \text{ carga}} = 2\,943 / (220) =$$

$$I_{MAX \text{ carga}} = 13,38 \text{ A}$$

seleccionamos un interruptor termomagnético de 15 A

## 5.6. Sistema de distribución eléctrica en 220 V

Está diseñada para transportar la energía eléctrica suministrada a la tensión de servicio de los abonados desde la salida de baja tensión de los puntos de

<sup>92</sup> Elaboración propia

transformación hasta las acometidas. También se ubican en esta red, los dispositivos del alumbrado público.

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

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

#### **5.6.1. Cálculos eléctricos**

Las redes de distribución secundaria proyectadas serán íntegramente aéreas y de configuración topológica radial, para la definición del material de los soportes y de los conductores se considerará postes de concreto armado y conductores de aleación de aluminio tipo autoportante CAAI.

##### **5.6.1.1. Características del sistema eléctrico**

Para el desarrollo de los cálculos justificativos, se ha tomado en consideración las siguientes características eléctricas:

##### **Redes Secundarias**

- Tensión de Servicio	:	220V; 1Ø
- Frecuencia	:	60 Hz.
- Sistema Adoptado	:	Aéreo, radial.
- Conductores	:	CAAI

### **Alumbrado Público**

- Tensión de Servicio : 220 V, 1Ø
- Frecuencia : 60 Hz.
- Sistema Adoptado : Aéreo, radial.
- Conductores : NLT 2x2,5 mm<sup>2</sup>

#### **5.6.1.2. Cálculo de caída de tensión**

La caída máxima de tensión entre el generador fotovoltaico y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal, según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE), para nuestro caso Sistema 220 V: Máxima caída tensión 15,4 V.

Como el sistema de distribución va ser monofásico en 220 V, se ha considerado el conductor 2x16/25 y 2x16/25, en los tramos que tengan alumbrado público y no respectivamente.

Tabla N° 31: Características eléctricas de los conductores eléctricos seleccionados

Cable	K(factor de caída de tensión)	Capacidad de corriente (A)
2x16/25	3,272	64
1x16/25	3,272	64

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

según la Tabla N° 31 la capacidad de corriente del cable de 64 A.

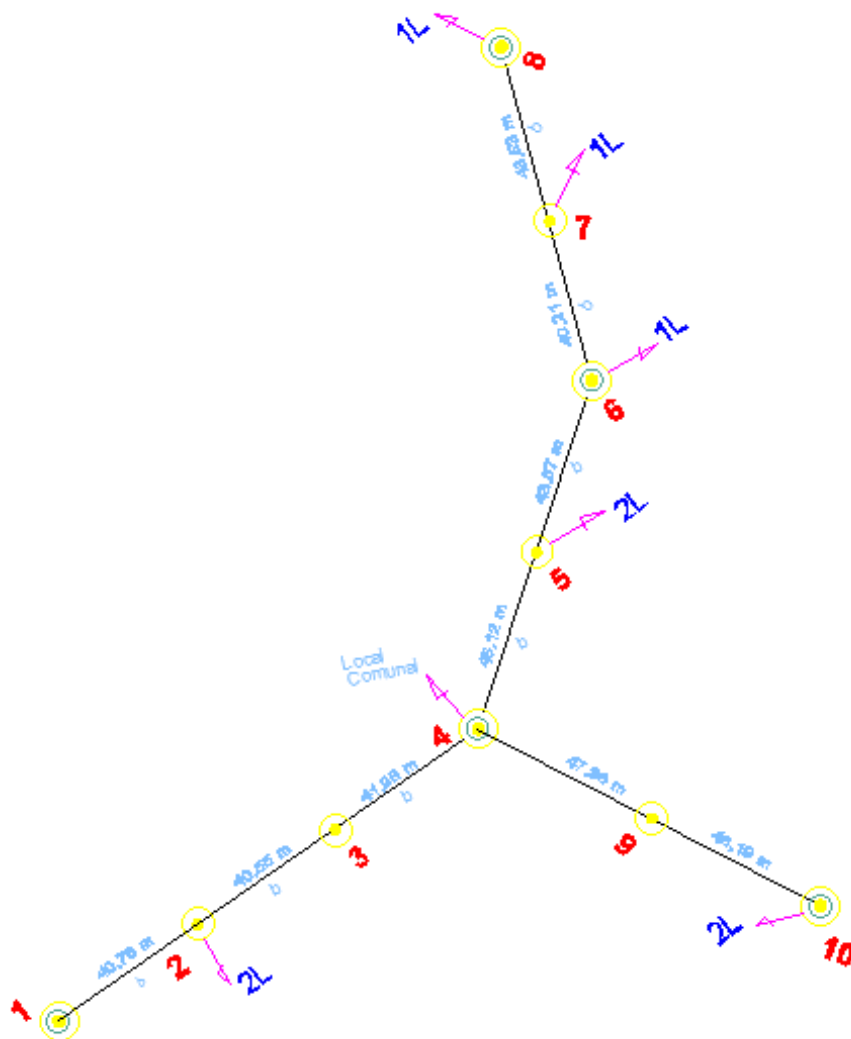


Figura N° 55: Diagrama de carga<sup>93</sup> C-I

Tabla N° 32: Caída de tensión<sup>94</sup> C-I

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
	Nº Lotes	GARGA ESP.	CORRIENTE [A]	POT. [ W ]	Σ I [ A ]						
1	0	1	0,0	0,0	5,0	15,00	2x16+N25	3,272	0,2	0,2	0,11%
2	2		1,1	238,0	5,0	40,76	1x16+N25	3,272	0,7	0,9	0,42%
3	0		0,0	0,0	3,9	40,55	1x16+N25	3,272	0,5	1,4	0,65%
4	2		1,2	269,0	3,9	41,98	1x16+N25	3,272	0,5	2,0	0,90%
5	2		1,1	238,0	2,7	45,12	1x16+N25	3,272	0,4	2,4	1,08%
6	1		0,5	119,0	1,6	43,57	1x16+N25	3,272	0,2	2,6	1,18%
7	1		0,5	119,0	1,1	40,21	1x16+N25	3,272	0,1	2,7	1,25%
8	1		0,5	119,0	0,5	43,53	1x16+N25	3,272	0,1	2,8	1,28%
9	0		0,0	0,0	1,1	57,36	1x16+N25	4,272	0,3	1,7	0,77%
10	2		1,1	238,0	1,1	46,19	1x16+N25	5,272	0,3	2,0	0,89%
1,28%					<	7%	ok				

<sup>93</sup> Fuente: elaboración propia del autor

<sup>94</sup> Fuente: elaboración propia del autor

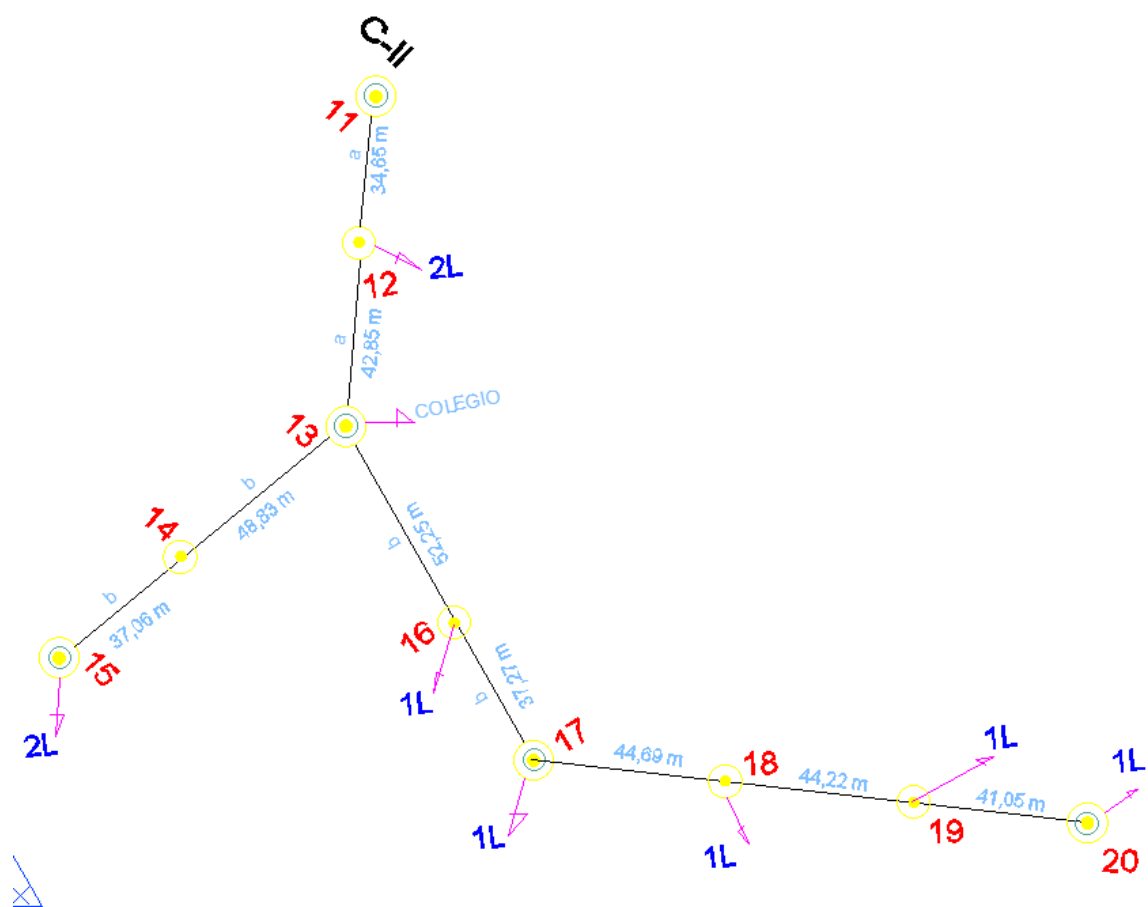


Figura N° 56: Diagrama de carga<sup>95</sup> C-II

Tabla N° 33: Caída de tensión<sup>96</sup> C-II

Punto	Servicio Particular					Long. [ m ]	Tipo y Sección de Cond. [ mm² ]	F.C.T. [ V/A-km ]	Δ V S.P. [ V ]	Σ Δ V Total [ V ]	% de Δ V
	N° Lotes	carga esp.	CORRIENTE [ A ]	POT. [ W ]	Σ I [ A ]						
11	0	1,0	0,0	0,0	5,1	15,00	2x16+N25	3,272	0,3	0,3	0,11%
12	2		1,1	238,0	5,1	34,65	2x16+N25	3,272	0,6	0,8	0,38%
13	5		3,0	650,0	4,0	42,85	2x16+N25	3,272	0,6	1,4	0,64%
14	0		0,0	0,0	0,5	48,83	1x16+N25	4,272	0,1	1,5	0,69%
15	2		1,1	238,0	1,6	37,06	1x16+N25	5,272	0,3	1,8	0,83%
16	1		0,5	119,0	0,5	52,25	1x16+N25	6,272	0,2	1,6	0,72%
17	1		0,5	119,0	0,5	37,27	1x16+N25	7,272	0,1	1,7	0,78%
18	1		0,5	119,0	1,1	44,69	1x16+N25	3,272	0,2	1,9	0,85%
19	1		0,5	119,0	0,5	44,22	1x16+N25	3,272	0,1	2,0	0,89%
20	1		0,5	119,0	0,5	41,05	1x16+N25	3,272	0,1	2,0	0,92%

0,92% < 7% ok

<sup>95</sup> Fuente: elaboración propia

<sup>96</sup> Fuente: elaboración propia

De la caída de tensión de ambos circuitos observamos que es menor del 7 % , por lo tanto el cable propuesto cumple con los requerimiento eléctricos

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

Tabla N° 34: Distancia mínima 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 (m)	6,5	5,5	4	5,5
A lo largo (m)	5,5	5	4	4,5

Fuente: Código Nacional de Electricidad

### 5.6.2. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes

Los cálculos mecánicos tienen la finalidad de determinar las tensiones y flechas en las diversas condiciones de operación. Las características mecánicas de los cables autoportantes se detallan en la Tabla N° 36

#### 5.6.2.1. Hipótesis de estado

Las hipótesis de estado para los cálculos mecánicos del conductor se definen sobre la base de los factores meteorológicos: Velocidad del viento, temperatura.

Los parámetros de temperatura en las hipótesis a utilizarse en el estudio; de acuerdo a los datos del SENAMHI son los siguientes:

Tabla N° 35: Hipótesis para los cálculos mecánicos

<b>HIPÓTESIS I : ESFUERZO MÁXIMO</b>			<b>Aplicación</b>
Temperatura	5	°C	Máximo esfuerzo conductores
Velocidad del viento	70	km/h	Máximo: 60% de Esfuerzo de rotura final
Manguito de hielo	0	mm	
<b>HIPÓTESIS II: ESTADO INICIAL</b>			<b>Aplicación</b>
Temperatura	19	°C	18% de Esf. Rotura
Velocidad del viento	0	km/h	7% de Esf. Rotura
Manguito de hielo	0	mm	
<b>HIPÓTESIS III: FLECHA MÁXIMA</b>			<b>Aplicación</b>
Temperatura	50	°C	Máxima flecha por máxima
Velocidad del viento	0	km/h	Temperatura
Manguito de hielo	0	mm	Condición de Mínima flecha

Fuente: elaboración propia

#### 5.6.2.2. Cálculo de cambio de estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la ecuación de TRUXA, considerando como datos de partida los que témenos en la siguiente tabla N° 36



Tabla N° 36: Características de los cables autoportantes propuestos<sup>97</sup>

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm <sup>2</sup> )	DIAMETRO EXTERIOR TOTAL(mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELASTICIDAD DEL PORTANTE (kN/mm <sup>2</sup> )	COFICIENTE DE DILATACION TERMICA (1/°C)
2X16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1X16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

Aplicando la Ecuación 22, calculamos el vano básico

$$V_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n a_i}} \dots (35)$$

Reemplazando datos:

Consideraremos el tramo entre el poste 13 y el poste 20 (ANEXO 11)

$$V_m = \sqrt{\frac{52,25^3 + 37,27^3 + 44,69^3 + 44,22^3 + 41,05^3}{52,27 + 37,27 + 44,69 + 44,22 + 41,05}} = 44,75 \text{ m}$$

Consideraremos un vano básico de 47 m

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

### De la altura de postes.

La altura de postes queda definida de la siguiente manera:

Distancia del vértice del poste al inicio del perno gancho = 0,30 m.

<sup>97</sup> Norma D.G.E. rd031-2003-EM

Tabla N° 37: Flecha Máxima para el vano básico<sup>98</sup>

Vano (m)	40	43	45	47
<b>HIP. I</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	8,38	8,48	8,55	<b>8,62</b>
$f$ (m)	0,38	0,43	0,47	<b>0,51</b>
<b>HIP. II</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	5,44	5,44	5,44	<b>5,44</b>
$f$ (m)	0,24	0,27	0,30	<b>0,33</b>
<b>HIP. III</b> $\sigma$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	2,70	2,80	2,86	<b>2,92</b>
$f$ (m)	0,47	0,53	0,57	<b>0,61</b>

Flecha máxima del conductor (de la tabla N° 37)

=0,57 m.

La altura mínima del conductor al suelo (de la tabla N° 34). =

5,50 m.

La altura de empotramiento para postes de C.A.C. en terrenos normales

(Norma DGE 015-pd-1). Es de: 0,10H+0,60 m.

Para calcular la altura del poste hay que considerar:

Aplicando la siguiente ecuación:

$$H = 0,30 + 0,57 + 5,50 + (0,10 \cdot H + 0,40) \dots (36)$$

$$H = 7,52 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$$

El poste de 8m CAC

**En cuanto a los soportes para el conductor aéreo**, se utilizarán los soportes normalizados que se detallan en la norma D.G.E. rd023-2003-EM. (Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias en electrificación rural).

<sup>98</sup> Elaboración propia

De la Tabla N° 37, observamos que para el vano básico de 47m el valor del esfuerzo máximo es de  $8,62 \text{ kg/mm}^2$ , que está muy por debajo del esfuerzo según el ítem ( $17,60 \text{ kg/mm}^2$ )

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

## 5.7. Medrado y presupuesto

### 5.7.1. Medrado y presupuesto del sistema fotovoltaico

Tabla N° 38: valor referencial para el suministro de materiales para el sistema híbrido eólico fotovoltaico<sup>99</sup>

Descripción	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 Aerogenerador HDL- 5kW	6 779,00	6 779,00
01 Torre de 15 m, incluyendo accesorios	9 000,00	9 000,00
12 paneles solares YINGLI SOLAR 200 Wp	729,32	8 751,80
12 Baterías RITAR de 200 Ah	1 393,06	16 716,72
01 Inversor VICTRON ENERGY de 5 kW	5 585,94	5 585,94
Estructura para 12 paneles solares	948,65	948,65
01 Controlador 150/45 BLUE SOLAR	2 033,15	2 033,15
Accesorios	400,00	400,00
Total, del Suministro		50 215,26

---

<sup>99</sup> Fuente: elaboración propia

Tabla N° 39: Costo directo para el sistema eólico-fotovoltaico<sup>100</sup>

<b>"UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA Y SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA AL CASERIO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA."</b>		
<b>RESUMEN GENERAL SISTEMA EOLICO -FOTOVOLTAICO</b>		
<b>ITEM</b>		<b>TOTAL</b>
<b>A</b>	<b>SUMINISTROS DE MATERIALES</b>	50 215,26
<b>B</b>	<b>MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>	7 532,29
<b>C</b>	<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>	3 515,07
<b>F</b>	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)</b>	<b>61 262,62</b>

<sup>100</sup> Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 40: Presupuesto para el suministro de materiales del subsistema de distribución secundaria (elaboración propia)**

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS					
"UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA Y SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA AL CASERIO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA."					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO UNID.	Metrado Total Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
<b>1,00</b>	<b>POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO</b>				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)		10,00	645,75	6 457,50
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	10,00	410,00	4 100,00
	<b>SUB-TOTAL 1:</b>				<b>10 557,50</b>
<b>2,00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO</b>				
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 1X16/25	Km	0,76	4000,00	3 057,65
2,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2X25/25	Km		6000,00	
	<b>SUB-TOTAL 2:</b>				<b>3 057,65</b>
<b>3,00</b>	<b>ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES</b>				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	13,00	13,00	169,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	10,00	15,00	150,00
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA AI 25mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 35mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,05	CONECTOR, PARA AI 25mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	2,00	6,70	13,40
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA AI 35mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	83,00	0,35	29,05
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	12,00	3,05	36,60
3,09	CINTA AISLANTE	rl	30,00	3,60	108,00
	<b>SUB-TOTAL 3:</b>				<b>506,05</b>
<b>4,00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE</b>				
4,04	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BIPOLAR, 2x10 mm2, CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4,07	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm², CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	345,00	4,90	1 690,50
4,08	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm²	m	54,00	6,60	356,40
	<b>SUB-TOTAL 4:</b>				<b>2 046,90</b>
<b>5,00</b>	<b>LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS</b>				
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 AI 35 mm² /Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	2,00	10,50	21,00
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm² /Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	2,00	5,92	11,84
	<b>SUB-TOTAL 5:</b>				<b>724,84</b>
<b>6,00</b>	<b>RETENIDAS Y ANCLAJES</b>				
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	110,00	4,20	462,00
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A°G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	66,00	9,50	627,00
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 C	u	11,00	35,00	385,00
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	11,00	5,00	55,00
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	22,00	9,00	198,00
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	22,00	2,00	44,00
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	33,00	1,00	33,00
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	11,00	28,00	308,00
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	11,00	6,70	73,70
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmØ Y COBRE DE 16 mm²	u	11,00	5,92	65,12
	<b>SUB-TOTAL 6:</b>				<b>2 250,82</b>
<b>7,00</b>	<b>ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS</b>				
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	13,00	10,80	140,40
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	20,00	8,20	164,00
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30	
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm Ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	9,00	11,20	100,80
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmØ	u	1,00	8,30	8,30
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u		6,58	
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmØ	u	31,00	2,00	62,00
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	40,00	4,28	171,20
	<b>SUB-TOTAL 7:</b>				<b>646,70</b>
<b>8,00</b>	<b>PUESTA A TIERRA</b>				
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	6,00	43,00	258,00
	CONECTOR BIMETÁLICO PARA AI 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	6,00	7,20	43,20
8,02	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	6,00	6,50	39,00
	<b>SUB-TOTAL 8:</b>				<b>340,20</b>
<b>9,00</b>	<b>CONEXIONES DOMICILIARIAS</b>				
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	20,00	33,49	669,80
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm f x 64mm DE LONGITUD	u	20,00	1,20	24,00
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	20,00	0,66	13,20
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	80,00	1,00	80,00
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA AI 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	20,00	10,50	210,00
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA AI 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	20,00	4,30	86,00
9,11	EMPLADOR DE A°G°	u	40,00	2,10	84,00
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	20,00	76,66	1 533,20
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CL	u	20,00	90,00	1 800,00
	<b>SUB-TOTAL 9:</b>				<b>4 500,20</b>
<b>TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES</b>				<b>S/.</b>	<b>24 630,86</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 41: Presupuesto referencial para el montaje del subsistema de distribución eléctrica

MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS					
"UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA Y SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA AL CASERIO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA."					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO UNID.	METRADO TOTAL CANT.	PRECIO UNIT. S/.	TOTAL S/.
<b>1,00</b>	<b><u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u></b> COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :				
1,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm2	km	0,0		0,00
1,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm2	km	0,8	606,89	463,91
1,03	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 1X16/25 mm2	km	0,0	510,25	0,00
	<b>SUB-TOTAL 1:</b>				<b>463,91</b>
<b>2,00</b>	<b><u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u></b>				
2,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m <sup>3</sup>	9,2	31,62	292,17
2,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m <sup>3</sup>	0,0	112,44	0,00
2,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	6,0	18,19	109,14
2,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m <sup>3</sup>	12,0	45,57	547,30
	<b>SUB-TOTAL 2:</b>				<b>948,61</b>
<b>3,00</b>	<b><u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u></b>				
3,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	2,0	19,63	39,26
3,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	2,0	34,58	69,16
	<b>SUB-TOTAL 3:</b>				<b>108,42</b>
<b>4,00</b>	<b><u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u></b> INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE : CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
4,01	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDIDOR)	u	9,0	35,26	317,34
4,02	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDIDOR)	u	7,0	42,67	298,69
4,03	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA ELECTRONICO	u	16,0	11,09	177,44
4,04	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGIA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	16,0	20,00	320,00
	<b>SUB-TOTAL 4:</b>				<b>1 113,47</b>
<b>5,00</b>	<b><u>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:</u></b>				
5,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97	452,97
	<b>SUB-TOTAL 5:</b>				<b>452,97</b>
<b>TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>				<b>S/.</b>	<b>9 755,09</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 42: Presupuesto referencial para el subsistema de distribución eléctrica

<b>RESUMEN DEL VALOR REFERENCIAL - REDES SECUNDARIAS</b>		
<b><i>"UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA Y SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA AL CASERIO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA."</i></b>		
<b>RESUMEN GENERAL DE REDES SECUNDARIAS</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>A</b>	<b>SUMINISTROS DE MATERIALES</b>	<b>24 630,86</b>
<b>B</b>	<b>MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>	<b>9 755,09</b>
<b>C</b>	<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>	<b>2 463,09</b>
<b>F</b>	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)</b>	<b>36 849,04</b>

Fuente: elaboración propia



Tabla N° 43: Presupuesto total para el sistema hibrido eólico fotovoltaico

<b>"UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA Y SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA AL CASERIO ALTO PONGOYA EN CHIMBAN PROVINCIA DE CHOTA DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA."</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>A</b>	<b>PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION</b>	36 849,04
<b>B</b>	<b>PRESUPUESTO DEL SISTEMA EOLICO-FOTOVOLTAICO</b>	61 262,62
	<b>TOTAL S/.</b>	<b>98 111,66</b>
<b>G</b>	<b>GASTOS GENERALES</b>	9 811,17
<b>H</b>		9 811,17
<b>I</b>	<b>COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)</b>	<b>117 733,99</b>
<b>J</b>	<b>I.G.V. (S/.)</b>	21 192,12
<b>COSTO TOTAL INLUIDO I.G.V. (S/.)</b>		<b>138 926,11</b>

Fuente: elaboración propia

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- a) Se realizó el cálculo del consumo de energía diaria promedio proyectada a partir de la población y número de viviendas actuales que es de 23, 01 centro educativo, 01 Local comunal, el cual es de 9,723 kWh/día, con una máxima demanda de 2 943 W, teniendo en cuenta un periodo de tiempo de utilización de cada equipo instalado en cada vivienda.
- b) Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA, software Solarius Plus y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo  $4,61 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ ; los datos de la velocidad y dirección del viento se obtuvieron de la estación meteorología automática de Chota. El sistema eléctrico fotovoltaico compuesta por 12 paneles fotovoltaicos de 200 Wp de potencia cada uno, 12 baterías de acumuladores, 01 regulador de carga, 01 inversor ,01 aerogenerador de 5 kW con su controlador de carga.
- c) Se dimensionó el subsistema de distribución de donde se obtuvo que los postes a usar serán de C.A.C. de 8m; el conductor eléctrico a usar será el 1x16+16/25 para los tramos de alumbrado y 1x16/25 para los tramos donde no hay alumbrado; la ruta de la red de distribución está elaborado en el ANEXO 11.
- d) El presupuesto del sistema híbrido eólico fotovoltaico con la red de distribución secundaria tiene un costo de S/. 138 926,11

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acevedo Garces, Favio de Jesus. «Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios.» Bogota, 2016.
- 2) Agustin Castejon, German Santamaria. *instalaciones solares fotovoltaicas*. España, s.f.
- 3) Arias, Joaquin Jordan. «Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona.» Lima, 2009.
- 4) Castejon, Agustin. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España, 1998.
- 5) Céspedes Molano, Luis Ernesto. «Evaluación técnica y diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica en la planta Quila S.A.» Bogota, 2007.
- 6) Chercca Ramirez, Juan Avilio. «Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el poblado rural la Gramita de Casma.» Lima, 2014.
- 7) Diaz Corcobado, Tomas. *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico, 2008.
- 8) Enríquez Harper, Gilberto. *ABC de la calidad de la ENERGIA ELECTRICA*. Mexico: Limusa. s.f.
- 9) Gonzales Peñafiel, Gustavo Guillermo, Juan Carlos Sambrano Manosalvas, y Edinson Fabricio Estrada Pulgar. «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.» Guayaquil, 2014.
- 10) Ixtebe Portabelle, Cilveti. «Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red.» Barcelona, 2010.
- 11) Joachin Barrios, Carmencita De los Angeles. «Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a la comunidad Buena Vista, San Marcos.» Guatemala, 2008.
- 12) 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.
- 13) Lopez Argumedo, Ester Sanz. «Estudio técnico-Económico de una instalación solar fotovoltaica conectada a red de 5kWp.» Leganes, 2009.

- 14) Moran Santamaria, Jorge Maximo. «Análisis y evaluación para la viabilidad técnico y económico en el uso de la energía fotovoltaica para el centro poblado Cruz de Pañala.» Lambayeque, 2013.
- 15) Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.» Lima, 2005.
- 16) Prado Mora, Carlos Roberto. «Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.» 2008.
- 17) SENAMHI. «Atlas de energía solar del Perú.» 2003.
- 18) solar, Guía de la energía. «Guía de la energía solar.» 2006, 2016.
- 19) Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

**ANEXO N°02. VELOCIDAD DEL VIENTO SEGÚN EL ATLAS EÓLICO DEL PERÚ**

**ANEXO N°03. VELOCIDAD DEL VIENTO SEGÚN LA EMA GORE-CHOTA**

**ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS**

**ANEXO N°05. FICHA TÉCNICA DEL REGULADOR SOLAR**

**ANEXO N°06. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS**

**ANEXO N°07. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR**

**ANEXO N° 08. EQUIPAMIENTO DEL SISTEMA HIBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO**

**ANEXO N°09. CATALOGO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS THW-90**

**ANEXO N°10. CATALOGO DE FUSIBLES DF**

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

**ANEXO N° 12. PLANILLA DE METRADO**