



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
TESIS

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Diseño de un parque híbrido de 15MW aplicado en la provincia
de Celendín, región Cajamarca”**

Autor:

Bach: Fernández Guevara, Adolfo

Asesor:

Tapia Asenjo, Robinson

LAMBAYEQUE-PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Dimensionamiento de un parque híbrido de
15MW aplicado en la provincia de Celendín,
región Cajamarca”**

Autor:

Bach: FERNÁNDEZ GUEVARA ADOLFO

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: MSC. ING. CHAMBERGO LARREA CARLOS AUGUSTO.

SECRETARIO: MSC. ING. AGUINAGA PAZ AMADO.

MIEMBRO: MSC. ING. DÁVILA HURTADO FREDY.

ASESOR: MSC. ING. TAPIA ASENJO ROBINSON.

Lambayeque – Perú

Diciembre 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TITULO: “Dimensionamiento de un parque híbrido de 15MW aplicado en la provincia de Celendín, región Cajamarca”.

CONTENIDOS:

CAPITULO I: INTRODUCCION- ASPECTO INFORMATIVO.

CAPITULO II: ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO EN LA REGIÓN CAJAMARCA.

CAPITULO III: INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA TOMA DE DATOS.

CAPITULO IV: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO.

CAPITULO V: DESCRIPCIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL PARQUE HÍBRIDO.

CAPÍTULO VI: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PROYECCIÓN DEL PARQUE.

CAPÍTULO VII: ANEXOS DEL CÁLCULO.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES GENERALES.

VALOR REFERENCIAL, CÁLCULO DEL VAN Y TIR, COSTO DE MANTENIMIENTO.

BIBLIOGRAFIA Y LINKOGRAFÍA.

Autor: Bach. Fernández Guevara Adolfo: _____

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

**Lambayeque – Perú
Diciembre del 2019**

DEDICATORIA

A mis padres, por su constante apoyo y amigos con quienes he compartido conocimientos, agradecer a la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, a su prestigiosa plana docente quienes laboran actualmente, por brindarme sus conocimientos de pre grado que gracias a ellos ahora soy profesional.

RESUMEN

A continuación, se muestra el siguiente trabajo de investigación en el diseño y selección de equipos que permitan aprovechar los recursos naturales mencionada en la tesis: Diseño de un parque híbrido ubicado en la provincia de Celendín, región Cajamarca con la finalidad de mejorar el uso de la energía en los pobladores de la región, aprovechar los recursos como la radiación solar, la velocidad del viento, generar más estabilidad y necesidades como salud, educación, transporte, comercio en los pobladores que carecen de energía. Cajamarca actualmente es una región con abundantes vientos, por ende, ay que aprovecharlos en fortalecer las necesidades de los pobladores y principalmente el desarrollo del país. Gracias al presupuesto del canon minero que actualmente operan en Cajamarca.

En el diseño se detalla la selección, cálculo y energía producida por del aerogenerador proyectado a 20 años, como objetivo principal de hallar los índices de consumo energético respecto a la máxima demanda seleccionada para la provincia y dar un mejor uso de la energía. Establecer el diseño del aerogenerador, las aspas, curva de potencias del aerogenerador, rosa de energía producida proyectada, costo de mantenimiento, presupuesto en la adquisición de aerogeneradores diseñados. Un aerogenerador convierte la velocidad lineal recibida por las palas en velocidad de rotación para luego esa misma velocidad multiplicarla posteriormente generar energía a través de las turbinas del viento. Los principales partes de un aerogenerador que son más costosos son la torre y las palas; ocupan el 26 y 23 % de su costo total; aun las palas suelen ser las más importantes ya que reciben la energía para así poder ser enviado hacia la caja multiplicadora, turbinas (llamado tren de potencias), donde es transformada la energía mecánica en energía eléctrica. La energía producida por los aerogeneradores es llevada mediante una línea de transmisión de 20 kV hacia la subestación, en donde se encuentra ubicado un transformador de potencia de 35 MVA para aumentar a una tensión de 220 k V;

que será llevada hacia los pueblos cercanos, con la finalidad de mejorar el uso de la energía llamado eficiencia energética.

El diseño es de sumo interés en las actividades de planteamiento para solucionar un problema técnico o práctico en la actualidad. Por ello hemos propuesto diseñar un parque híbrido con la finalidad de solucionar los problemas en la región Cajamarca, más aún invertir el presupuesto del canon minero que realiza sus actividades en nuestra región Cajamarca hoy en día en la adquisición de aerogeneradores para promover la eficiencia energética en todo el país y posteriormente generar solvencia energética cediendo energía a los países vecinos.

En la actualidad el cálculo es realizado con los cursos básicos de formación profesional como diseño mecánico, esfuerzos de elementos de máquina. Dónde es realizado en su totalidad utilizando los softwares como nueva herramienta de cálculo. La selección se realizó mediante tablas, el cual permite establecer las normativas presentadas en su fabricación. En el futuro la energía renovable reemplazara a las energías térmicas que utilizan combustible para generar energía, así como también a la biomasa.

Los instrumentos utilizados en las mediciones son: Radiómetro, anemómetro, para realizar mediciones manuales; anemómetro de veleta, Piranómetro PR20, equipos de la estación meteorológica de Celendín para obtener datos de radiación solar y velocidad del viento de un pronóstico de 05 años hasta la actualidad; utilizados para el cálculo de la regresión ajustada o llamada curva estadística proyectada, posteriormente obtener el cálculo de los paneles fotovoltaicos y aerogeneradores con sus respectivos gráficos de proyección de energía producida. También se realizó encuestas a los pobladores sobre qué artefactos eléctricos utilizan, como también a la concesionaria en la provincia de Celendín para calcular la máxima demanda de uso de energía diaria de la provincia. Una vez presentado este diseño al Gobierno Regional de Cajamarca, para el estudio de viabilidad económica, se verificará el estudio de impacto ambiental para posteriormente ejecutarla al servicio de la población.

ABSTRACT

Below, the following research work is shown in the design and selection of equipment that allows to take advantage of the natural resources mentioned in the thesis: Design of a hybrid park located in the province of Celendín, Cajamarca region in order to improve the use of energy in the inhabitants of the region, take advantage of resources such as solar radiation, wind speed, generate more stability and needs such as health, education, transport, trade in the people who lack energy. Cajamarca is currently a region with abundant winds, therefore, and to take advantage of them in strengthening the needs of the inhabitants and mainly the development of the country. Thanks to the budget of the mining fee currently operating in Cajamarca.

The design details the selection, calculation and energy produced by the 20-year-old projected wind turbine, as the main objective of finding the energy consumption indices with respect to the maximum demand selected for the province and making better use of energy. Establish the design of the wind turbine, the blades, wind turbine power curve, projected produced energy rose, maintenance cost, budget in the acquisition of designed wind turbines. A wind turbine converts the linear speed received by the blades into rotation speed and then that same speed then multiply it to generate energy through wind turbines. The main parts of a wind turbine that are more expensive are the tower and the blades; they occupy 26 and 23% of their total cost; Even the blades are usually the most important since they receive the energy so that they can be sent to the multiplier box, turbines (called a power train), where mechanical energy is transformed into electrical energy. The energy produced by the wind turbines is carried through a 20 kV transmission line to the substation, where a 35 MVA power transformer is located to increase to a voltage of 220 kV.

Contenido:

2.5.1. Objetivo General.....	18
2.5.2. Objetivo Específicos:	18
CAPITULO I:	21
I. Aspecto Informativo.	21
I.1. Geografía de la provincia de Celendín, región Cajamarca:	21
Tabla N° 1: Número de viviendas (INEI Censos Nacionales de población y vivienda 2017).....	21
Tabla N° 2: Número de habitantes (INEI Censos Nacionales de población y vivienda 2017).....	22
Fig. N° 1: Mapa de ubicación (Google Maps).....	23
II. Definiciones Conceptuales del Sistema Eléctrico Utilizado:.....	23
III. Variables Utilizados en el Dimensionamiento de la Instalación:.....	25
III.1. Variables Utilizadas en el Dimensionamiento Fv.....	25
III.2. Variables Utilizadas en el Dimensionamiento Eólico.....	29
IV. Conceptos de una Instalación Fotovoltaica:.....	30
V. Conceptos de una Instalación Eólica:	32
V.6 Componentes de una Instalación Eólica.	35
FIG. N° 2: Componentes de una instalación eólica Pág.11	38
VI. Mantenimiento de un Sistema Híbrido (Eólico Solar).....	38
CAPÍTULO II:	41
I. Análisis del Recurso Solar y Eólico:.....	41
I.1 Análisis del Recurso Eólico.....	41
FIG N° 3: Energía eólica producida en los últimos 10 años.....	42
Tabla. N° 3: Potencia Instalada (OSINERGMIN-2016).....	45
Tabla. N° 4: Potencia Instalada y Autorizada (OSINERGMIN 2016)	45
Tabla N° 5: Potencial Eólico en el Perú.....	47
(Atlas eólico - OSINERGMIN-2016).....	47
TABLA. N° 6: Potencial aprovechable eólico en el Perú.....	48
(Atlas eólico- OSINERGMIN 2016)	48
I.2 Análisis del Recurso Solar:.....	49
FIG N° 4: Energía producida en los últimos 10 años en el Perú.....	50
FIG N° 5: Precio del kWp en el Perú.....	51
CÁPITULO III.....	53
I. Instrumentos Utilizados en la Medición de Datos de Radiación y Velocidad del Viento.	53
FIG. N° 6: Piranómetro- (Equipos Sensovant Smart 2018).....	56

FIG. N° 6: Piranómetro PR20-DI	59
CUADRO N° 1: Especificaciones Técnicas Anemómetro de Cazoletas- Instrumentos de medida (Equipos Sensovant Smart 2018).....	61
CUADRO N° 2: Información genérica Anemómetro de Cazoletas.....	62
FIG. N° 7: Anemómetro de cazoletas Instrumentos de medida.....	62
FIG. N° 8: Anemómetro de Veleta PCE-FWS 20	64
FIG. N° 9: Anemómetro de Veleta incluido software.	64
CAPÍTULO IV.....	65
I. Diagnóstico Energético del Recurso Solar.....	65
FIG. N° 10: Mapa de energía solar incidente diaria.	66
I. Diagnóstico Energético del Recurso Eólico:.....	67
FIG N° 11: Descripción de Velocidades.....	68
FIG N° 12: Descripción de Velocidades.....	69
CAPÍTULO V.....	70
I. Dimensionado de los Módulos Fotovoltaicos:.....	70
FIG N° 13: Esquema básico de una instalación Fv.....	70
Tabla N° 7: Tensión Instalada (V) por Potencia demandada (W) De: Lope Gómez de Marzo (FEUGA 2017).....	71
II. Dimensionamiento del Aerogenerador Eólico:.....	75
FIG N° 14: Esquema de generación Eólica (Daniel Torroglosa Giner 2013).....	75
II.1. Diseño del Rotor.....	75
Tabla N° 8: Coeficiente de Potencia vs Velocidad Específica	76
FIG N° 15: Rosa de Vientos (Elaboración propia).	80
Tabla N° 9: Exponente de Hellmann	84
Tabla N° 10: Tabla de velocidades vs Exponente de Hellmann (Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).	84
II.2 Dimensionamiento del Aspa.	86
FIG N° 16: Componentes del asa de un aerogenerador	86
FIG N° 17: Componentes del Perfil Aerodinámico	87
FIG N° 18: Componentes del Perfil Aerodinámico.	87
Tabla N° 11: Factor de Seguridad.....	91
Tabla N° 12: Resistencia a la ruptura.....	91
Tabla N° 13: Potencia vs velocidad del aerogenerador ruptura	92
CAPÍTULO VI.....	92
I. Eficiencia Energética.	93

ANEXOS	95
I. Temperatura promedio por mes de bulbo seco y húmedo Promedio de los últimos 05 años:.....	95
I.1. Temperatura promedio de bulbo seco y húmedo del año 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 por mes:	
.....	95
Tabla N° 14: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2014 por mes..	95
Gráfico N° 1: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2014 por mes.	96
Tabla N° 15: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2015 por mes..	97
Gráfico N° 2: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2015 por mes.	98
Tabla N° 16: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2016 por mes..	99
Gráfico N° 3: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2016 por mes	
.....	100
Tabla N° 17: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2017 por mes	101
Gráfico N° 4: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2017 por mes	
.....	102
Tabla N° 18: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2018 por mes	103
Gráfico N° 5: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2018 por mes	
.....	104
II. Irradiación solar promedio de los últimos 05 años (kW/m ² -Mes).....	105
Tabla N° 19: Irradiación solar promedio de los últimos 05 años.....	105
Gráfico N° 6: Irradiación solar promedio de los últimos 05 años.....	106
Tabla N° 20: Irradiación solar promedio en horas punta (HSP) del año 2018.....	107
Gráfico N° 7: Irradiación solar promedio en horas punta (HSP) del año 2018	108
III. Dirección y Velocidad del Viento (m/s) Promedio de los Últimos 06 Años a 10m de Altura.	
109	
Tabla N° 21: Velocidad y dirección del viento (m/s) promedio de los últimos 05 años a 10m de altura	109
Gráfico N° 8: Velocidad y dirección del viento (m/s) promedio de los últimos 05 años a 10m de altura	110
III.1. Velocidad y dirección del viento del Año 2019 Para Determinar el Mes más Crítico.	111
Tabla N° 22: Velocidad del viento del Año 2018 Para Determinar el Mes más Crítico	112
Gráfico N° 9: Velocidad del viento del Año 2018.....	112
Gráfico N° 10: Velocidad del viento del Año 2019.....	113
IV. Factor de carga del consumo de energía en el caserío de Meléndez, distrito de Jorge Chávez, provincia de Celendín:	114
Gráfico N° 11: Factor de carga del consumo de energía	115
(Elaboración propia).	115

IV.1 Cálculo de la energía de provincia de Celendín, Región Cajamarca.....	115
Tabla N° 23: Cálculo de la energía real de la provincia de Celendín, Región Cajamarca.....	116
V. Distribución horaria de Radiación solar en Superficies Inclinadas.....	116
Tabla N° 24- N° 25: Distribución Horaria de Irradiación Solar en la Superficie (k W/m2).....	117
Gráfico N° 12: Distribución Horaria de radiación solar en el mes de Marzo:	118
VI. Distribución horaria de la velocidad del viento (m/s).....	119
Gráfico N° 13: Distribución Horaria d viento: (Senamhi Cajamarca).....	119
Gráfico N° 14: Distribución Horaria de viento (Elaboración propia).....	119
VII. Dimensionamiento de Módulos Fv.....	120
Tabla. N° 26: Ángulo de Inclinación en Horas de sol por mes.....	120
Tabla. N° 27: Cálculo del sistema de Acumulación en HPS (Elaboración propia).	121
Tabla N° 28: Irradiación en HSP marcado en el mes crítico	122
Tabla N° 29: Dimensionamiento de la Capacidad del Sistema de Acumulación (C) (Elaboración propia).....	123
Tabla N° 30: Dimensión y selección del Módulo FV	124
Tabla N° 31: Dimensionamiento del Regulador	124
Tabla N° 32: Dimensionamiento del Inversor	125
Tabla N° 33: Cálculo del cableado	125
Tabla N° 34: Sombreado y orientación.....	126
VIII. Especificaciones Técnicas de los Componentes Seleccionados en la Dimensión.	126
Tabla N° 35: Especificaciones técnicas del panel Fv.....	126
Tabla N° 36: Especificaciones del Acumulador	127
Tabla N° 37: Especificaciones del Regulador.....	127
Tabla N° 38: Especificaciones del Inversor seleccionado	128
IX. Energía Producida por el parque Fv Dimensionado.	129
Tabla N° 39: Energía producida por mes.....	129
Gráfico N° 15: Gráfico del comportamiento del sistema: Celendín –Cajamarca	130
Gráfico N° 16: % de Energía producida por mes en k W h/Mes	131
Gráfico N° 17: % de Energía producida por mes en k W h/Mes	131
X. Dimensionamiento del Parque Eólico.....	132
Tabla N° 40: Curva de Regresión Ajustada de la Velocidad.....	132
Gráfico N° 18: Curva de Regresión Ajustada de la Velocidad.....	132
Tabla N° 41-1: Ley exponencial de Hellmann a 10m de altura.....	134
Tabla N° 41-2: Distribución de Weibull a una Altura de 10m.	134

Gráfico N° 19: Perfil de velocidades Obtenidas mediante la distribución de Weibull.	134
Gráfico N° 20: Distribución normal de la velocidad del viento (m/s) a 70m de altura	135
Gráfico N° 21: Perfil de velocidades Obtenidas mediante la distribución de Weibull.	135
Gráfico N° 22: Distribución de Weibull a una altura de 10m.....	135
Gráfico N° 23: Velocidades de viento clasificadas.....	136
Gráfico N° 24: Distribución de la Energía (W) a una altura de 10m.....	136
Tabla N° 42: Distribución de Weibull a 70m de Altura (Elaboración propia).	137
Gráfico N° 25: velocidad del viento a 70m de altura.....	137
Gráfico N° 26: Perfil de velocidades a la altura de 70m de altura.....	137
Gráfico N° 27: Distribución de Weibull a una altura de 70m de altura.....	138
Gráfico N° 28: Velocidades del viento clasificadas a 70m de altura.....	138
Tabla N° 43: Selección del Aerogenerador Eólico	139
Tabla N° 44: Dimensionamiento del Aerogenerador Eólico	139
Tabla N° 45: Dimensionamiento del Diámetro del rotor	140
Tabla N° 46: Rendimiento del generador.	140
Tabla N° 47: Dimensionamiento de las palas instalado a una altura de 70m de altura (Elaboración propia).....	141
Gráfico N° 29: Curva del aerogenerador a 50m de diámetro del rotor	142
Gráfico N° 30: Curva de Potencia	143
Gráfico N° 31: Curva de Potencia suministrada (GW h/año) a 25m de radio	143
Gráfico N° 32: Curva de la Energía (GWh/año) (Elaboración propia).....	144
Gráfico N° 33: Curva de la potencia útil- MW (Elaboración propia).....	144
XI. Eficiencia Energética por energía generada.....	145
Tabla N° 48: Energía producida por la Energía Fv (Elaboración propia).....	145
Gráfico N° 34: ICE por energía producida vs Máxima demanda (Elaboración propia).	146
Gráfico N° 35: Rosa de Energía producida por el sistema Fv (Elaboración propia).	146
Tabla N° 49: ICE del parque eólico (Elaboración propia).....	147
Gráfico N° 35I: ICE producida por el parque Eólico.....	147
Gráfico N° 36: Rosa de energía generada por el parque Eólico	148
Gráfico N° 37: Máxima demanda de energía por el parque Eólico	148
XII. Conclusiones.....	149
1. Dimensionamiento del Aerogenerador proyectado a 20 años de vida útil.....	149
Tabla N° 50: Distribución de Weibull a 90m de Altura (Elaboración propia).	149
Gráfico N° 43: Distribución de Weibull a 130m.	149

Gráfico N° 38: Distribución de velocidades a 130m.	150
Gráfico N° 39: Perfil de velocidades a130m.	150
Gráfico N° 40: Velocidad nominal a130m.	151
Gráfico N° 41: Probabilidad de Velocidades clasificadas (Elaboración propia).	151
Tabla N° 51: Dimensionamiento del Aerogenerador a 80m de diámetro (Elaboración propia).....	152
Tabla N° 52: Dimensionamiento de las palas. (Elaboración propia).	153
Gráfico N° 42: Velocidad específica. (Elaboración propia).	154
Gráfico N° 47: Factor de inducción axial. (Elaboración propia).	154
Gráfico N° 43: Coeficiente de rotación inducida.	155
Gráfico N° 44: Ángulo de inclinación. (Elaboración propia).	155
Gráfico N° 50: Rotación inducida. (Elaboración propia).....	156
Gráfico N° 45: Flujo ideal. (Elaboración propia).	156
Gráfico N° 46: Coeficiente de sustentación de perfil.....	157
Gráfico N° 47: Coeficiente de resistencia de perfil. (Elaboración propia).	157
Gráfico N° 48: Velocidad de arrastre del flujo de pala.	158
Gráfico N° 49: Velocidad absoluta a la entrada del perfil.	158
Gráfico N° 50: Número de Reynolds. (Elaboración propia).....	159
2. Curva de la energía producida por el aerogenerador.	159
Tabla N° 53: Curva del aerogenerador de 80m de diámetro.	159
Gráfico N° 51: Curva de la potencia producida por el aerogenerador.	160
Gráfico N° 52: Curva de Potencia suministrada al año por el aerogenerador.....	160
Gráfico N° 53: Curva de la energía producida por el aerogenerador.....	161
Gráfico N° 54: Curva de la potencia útil. (Elaboración propia).	161
3. Proyección de vida útil.....	162
Tabla N° 54: Proyección de vida útil. (Elaboración propia).....	162
Gráfico N° 55: ICE proy. de vida útil. (Elaboración propia).	163
Gráfico N° 56: Máxima demanda de vida útil. (Elaboración propia).	163
Tabla N° 55: Vida útil- ICE. (Elaboración propia).....	164
Gráfico N° 57: Rosa de energía. (Elaboración propia)	164
Gráfico N° 58: ICE generado. (Elaboración propia).....	165
Gráfico N° 59: ICE Proyectado. (Elaboración propia)	165
Gráfico N° 60: Máx. demanda (Elaboración propia)	166
Tabla N° 56: Especificaciones (Elaboración propia)	166
5. Especificaciones técnicas del aerogenerador de fábrica.	167

Tabla N° 57: Especificaciones (Catálogo del fabricante).....	167
6. Ubicación del parque eólico solar.....	168
Gráfico N° 61: Ubicación del parque eólico solar (Google maps).....	168
XIII. Metrados y Costos unitarios.....	168
XIV. Presupuesto total.....	168
XV. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN).....	168
XVI. Cálculo de la tasa de retorno (TIR).....	168
XVII. Costo del ciclo de mantenimiento.....	168
XVIII. Planos.....	168
XIX. Bibliografía y linografía:.....	169

I. ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN:

2.1 Planteamiento del problema científico

Actualmente en la provincia de Celendín; región Cajamarca: 39 952 viviendas con una población de 79 084 (Según el INEI). no cuentan con el servicio de energía eléctrica por motivo del aspecto geográfico del lugar, el nivel bajo de economía de los pobladores de la provincia, distritos y caseríos, las inmigraciones a otros lugares a causa de ello, el acceso a la salud gratuita, educación, falta de recursos como agua apta para el consumo humano, energía las 24 horas del día. Por estar ubicado a 15km de las redes eléctricas distantes a la provincia, región Cajamarca. Como conclusión se necesita realizar un estudio de investigación e impacto ambiental de acuerdo al potencial de los recursos renovables como: Radiación solar y viento; favoreciendo de su economía, tasa de crecimiento de población y producción para ser alimentado con energía limpia con la instalación de un parque híbrido (eólico- solar). Obteniendo los resultados de las entrevistas de los habitantes del lugar, datos de población y estación meteorológica de la provincia mencionada.

2.2 Revisión bibliográfica.

Entre los trabajos de investigaciones relacionados al tema a investigar tenemos:

Contexto Internacional:

De: Javier de la Peña carrascosa (2010). En su proyecto se plantea el proceso de desarrollo que sigue una instalación solar fotovoltaica, así como el análisis de los factores técnicos que optimizan la producción y el rendimiento de dicha instalación.

Teniendo en cuenta los criterios a seguir:

1 CRITÉRIO: Se debe tener en cuenta para decidir la región o país en la que se quiere instalar la planta. Del mismo modo, se analizan las oportunidades que existen a nivel mundial para desarrollar este tipo de instalaciones y cuáles son los riesgos que se pueden plantear.

2° CRITÉRIO: Una vez definido la región o el país, el proceso se centra en encontrar los terrenos aptos. En el punto correspondiente del proyecto, se explica cómo y dónde buscar estos terrenos y qué características y limitaciones deben evitarse.

3° CRITÉRIO: Definida la ubicación debe realizarse un estudio del recurso solar exhaustivo, aunque en las fases anteriores ya se ha debido considerar el recurso, de cara a evaluar las posibilidades de un proyecto, en el momento en el que se ha definido una localización, el estudio debe ser lo más concreto posible. Uno de los objetivos de este proyecto es definir los criterios y marcar las pautas que se deben seguir para realizar un estudio de recurso solar adecuado tal y como los asesores técnicos y consultoras del sector realizan hoy en día. Para ello se presentarán las características y componentes de la radiación más importante y se realizará un estudio a las diferentes bases de datos gratuitos y de empresas especializadas que venden estos datos de diferentes productos.

4° CRITÉRIO: La siguiente fase consta del proceso de diseño de la planta. En este punto es de gran importancia el uso de diferentes softwares de trabajo por parte del diseñador. Se presentarán los que se van a usar en el proyecto y los más relevantes del sector.

Para realizar un diseño óptimo de un parque solar fotovoltaico es imprescindible controlar una serie de conceptos básicos como tipos de instalaciones solares fotovoltaicas, componentes fotovoltaicos principales, pérdidas del proceso de generación de energía, precios de los equipos, etc. Todos ellos se explicarán detalladamente por separado y como parte de un conjunto (Pág.6,7).

De la tesis: Estudio y Desarrollo de una Planta solar Fotovoltaica.
(Javier de la Peaña carrascosa- Universidad Politécnica de
Madrid- España 2010). Pág.: 6,7.

Contexto Nacional:

De: MAIMER TOMÁS HUALPA HUAMANÍ (2006): En cuanto al potencial eólico se cuenta con información proporcionada por instituciones gubernamentales de la ciudad de Ilo, en la evaluación del recurso eólico, se realizó los criterios siguientes:

La información utilizada para evaluar el potencial eólico, corresponde a los datos recopilados por la Municipalidad Provincial de Ilo a través de la Gerencia de Desarrollo Urbano Ambiental. Este estudio se realiza continuamente con el objetivo de evaluar la contaminación del SO₂, producto de la actividad minera de la zona, y su efecto en la salud pública.

Como parte de este estudio se monitorea continuamente las condiciones de viento y radiación solar en la zona. Las estaciones que monitorean la contaminación de SO₂ abarcan toda la ciudad de ILo incluyendo las zonas rurales.

Como se ha mencionado previamente, los parámetros de interés para evaluar el potencial eólico son la velocidad de viento y la dirección del viento, siendo de mayor interés el primero de ellos. Actualmente la Municipalidad Provincial de Ilo cuenta con una estación meteorológica automática donada por la Embajada de Canadá en el año 1998, dicha estación está ubicada en las instalaciones del Palacio Municipal. (Pág. 42).

De la tesis: “Estudio de Factibilidad de Sistemas Híbridos en el departamento de Moquegua” (Maimer Tomás Hualpa Huamní – Repositorio PUCP 2006). Pág. 42.

Contexto Local:

DE: SANTA CRUZ SANTA CRUZ KLEVER JESÚS (2018): El objetivo general de la tesis fue el dimensionar un sistema híbrido eólico fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al centro poblado Nueva Esperanza ubicado en el distrito de Catache perteneciente a la provincia de Santa Cruz en el departamento de Cajamarca. Debido a que la población no cuenta con el servicio de energía eléctrica siendo complicada su implementación a través de la alimentación

de las redes eléctricas del servicio público, ya que las redes de media tensión de 10 kV más cercana se encuentran a 20 km de distancia. Obteniéndose que: La energía promedio diaria que demanda el centro poblado Nueva es de 12.840 kW-h/día. Para 33 viviendas proyectadas, 01 iglesia, 01 local comunal, 01 centro educativo de educación inicial. Los datos de radiación solar promedio mensual donde según la NASA, del SENAMHI (Atlas 2003) y del software SOLARIUS PLUS de los cuales se ha obtenido un valor de 6.15 kW-*m* /día. De estos tres valores se ha considerado el menor es decir 4.47kWh-*m* /día para el dimensionamiento del sistema híbrido. En cuanto a los datos de la velocidad y dirección del viento estos se han obtenido de la estación meteorológica más cercana y en funcionamiento automática: EMA GORE-CHOTA. El sistema híbrido eólico fotovoltaico estará compuesto por 01 aerogenerador ENAIR 70 PRO. 18 paneles fotovoltaicos de 190 Wp, 08 baterías de acumuladores 503 Ah, 01 reguladores de carga y 01 inversor 48 / 5 000-230 V. El sistema híbrido eólico fotovoltaico tiene un costo referencial de S/. 250 748,74. (Pág.6).

De la Tesis: “Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado nueva esperanza ubicado en el distrito de Catache Santa Cruz – Cajamarca” (Santa Cruz Santa Cruz Klever Jesús- Repositorio UNPRG 2018). Pág. 6

2.3 Formulación del problema científico.

¿Utilizando la energía solar y eólica podemos dar energía limpia, mejorar el consumo energético dando un buen uso de la energía para satisfacer sus necesidades económicas y productivas para la provincia de Celendín, región Cajamarca?

2.4 Hipótesis.

Si utilizamos los recursos renovables del medio ambiente para dar energía eléctrica; entonces lograremos mejorar las necesidades básicas y económicas como: Educación, salud, economía, producción etc. En la provincia de Celendín, región Cajamarca.

2.5 Objetivos

2.5.1. Objetivo General.

Diseñar y seleccionar los equipos como: Aerogeneradores como paneles solares para la producción de energía e indicar los índices de eficiencia energética de la energía producida por el parque híbrido para la provincia de Celendín, región Cajamarca.

2.5.2. Objetivo Específicos:

- a) Determinar la energía promedio diaria de la provincia indicada.
- b) Determinar la radiación solar y la velocidad del viento de los últimos 05 años.
- c) Dimensionar y seleccionar los equipos para el parque híbrido.
- d) Determinar los índices de eficiencia energética respecto a la energía producida por el parque vs el consumo de energía de la provincia.
- e) Determinar los índices de eficiencia energética respecto a la energía producida por el sistema vs el consumo de energía proyectado a 20 años.
- f) Determinar el costo referencial del parque híbrido.

2.6 Justificación e importancia:

Esta tesis tiene la siguiente justificación.

a) Impacto Económico:

Los habitantes de la provincia y caseríos contarán con energía y ya no harán gastos en: Pilas, velas, combustible.

b) Impacto Social:

Genera más estabilidad y economía entre todos los usuarios beneficiados mediante energía solar y eólica instalados en todas las viviendas de la provincia.

c) Estudio de Impacto Ambiental:

Es un recurso renovable que no genera contaminación del medio ambiente. Se necesita un estudio de los recursos como: Radiación y viento de los últimos 05 años de la provincia para ver el comportamiento de los datos obtenidos. Su costo invertido se podría recuperar en el transcurso de 5 años dependiendo de la cantidad de energía producida por los módulos, aerogeneradores, Necesitándose medidas favorables de acuerdo a la viabilidad del recurso natural como radiación solar y viento para ser ejecutados; los mismos que serán proyectados e instalados en la Provincia de Celendín.

d) Estudio Técnico:

Incluir y justificar en la medida de lo posible los recursos que sean necesarios para implementar el proyecto: equipo, estudio de los recursos naturales como radiación solar, velocidad del viento de los últimos 05 años presentes, estudio geográfico del lugar en donde se va a realizar la construcción del parque híbrido como la instalación de los módulos fotovoltaicos, aerogeneradores eólicos, estudio de viabilidad técnica económica, valor actual neto y tasa de retorno (indicado en el capítulo final del proyecto de tesis), flujo del proceso de instalación, entre otros.

e) Evaluación Financiera:

Presentar el flujo de proceso de instalación, justificar el plazo de investigación de tesis realizado “Diseñar un parque híbrido en la Provincia de Celendín, región Cajamarca, detalle de inversiones, ingresos, gastos, factores fiscales. En la medida de lo posible, evaluar la viabilidad del proyecto de investigación y ejecución.

f) Estudio de Factibilidad del proyecto de Investigación:

Para efectos de este estudio de viabilidad, se presenta este proyecto de tesis que debe considerarse como una versión en extremo condensada de un documento de pre-factibilidad. En realidad, es un parque híbrido, estudio de pre-factibilidad y estudio de factibilidad, por cuanto contiene elementos de los tres. Realizando el estudio de las medidas tomadas de los recursos utilizados tales como: Radiación solar, velocidad de viento, temperatura máxima y mínima de los últimos 05 años hacia adelante; obteniendo como resultado que la velocidad del viento ha ido aumentando en los últimos años, para ello se realizó una investigación en la provincia de Celendín; realizado las encuestas del INEI.

Actualmente carecen de energía eléctrica una cantidad de 6 010 viviendas, dando como solución la construcción de un parque híbrido (eólico, solar), mejorar el uso del recurso energético para satisfacer la demanda de la población mediante la eficiencia de los recursos. Elaborando un presupuesto al finalizar los capítulos, siendo ejecutado por el Gobierno Regional de Cajamarca una vez aprobada el proyecto de investigación para el servicio de la provincia y todos sus distritos en la región Cajamarca.

CAPITULO I:

I. Aspecto Informativo.

I.1. Geografía de la provincia de Celendín, región Cajamarca:

La provincia de Celendín (2629 msnm), región Cajamarca. Ubicado a 6° 51'57'' de latitud sur y a 78° 08'45'' al oeste del Perú; su latitud y longitud es: -6.86, -78.14. Con apreciable población y es una de las 13 provincias de la región Cajamarca. Posee carretera, camino a 3 hora en movilidad para llegar. La siembra es bajo lluvia y su producción es variada: se siembran trigo, cebada, maíz, frejol, quinua, etc., hay poca crianza de animales debido a la escasez de agua, Sus anexos que tiene esta provincia es que han aumentado considerablemente en población con 12 distritos: Celendín, Chumuch, Cortegana, Huasmín, Jorge Chávez, José Gálvez, Miguel Iglesias, Oxamarca, Sorochuco, Sucre, Utco, La libertad de Pallán. Actualmente cuenta con 79 084 habitantes distribuidos en 33 952 viviendas (**dato obtenido del INEI.**)

Provincia de Celendín, Región Cajamarca					
Código	Distrito	Urbano encuesta	Rural encuesta	Sí tiene alumbrado eléctrico	No tiene alumbrado eléctrico
60301	Cajamarca, Celendín, distrito: Celendín	6 386	3 814	5 923	1 257
60302	Cajamarca, Celendín, distrito: Chumuch	0	1 093	496	251
60303	Cajamarca, Celendín, distrito: Cortegana	0	2 786	1 243	663
60304	Cajamarca, Celendín, distrito: Huasmin	0	4 741	2 550	719
60305	Cajamarca, Celendín, distrito: Jorge Chávez	0	367	119	31
60306	Cajamarca, Celendín, distrito: José Galvez	0	1 431	601	196
60307	Cajamarca, Celendín, distrito: Miguel Iglesias	0	1 473	637	467
60308	Cajamarca, Celendín, distrito: Oxamarca	0	2 396	935	668
60309	Cajamarca, Celendín, distrito: Sorochuco	0	4 055	1 927	599
60310	Cajamarca, Celendín, distrito: Sucre	0	2 255	1 145	360
60311	Cajamarca, Celendín, distrito: Utco	0	601	177	146
60312	Cajamarca, Celendín, distrito: La Libertad de Pallan	0	2 554	1 282	653
TOTAL		6 386	27 566	17 035	6 010

Tabla N° 1: Número de viviendas (INEI Censos Nacionales de población y vivienda 2017).

Distribución de la población							
Primera infancia (0 - 5 años)	Niñez (6 - 11 años)	Adolescencia (12 - 17 años)	Jóvenes (18 - 29 años)	Adultos/as jóvenes (30 - 44 años)	Adultos/as (45 - 59 años)	Adultos/as mayores (60 y más años)	Total
8 985	10 171	9 893	12 900	15 432	11 359	10 344	79 084
1 hijo	2 hijos	3 hijos	4 hijos	5 hijos	6 hijos	7 hijos	
5 127	4 673	3 671	2 660	1 938	1 542	1 154	20 765
8 hijos	9 hijos	10 hijos	11 hijos	12 hijos	13 hijos	14 hijos	
788	510	226	138	52	12	6	1 732

Tabla N° 2: Número de habitantes (INEI Censos Nacionales de población y vivienda 2017).

Mapa de Ubicación:



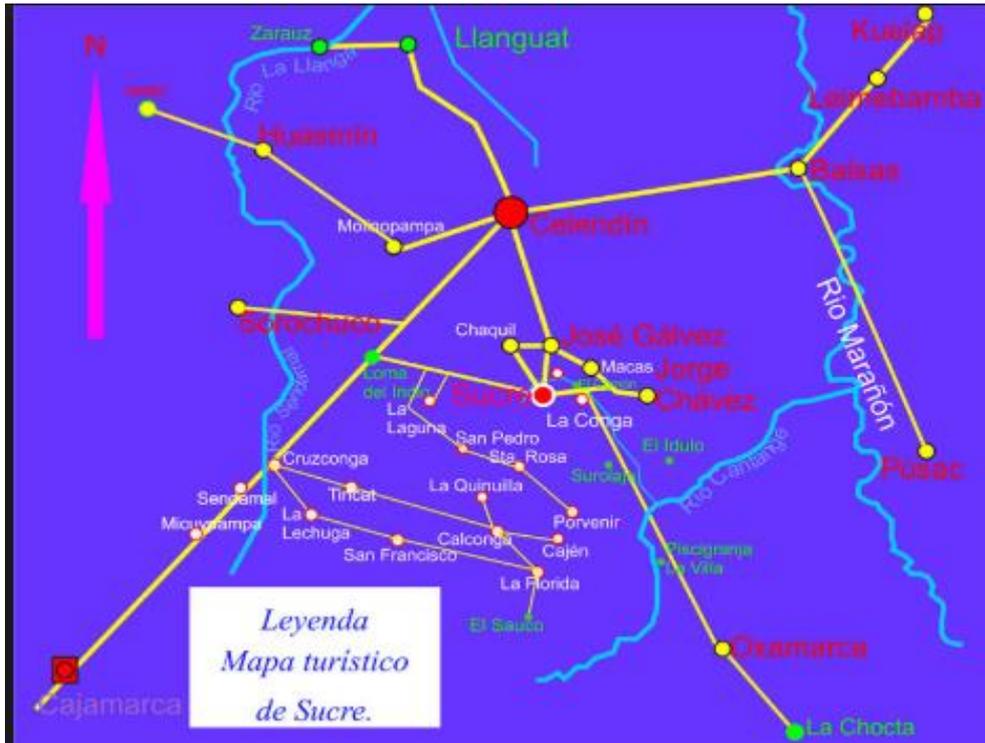


Fig. N° 1: Mapa de ubicación (Google Maps).

II. Definiciones Conceptuales del Sistema Eléctrico Utilizado:

II.1 Definición del Sector:

Tiene como objetivo dar una visión general sobre el mercado de la energía, y más concretamente de la energía solar. El estudio analiza la situación actual y futura, así como las necesidades y oportunidades del sector para la empresa interesada en desarrollar proyectos.

II.2 Generación:

Consiste en la utilización de los recursos energéticos naturales o alguna transformación de los mismos para la producción de electricidad. Se trata de una actividad muy intensiva en capital, en la que la recuperación de los recursos invertidos se produce a lo largo de amplios períodos de tiempo. Para este trabajo de investigación se ha utilizado recursos renovables como el análisis de los recursos naturales: Luz solar, velocidad del viento; lo cual se ha podido concluir la instalación de un sistema híbrido: Eólico solar para generación de electricidad para los usuarios de la provincia de Celendín y región Cajamarca.

II.3 Transmisión:

Es el servicio que consiste en transportar la electricidad desde la planta generadora hasta las redes locales a través de unos cables que permiten la circulación a alto voltaje. La coordinación entre generación y transmisión es vital para asegurar el suministro de electricidad a los consumidores finales. Una vez en la red, el fluido eléctrico se distribuye según leyes físicas. Por ello, no es posible dirigirlo y no se puede determinar cuál es el origen de la electricidad obtenida del sistema.

II.4 Distribución:

Es una actividad similar a la anterior. Consiste en el transporte de electricidad desde la red de alta tensión hasta el consumidor final. Esta operación requiere la utilización de un transformador que reduzca el voltaje, colocándolo a los niveles requeridos por el usuario (normalmente, 220- 380 voltios). Aplicado en el estudio realizado, la distribución de la energía se realizó a las casas que no contaban con energía eléctrica en la provincia de Celendín. Alimentados a través de un sistema híbrido.

II.5 Suministro y Comercialización:

El suministro engloba todas las actividades relacionadas con la venta de electricidad a los usuarios finales (adquisición al por mayor, contratación, lectura, asesoramiento al cliente, facturación y cobro). Tradicionalmente, las compañías distribuidoras se han encargado de suministrar la electricidad a los consumidores. El suministro se convierte en una actividad potencialmente competitiva, en la que las empresas de generación, las que distribuyen en otras regiones, o cualquier otra, pueden rivalizar con la encargada de la distribución en un área geográfica concreta.

El suministro y comercialización en la provincia de Celendín; se distribuye a todas las viviendas alimentadas con el sistema híbrido instalado, el consumo de energía eléctrica de acuerdo a la máxima obtenida a través de las encuestas a los pobladores de dicho caserío es

muy baja debido a se dedican a la agricultura y ganadería. Para ello se ha proyectado elaborar propuestas para mejorar el consumo de energía utilizando aserradoras de madera debido a la presencia de tala de árboles utilizados para la exportación, fabricación de inmuebles, leña, etc.

El costo del kW-h comparado con el sistema híbrido: eólico solar varía con respecto. La energía renovable es mucho más barata que la energía brindada por la red del SEIN, a diferencia de los costos de mantenimiento en el sistema fotovoltaico y eólico:

- El mantenimiento en un sistema fotovoltaico es mucho más bajo que un sistema eólico, los más utilizados son el mantenimiento preventivo solo para la prevención del polvo surfacte a los módulos fotovoltaicos; en algunas ocasiones se realiza el cambio de dispositivos de generación como: baterías, inversores, conductores, etc. Debido al tiempo de uso de funcionamiento o desperfecto ocurrido en las maniobras.
- En el sistema eólico su mantenimiento es elevado debido al espacio geográfico que ocupa (altura); mayormente es realizado en los aerogeneradores por el tiempo de funcionamiento o alguna falla mecánica que se produzca interiormente, lo cual es elevado; conviene utilizar otro aerogenerador nuevo.

III. Variables Utilizados en el Dimensionamiento de la Instalación:

III.1. Variables Utilizadas en el Dimensionamiento Fv.

III.1.1. Luz Solar:

El sol es la estrella, que, por el efecto gravitacional de su masa, domina el sistema planetario que incluye la tierra. Su estructura cuenta con un 73% de hidrógeno, combustible que genera la fusión nuclear en su núcleo, dicho combustible da lugar a la energía electromagnética que aporta directa e indirectamente del sol a la tierra y supone una fuente de alimento de energía para la vida.

III.1.2. Módulo Fotovoltaico:

Dispositivos generadores formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen la electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico. En la actualidad existen diferentes tipos en función de la tecnología de la que están compuestas sus células fotovoltaicas. Estos son:

- EPV: Células de concentración.
- Cristalinas: Mono cristalinos, policristalinos.
- Película fina (thin film): SISG (cobre, indio, selenio, galio), telururo de cadmio.
- Silicio amorfo.
- OPV: Células orgánicas de fabricación con polímeros.

III.1.3. Inversor- Transformador:

El inversor de conexión a red es un dispositivo capaz de convertir la corriente continua generada por los módulos solares fotovoltaicos en corriente alterna, e inyectarle en frecuencia y fase con la línea de distribución.

Si las cargas que debemos alimentar son a 230Vac, necesitaremos un equipo que transforme la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna para alimentar las cargas. Esta es la función del inversor. A la hora de dimensionar el inversor, se tendrá en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas AC en un instante, de este modo se elegirá un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas, suponiendo su funcionamiento al mismo tiempo.

Encontramos diferentes tipos de inversores:

- Inversor de módulo: Inversor dedicado a un único generador.
- Inversor orientado a rama: Inversor dedicado a un conjunto de generadores en serie o string.
- Inversor central: inversor dedicado a un conjunto de ramas o string.

III.1.4. Estructura de Montaje de Módulos:

Existen 02 tipos de estructuras: estructura fija y seguidor.

III.1.4.1 Estructura fija:

Consiste básicamente en un emparrillado que sostiene los módulos con cierta inclinación orientados hacia el sur cuando la instalación cuando la instalación se encuentra en un hemisferio norte o hacia el norte en caso contrario. Este tipo de estructura se define a su vez por dos parámetros principales: inclinación de la estructura (β) y distancia entre ejes (d).

III.1.4.2 Seguidor solar:

Existen diferentes tipos de seguidores:

- Seguidor a un eje:
- Seguidor a un eje con plano inclinado.
- Seguidor a dos ejes.

III.1.4.3 Seguidor a un eje:

Tanto los seguidores a un eje con plano inclinado como los seguidores a doble eje requieren de mucho más espacio, mucha más inversión y mucha más inversión y mucho más costo de mantenimiento por lo que su uso está limitado y solo se justifica cuando el precio de venta de energía cuando el precio de venta de energía sea lo suficientemente alto para permitir rentabilizarlo.

III.1.4.4 Seguidor a un eje con plano inclinado:

Los parámetros que definen este tipo de estructura son muy similares a los de la estructura fija: rango de giro (α) y distancia entre filas (d). La principal diferencia entre ambas, más allá del movimiento del seguidor, se basa en el ángulo de inclinación o rango de giro de los módulos. Mientras que en la estructura fija estaban orientados hacia el sur con una inclinación constante.

III.1.5. Acumulador Batería.

Se encargan de acumular la energía eléctrica generada por el sistema de generación fotovoltaico para poder disponer de ella en las horas del día que no luzca el sol. Las más recomendadas para este tipo de instalaciones son las estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2, 24, 48V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24, 48, 300 Vcc que sea adecuado en cada caso.

III.1.6. Regulador.

Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas. De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor: Cerrado y conectado en serie entre paneles y batería; para el proceso de carga, Abierto; cuando la batería está totalmente cargada.

Las intensidades máximas de entrada y salida del regulador adecuado para cada aplicación dependerán de la corriente de máxima que pueda producir el sistema de generación fotovoltaico para la entrada y la corriente máxima de las cargas para la salida. Para tener en cuenta los posibles picos de irradiación o los cambios de temperatura, es recomendable que, a la hora de escoger el regulador, sea aquel con un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito que le puede llegar del sistema de generación fotovoltaico (I_{entrada}) o bien, de la que puede consumir la carga del sistema (I_{salida}). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas.

III.1.7. Irradiación (W/m^2).

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

III.1.8. Irradiación (Wh/m²-día).

Es la cantidad de irradiación recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²-día o unidades equivalentes.

III.1.9. Estimación de Consumo.

Aquí siempre es fundamental los datos aportados por el consumidor, y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento. Si la instalación se realizara para una vivienda de uso diario todo el año, se escogerá el valor medio de todo el año. Si la instalación se realizara para el uso ocasional, por ejemplo, en verano, hay que escoger los valores de los meses de verano.

III.2. Variables Utilizadas en el Dimensionamiento Eólico.

III.2.1 La Velocidad del viento:

La generación de energía eólica disponible se incrementa exponencialmente, con el aumento de la velocidad del viento. La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad.

III.2.2 Las Características del Viento:

Las formaciones geográficas, las estructuras artificiales pueden diferenciar el recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

III.2.3 La densidad del aire:

Las bajas temperaturas dan lugar a mayor densidad del aire, lo que significa mayor fluidez de las moléculas gaseosas. sobre la pala de la turbina, lo que produce mayor rendimiento de potencia para una determinada velocidad. El potencial eólico, es decir la energía cinética del viento en una unidad de tiempo, se incrementa con el cubo de la velocidad del viento. por lo tanto, de los tres parámetros antes citados, la velocidad del viento es el determinante.

III.2.4 Aerogeneradores:

Los aerogeneradores son equipos que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica.

III.2.4.1 Funcionamiento:

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

III.2.5 Generador:

La función del generador es transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En función de la potencia del aerogenerador se utilizan dinamos (son generadores de corriente continua y se usan en aerogeneradores de pequeña potencia, que almacenan la energía eléctrica en baterías) o alternadores (son generadores de corriente alterna).

IV. Conceptos de una Instalación Fotovoltaica:

IV.1 Potencia pico:

Se denomina potencia pico a una instalación en donde la suma de potencia de todos los módulos fotovoltaicos en condiciones estándar (STC).

IV.2 Potencia nominal:

Se instalación nominal de una instalación fotovoltaica es la suma de potencia de todos los inversores. La potencia total de una instalación es capaz de generar, vendrá limitada por la potencia nominal y no por el pico.

IV.3 Energía producida:

Energía conectada a la red en un periodo de tiempo durante el funcionamiento de la instalación.

IV.4 Factor de planta:

El cálculo de factor de planta en una planta fotovoltaica durante un periodo específico de tiempo, se lleva a cabo a través de una evaluación independiente de los siguientes parámetros:

$$Factor\ de\ planta = \frac{E_p}{P_m * h}$$

- E_p : Energía producida. Resultados de producción de energía neta de la planta.
- P_m : Potencia teórica máxima. Es la energía máxima que teóricamente podría llegar a producir la planta, de acuerdo a su capacidad de placa.
- H : Duración en horas del periodo considerado.

IV.5 Producción específica:

Representa la cantidad de energía obtenida por cada unidad de potencia pico instalado. Se obtiene al dividir la producción total entre la potencia pico instalada. Puesto que la producción tiene unidades de energía (kW-h) y la potencia pico en unidades de potencia (kW), la producción específica queda expresada en horas por lo que también recibe el nombre de horas equivalentes.

$$\text{Producción específica} = \frac{E_p}{P_{pico}}$$

IV.6 Potencia de la planta:

En primer lugar, se ha de definir la potencia que admite la instalación. Generalmente la limitación viene dada por el punto de interconexión que limita la potencia nominal vertida a la red o por la potencia pico, que admite el terreno debido al número de módulos que es posible instalar en el terreno.

IV.7 Sobredimensionamiento de la potencia pico:

El sobredimensionamiento de una planta fotovoltaica representa la relación de la potencia pico con respecto a la nominal.

$$\text{Sobredimensionamiento} = \frac{\text{Potencia pico}}{\text{Potencia nominal}}$$

La potencia nominal viene dada por la suma de potencias de todos los inversores.

IV. 8 Costos de Inversión:

Los costos de inversión se pueden resumir por:

Inversores: Costos de los inversores y transformadores.

Conexión: Costo de la infraestructura y evacuación necesaria para conectar a la red la energía producida por la planta.

Módulos: Costo de adquisición de todos los módulos.

BOS (Balance of system): Costo del resto de componente e infraestructura necesaria como cableado, switch, etc. No se incluyen inversores ni módulos.

Estructura: Costo de la estructura sobre la que se colocan los módulos. El seguidor siempre será más caro que la fija.

IV. 9 Estudios de Optimización de Producción y Costos.

Se muestran los parámetros de la planta fotovoltaica:

- Potencia nominal definida y constante.
- Potencia pico variable en función de sobredimensionamiento.
- Costos fijos relacionados con la potencia pico (Bos, módulos y estructura).
- Valores de producción para todas las posibles situaciones de sobredimensionamiento y distancia entre ejes.
- Costos fijos relacionados con la potencia nominal (inversores y conexión).

V. Conceptos de una Instalación Eólica:

V.1 Definición.

La energía eólica es aquella energía obtenida mediante el aprovechamiento de la fuerza del viento. El viento contiene mayores o menores índices de energía cinética, que mediante un sistema de aspas y turbinas puede convertirse en energía eléctrica, para así alimentar ciudades, complejos industriales o viviendas rurales. Sobre todo, en regiones geográficas de vientos constantes e intensos, este recurso natural renovable ofrece un rendimiento relativamente importante, seguro y ecológico.

La energía eólica, al igual que la solar, forma parte del conjunto de energías “verdes” o ecológicas que resultan más amigables con el medio ambiente, al menos en comparación con

otras muy contaminantes como la quema de combustibles fósiles. Es por ello que la instalación de parques eólicos a lo largo del mundo se ha masificado en las últimas décadas, de cara a la alarma ambiental del cambio climático.

Estos parques eólicos suelen construirse en la costa marítima, donde su rendimiento es mayor (aunque sus costos más elevados), así como en planicies y grandes llanuras donde el viento es constante y considerable. Alrededor del 5% de la generación eléctrica mundial se obtiene de estos emplazamientos, y países como Dinamarca satisfacen con ellos alrededor de un 25% de sus necesidades energéticas.

V. 2 Generación de Energía Eólica:

El calentamiento de la superficie terrestre por la luz solar genera cambios en la presión y la temperatura de las masas de aire que produce naturalmente los vientos. Dichas masas de aire, al desplazarse, pueden movilizar las aspas de los generadores eólicos, que son básicamente molinos, sólo que en vez de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, genera energía eléctrica que sirve para múltiples usos.

Esto ocurre ya que, al moverse las aspas de la hélice, impulsadas por el viento, hacen girar el rotor de un generador, que, junto a un alternador, producen una carga eléctrica constante. Estos aparatos se denominan generadores de turbina de viento, y suelen necesitarse múltiples instalaciones semejantes, dado que su producción es relativamente baja

V.3 Importancia en la Naturaleza.

La energía eólica puede transformarse en electricidad, lo cual es de gran utilidad como: iluminar, calentar, alimentar distintos aparatos, etc. La electricidad es hoy en día un insumo indispensable de la civilización humana. Recordemos que el viento es una de las formas de energía más antiguamente aprovechadas.

V. 4 Ventajas.

- **Limpieza.**

Es una forma medianamente ecológica de obtener energía, ya que más allá de la instalación de los parques eólicos, que pueden arruinar un tanto el paisaje, no producen ningún contaminante atmosférico ni de otro tipo.

- **Seguridad.**

Los parques eólicos no presentan los riesgos a corto y largo plazo de la energía nuclear, ni representan daños a la salud. Se han reportado casos de molestias por el ruido que estos aparatos generan al rotar diariamente, y por eso se prefiere su instalación en regiones medianamente apartadas.

- **Es renovable.**

El viento es una fuente de energía inagotable y natural y limpia.

- **Aprovechamiento del terreno.**

Los parques eólicos pueden convivir con sembríos u otros tipos de aprovechamiento del terreno, o incluso en regiones que no son cultivables de otra manera, como desiertos o costas marítimas o pendientes muy empinadas.

- **Costo.**

La tecnología eólica es muy económica en comparación con otras formas de obtención de electricidad.

V.5 Desventajas:

- **Imprevisibilidad.**

El viento no sopla constantemente con la misma intensidad, por lo tanto, la producción de energía es irregular y no se puede depender tan sólo de ella. Debe combinarse con algún otro método.

- **Poco rentable.**

La energía eólica será limpia y segura, pero no es muy eficiente. Se requieren grandes extensiones de terreno para implantar numerosas hélices y poder producir cantidades considerables de electricidad.

- **Impacto ambiental.**

Si bien no contaminan, los parques eólicos interrumpen el paisaje natural y tienen impacto en la fauna local, como las aves migratorias.

La velocidad del viento es un vector, por tanto, viene definida por el módulo, la dirección y el sentido. El módulo indica la intensidad del viento y se suele expresar en m/s, km/h o en nudos (1 nudo = 0,514 m/s).

La dirección y el sentido se expresan en grados sexagesimales, es decir, según un círculo graduado en 360°. Por ejemplo, si se señala que el viento es del noreste se está especificando que la dirección del viento se encuentra en la recta que une el noreste con el suroeste y que el sentido es de noreste a suroeste.

V.6 Componentes de una Instalación Eólica.

V. 6.1 Rotor.

El rotor es el elemento principal de una máquina eólica, siendo su función la transformación de la energía cinética del viento en mecánica utilizable. Existe gran variedad de rotores y su clasificación más usual se realiza en función de la disposición del eje: horizontal o vertical, de los cuales el primero es el más común. Los rotores de eje horizontal tienen aspas que giran en un plano vertical como las hélices de un avión. Para sistemas de generación eléctrica, el rotor consiste generalmente en dos o tres aspas y está hecho de fibra de vidrio con poliéster o epoxy; además el cubo que conecta las aspas al eje.

Los rotores de sistemas para aplicaciones mecánicas suelen tener más aspas (10 a 20), y giran a velocidades más bajas. El rotor de una turbina eólica puede variar en tamaño, lo cual

afecta la cantidad de energía correspondiente que se puede generar. Por ejemplo, una turbina de 10 kW típicamente tiene un diámetro de rotor de siete metros, mientras que una turbina de 750 kW tiene un diámetro de 24 metros.

V. 6.2 Tren de Potencia o de Conversión Mecánica.

El tren de potencia está constituido por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad alta y las balineras o cojinetes que soportan los ejes. Se aplica en sistemas grandes eléctricos para adaptar la velocidad del eje a la del generador. Algunas turbinas no contienen la caja de cambios.

V.6.3 Sistema Eléctrico.

En sistemas de generación eléctrica, éste se refiere al generador, el cual está acoplado al eje para transformar la energía mecánica en eléctrica. Además, consiste en las interfaces para la conexión a las aplicaciones o a la red eléctrica.

V.6.4 Chasis.

Contiene los elementos claves de la turbina, como la caja de cambios y el generador. En turbinas grandes, el chasis puede tener el tamaño de un microbús y el personal de mantenimiento entra a él desde la torre. Usualmente, es una pieza metálica forjada sobre la cual se montan las diferentes partes del tren de conversión modularmente, al mismo tiempo que lo protege del ambiente y sirve de aislante al ruido mecánico de la caja de cambios y del generador.

V. 6.5 Sistema de Orientación.

Las máquinas de eje horizontal tienen este componente, el cual detecta la orientación del viento y coloca el rotor en su misma dirección para aprovecharlo al máximo. El sistema de orientación está compuesto por el cojinete, los motores eléctricos, los sensores y un freno mecánico.

V.6.6 Torre.

Las máquinas eólicas deben estar situadas sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento que transmiten el sistema de captación y las eventuales vibraciones. Su altura debe ser suficiente para evitar que las turbulencias, debidas al suelo, afecten a la máquina y para superar los obstáculos cercanos. Por ejemplo, una turbina de 750 kW tiene una altura típica de 63 metros. El uso de torres más altas significa un costo mayor al inicio, pero éste disminuye el período de la recuperación de la inversión, debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura y logra generar más energía.

Está construida sobre una base de hormigón armado (cimentación) y fijado a esta con pernos. La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para aguantar todo el peso y los esfuerzos del viento, la nieve, etc. En su base está generalmente el armario eléctrico, a través el cual se actúan sobre los elementos de generación y alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola, así como el transformador que eleva la tensión.

V.6.7. Góndola:

La góndola es la estructura en la que se resguardan los elementos básicos de transformación de energía, es decir: Eje del rotor, multiplicador, generador de sistemas auxiliares.

V.7 Sistema de Seguridad.

Este pone la turbina en una situación estable y segura, en caso de que ocurran anomalías tales como pérdida de carga, velocidad de rotación o temperatura del generador a caja de cambios demasiado altas.

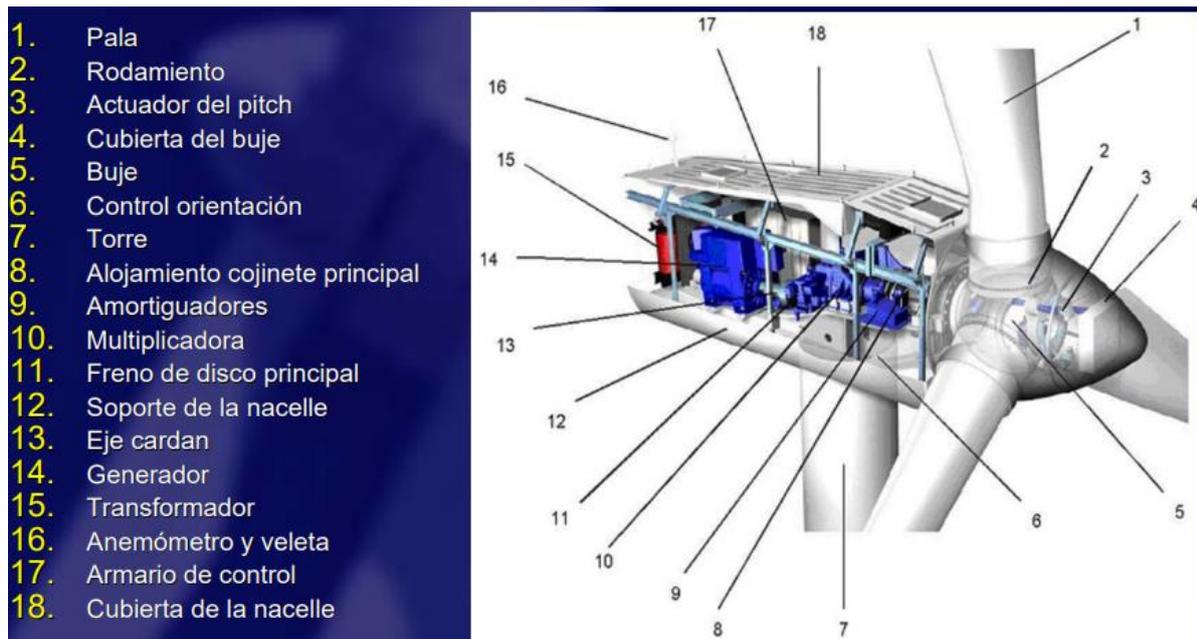


FIG. N° 2: Componentes de una instalación eólica Pág.11
(Mantenimiento de parques eólicos-Rosa Contreras- GES 2006).

VI. Mantenimiento de un Sistema Híbrido (Eólico Solar).

El grado de mantenimiento necesario depende exclusivamente del tipo de baterías a utilizarse. Si se utilizan baterías estacionarias especiales de bajo mantenimiento, se incrementará el costo de la inversión, pero será menos frecuente la necesidad de limpiar los bornes y reponer el electrolito. Si en lugar de estas, se opta por baterías comunes, tendrán un menor rendimiento y una mayor necesidad de mantenimiento.

VI.1 Descripción y Funcionamiento del Sistema Híbrido.

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

- a. El sistema está integrado por dos subsistemas de generación eléctrica: paneles fotovoltaicos y aerogenerador.
- b. El banco de baterías requiere recarga debido al consumo de los equipos del día anterior.
- c. En términos generales diariamente puede manifestarse la presencia del sol (de acuerdo con la nubosidad), del viento, o de ambos recursos energéticos. Con la presencia de una o ambas fuentes, se inicia el proceso de recarga del banco de baterías con la entrada de los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador o ambas simultáneamente si las demandas del sistema lo requieren. Un controlador de carga común determina la necesidad de una intensidad de carga específica, resultando en un nivel de penetración parcial o total de cada fuente de acuerdo con su energía disponible y al régimen de carga requerido por el sistema.
- d. El proceso de carga del banco de baterías, en ausencia de una de las fuentes energéticas (sol o viento), pueden ser asumidos con un mayor aporte de generación eléctrica del subsistema correspondiente a la fuente existente. En el caso del aerogenerador, un sofisticado sistema de regulación de carga, acoplado en el interior del mismo, controla el régimen de carga al sistema, desconectando el equipo una vez alcanzada la carga idónea.
- e. El aerogenerador desconectado queda en cortocircuito, situación en que es auto frenado, para regular el número de vueltas del rotor a un paso lento, silencioso y de esta forma evitar una sobre velocidad que pudiera provocar daños al equipo en caso de vientos fuertes.
- f. El regulador de carga queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de descarga.

De: José Antonio Carta Gonzales, Roque Calero Pérez

(Universidad de las Palmas de la Gran Canaria (ULPGC-

2016), Antonio Colmenar Santos, Manuel Alonso Castro Gil

(Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)-

Madrid-2016 (Centrales de energías renovables) pág.: 10- 30

Atlas Eólico Solar- Perú 2016 República del Perú; Manual
de Energía Renovable Eólica Edición 2002/ Nueva versión

2010 Pág. 15-30

<https://concepto.de/energia-eolica/#ixzz5gu3RjFLZ> 2016

(Libro virtual).

CAPÍTULO II:

I. Análisis del Recurso Solar y Eólico:

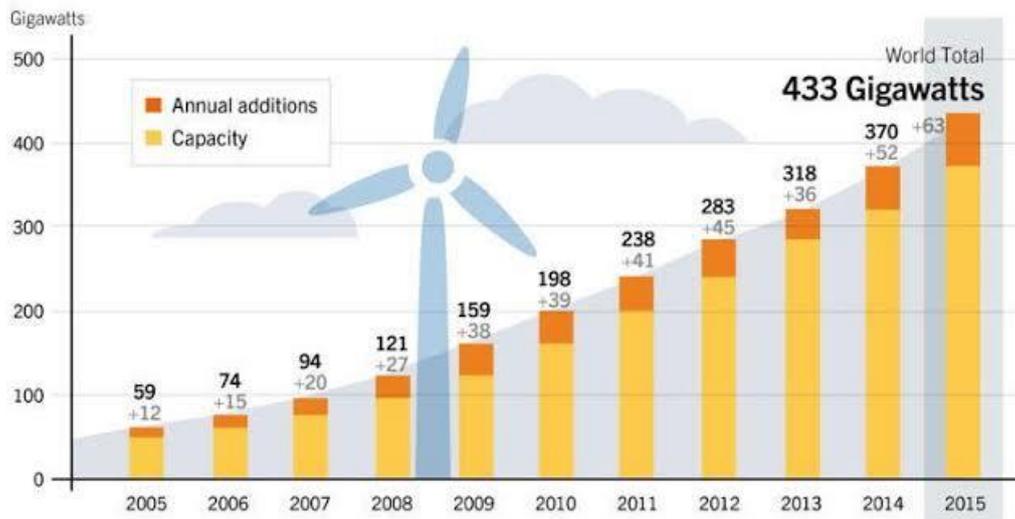
I.1 Análisis del Recurso Eólico.

La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

El análisis requerido depende directamente de la aplicación y la escala prevista; naturalmente, un proyecto a gran escala conectado a la red requiere de un estudio más profundo que un pequeño sistema aislado. El método más exacto (aunque más costoso) para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más anemómetros, los cuales, periódicamente, generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica.

Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. Información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar el análisis del potencial eólico; sin embargo, este tipo de información generalmente tiende a subestimar el recurso eólico.

Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2005–2015



REN21 *Renewables 2016 Global Status Report*



FIG N° 3: Energía eólica producida en los últimos 10 años.

I.1.1 Recurso Eólico en el Mercado Peruano.

La modelización del recurso eólico con resolución de 1 Km sobre el territorio del Perú ha permitido identificar las zonas más apropiadas para estudiar la explotación de la energía eólica. Una de estas zonas se encuentra en el norte del País, a lo largo de la costa del departamento de Piura, y presenta un máximo de viento medio anual en el sur de la región. Siguiendo hacia el sur por la costa, el departamento de Lambayeque también es interesante en cuanto al recurso eólico, así como algunas zonas del norte de La Libertad. También los departamentos de Ancash, Lima y Arequipa contienen ciertas áreas cercanas a la costa que son propicias para el aprovechamiento de la energía eólica, pero el departamento que más destaca por registrar promedios climáticos de viento especialmente altos es Ica, cuya línea costera supera los 8 m/s de viento medio anual en varias zonas.

Hacia el interior, las zonas con abundante recurso eólico se reducen a algunas áreas próximas a la cordillera de los Andes, mientras que las regiones cubiertas por bosque tropical presentan los promedios de viento más bajos del país. De los departamentos del interior, Puno

es el que tiene una mayor extensión de terreno con viento anual superior a 4 m/s, llegando incluso a superar los 5 m/s en numerosos sistemas montañosos y en la orilla norte del lago Titicaca. Algunas zonas montañosas del sur de Cuzco y el norte de Arequipa también alcanzan estos promedios, así como amplias zonas de los departamentos de Ayacucho, Huancavelica y el este de Lima, la mayoría de difícil acceso debido a la orografía.

Más hacia el norte, desde el interior de Ancash hasta el límite entre Cajamarca y Piura, los valores de viento medio sobre la cordillera de los Andes se encuentran entre los más altos de Perú, con el inconveniente de la difícil accesibilidad.

I.1.2 Estimación de la Potencia Eólica en el País.

Como parte del Estudio, se ha realizado una estimación de la potencia eólica total y aprovechable del Perú. Una estimación de estas características puede realizarse de diversas maneras y parte de unos supuestos que pretenden ser razonables pero que no dejan de ser arbitrarios y que se exponen a continuación.

Para filtrar las zonas con potencial eólico suficiente, se ha calculado la producción en cada uno de los puntos simulados sobre tierra con un generador estándar de 2MW de potencia nominal y 80 m de diámetro de rotor a la altura de 80 m sobre el suelo.

El factor de capacidad mide el rendimiento real de un aerogenerador en un emplazamiento, dado que éstos sólo generan su potencia nominal en un rango determinado de vientos; fuera de ese rango su potencia es inferior. Si se expresa matemáticamente, el factor de capacidad no es más que el cociente entre la potencia media producida y la potencia nominal del aerogenerador.

Para el cálculo de la potencia total se ha considerado dentro del territorio disponible a cada uno de los nodos de simulación, de 1x1 Km, que presentan un factor de capacidad bruto igual o superior al 20%. El valor de corte para realizar la selección depende de la retribución de la energía en la zona en cuestión; en este caso, se ha seleccionado un valor bastante orientativo en países en que el sector está desarrollado.

La última suposición en el cálculo es el número de aerogeneradores de las características supuestas que razonablemente pueden ubicarse en cada recuadro de 1Km² de la simulación. Según la experiencia del Consultor, un número orientativo serían 3 aerogeneradores. Aunque geométricamente podrían caber 4, la realidad es que las instalaciones sobre el terreno siempre tienen otros condicionantes, (variaciones del viento dentro del punto de rejilla, dificultades orográficas, etc.), por lo que la cifra real se reduce. Por lo tanto, la hipótesis del Consultor es que en cada nodo se puede instalar 6 MW. Con estos supuestos, se ha estimado la potencia eólica total del Perú en algo más de 77000 MW, sin considerar zonas off-shore (en el mar), distribuida según lo indicado en la segunda columna de la Tabla 3, incluida en este numeral.

Se considera potencia aprovechable a la fracción de la total que es realizable a nivel teórico por no existir impedimentos prácticos. En un estudio de micro escala, del nivel de un parque eólico, el número de estos impedimentos es muy grande y en gran parte debe ser estudiado, dado lo extenso del territorio, deben emplearse unos criterios limitados y muy claros para filtrar las ubicaciones que por razones evidentes no es posible una instalación eólica. Las zonas que se han eliminado del cálculo con este filtrado tenían uno o varios de los siguientes condicionantes:

- Altitud igual o superior a 3000 m.s.n.m.
- Pendiente igual o superior al 20%.
- Pertener a un centro poblado o al casco urbano de una ciudad.
- Estar ubicado en una zona protegida, arqueológica o de amortiguamiento.
- Existir en ese lugar ríos, quebradas o lagos.

Después de aplicar este filtrado, el cálculo ha arrojado un valor del potencial eólico aprovechable del Perú superior a los 22000 MW, distribuido según la tercera columna de la Tabla 3, indicada a continuación:

I.1.3 Descripción Regional del Potencial Eólico en el Perú.

I.1.3.1 Potencial Eólico Desarrollado.

PARQUE EÓLICO	POTENCIA INSTALADA	DEPARTAMENTO	ESTADO
P.E. Marcona	32 MW	Ica	En operación
P.E. Cupisnique	83.15 MW	La Libertad	En operación
P.E. Talara	30.86 MW	Piura	En operación
P.E. Tres Hermanas	90 MW	Ica	En operación
P.E. Parque Nazca	126 MW	Ica	Autorizado. En desarrollo
P.E. Huambos	18 MW	Cajamarca	Autorizado. En desarrollo
P.E. Duna	18 MW	Cajamarca	Autorizado. En desarrollo

Fuente: MINEM.

Tabla. N° 3: Potencia Instalada (OSINERGMIN-2016)

Como puede verse hay 236 MW en operación actualmente en el Perú. Además, existen otros 172 MW que han sido autorizados en la cuarta subasta RER para suministro de energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

En la siguiente tabla muestra la energía eólica total desarrollada por departamento.

DEPARTAMENTO	POTENCIA INSTALADA Y AUTORIZADA
Ica	248 MW
La Libertad	83.15 MW
Piura	30.86 MW
Cajamarca	36 MW

Fuente: Osinergmin.

Tabla. N° 4: Potencia Instalada y Autorizada (OSINERGMIN 2016)

I.1.4 Potencial Eólico Total.

Se han identificado las zonas preferentes para la futura prospección detallada que serían de interés para la instalación de aerogeneradores o parques eólicos. Para este análisis, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Densidad de potencia desde moderado a excelente ($P/A > 300 \text{ W/m}^2$) a 100 m.
- Distribución de frecuencia del viento favorable.
- Pendiente del terreno menor o igual al 20%.
- Cercanía a las vías de acceso transitables.
- Cercanía a los centros poblados, a las Líneas y Subestaciones de Media y Alta Tensión existentes.
- Parques eólicos existentes.
- Altitud del emplazamiento inferior a 3500 metros de altura.

Tabla 23. Potencial eólico (MW) en el Perú (100 m) según el Atlas Eólico.

DEPARTAMENTO	POTENCIAL EÓLICO APROVECHABLE (MW)	POTENCIAL EÓLICO EXCLUIDO (MW)	POTENCIAL EÓLICO TOTAL (MW)
Amazonas	129	288	417
Ancash	708	108	816
Apurímac	0	0	0
Arequipa	1020	156	1176
Ayacucho	0	0	0
Cajamarca	891	282	1173
Callao	0	0	0
Cuzco	0	0	0
Huancavelica	0	0	0
Huánuco	0	0	0
Ica	2280	3015	5295
Junín	0	0	0
La Libertad	921	264	1185
Lambayeque	7017	2097	9114
Lima	429	189	618
Loreto	0	0	0
Madre de Dios	0	0	0
Moquegua	0	0	0
Pasco	0	0	0
Piura	7098	1503	8601
Puno	0	0	0
San Martín	0	0	0
Tacna	0	0	0
Tumbes	0	0	0
Ucayali	0	0	0
TOTAL	20493	7902	28395

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5: Potencial Eólico en el Perú (Atlas eólico - OSINERGMIN-2016).

Departamento	Potencia Total (MW)	Potencia Aprovechable (MW)
Amazonas	1380	6
Ancash	8526	138
Apurímac	0	0
Arequipa	1992	1158
Ayacucho	114	0
Cajamarca	18360	3450
Callao	0	0
Cuzco	0	0
Huancavelica	0	0
Huánuco	54	0
Ica	18360	9144
Junín	48	0
La Libertad	4596	282
Lambayeque	2880	564
Lima	1434	156
Loreto	0	0
Madre de Dios	0	0
Moquegua	144	0
Pasco	0	0
Piura	17628	7554
Puno	162	0
San Martín	504	0
Tacna	942	0
Tumbes	0	0
Ucayali	0	0
TOTAL PERÚ	77394	22452

TABLA. N° 6: Potencial aprovechable eólico en el Perú
(Atlas eólico- OSINERGMIN 2016)

I.1.5 Potencial Eólico Aprovechable.

Estar fuera de las zonas inadecuadas para la construcción de aerogeneradores y parque eólicos (zonas arqueológicas, parques nacionales, reservas naturales, zonas históricas, áreas naturales protegidas, zonas recreacionales, etc.).

I.1.6 Potencial Eólico Excluíble.

El potencial eólico excluído es aquel potencial que, aun cumpliendo los requisitos del apartado, no se puede aprovechar debido a que la construcción de los aerogeneradores y parques eólicos no estará permitida por las disposiciones legales (zonas arqueológicas, parques nacionales, reservas naturales, zonas históricas, etc.).

I.2 Análisis del Recurso Solar:

La energía del sol que llega a nuestro planeta es aproximadamente 15 000 veces más de lo que toda la humanidad usa anualmente (1.5×10^{18} kW en 2006). El tremendo dinamismo del sol que produce la energía esencial para nuestra vida se puede visualizar en esta película del Solar Dynamics Observatory de la NASA.

Hay una multitud de posibilidades para aprovechar de esta vasta cantidad de energía. Aparte de adquirir la energía del sol para calentar, convertir la radiación con paneles solares fotovoltaicos directamente en electricidad sin quemar nada es una opción atractiva que nos permite solucionar problemas de la electrificación en forma elegante, protegiendo el medio ambiente.

I.2.1 Precios de la Energía solar en el mercado peruano.

Hay regiones donde los precios de electricidad de la red son más elevados que los costos de la energía de sistemas solares fotovoltaicos y así representan una alternativa económicamente viable. El costo equilibrado de la red (Deutsche Bank, marzo 2015) muestra los países con costos de la energía solar más bajos que los de la red pública (calculado sobre la vida del sistema: LCOE, costos nivelados de la energía).

El Perú está incluido, aunque el costo de red es válido solamente para sistemas conectados a la red. Los precios de los módulos solares se redujeron en los últimos 20 años con un promedio de 6% anualmente, experimentando altos y bajos. Una gran demanda, inicialmente estimulado por programas estatales, resultó en la creación de una inmensa capacidad de producción, reduciendo los costos por vatio. En el año de 2010, dos empresas anunciaron que los costos de producción ya están debajo de 1US\$/W (para paneles de capa fina). Una sobre producción al nivel mundial, por gran parte a causa de la reducción de las subvenciones estatales, provocó una guerra de precios. Este fue la causa que varias empresas importantes al nivel mundial tenían que cerrar sus puertas.

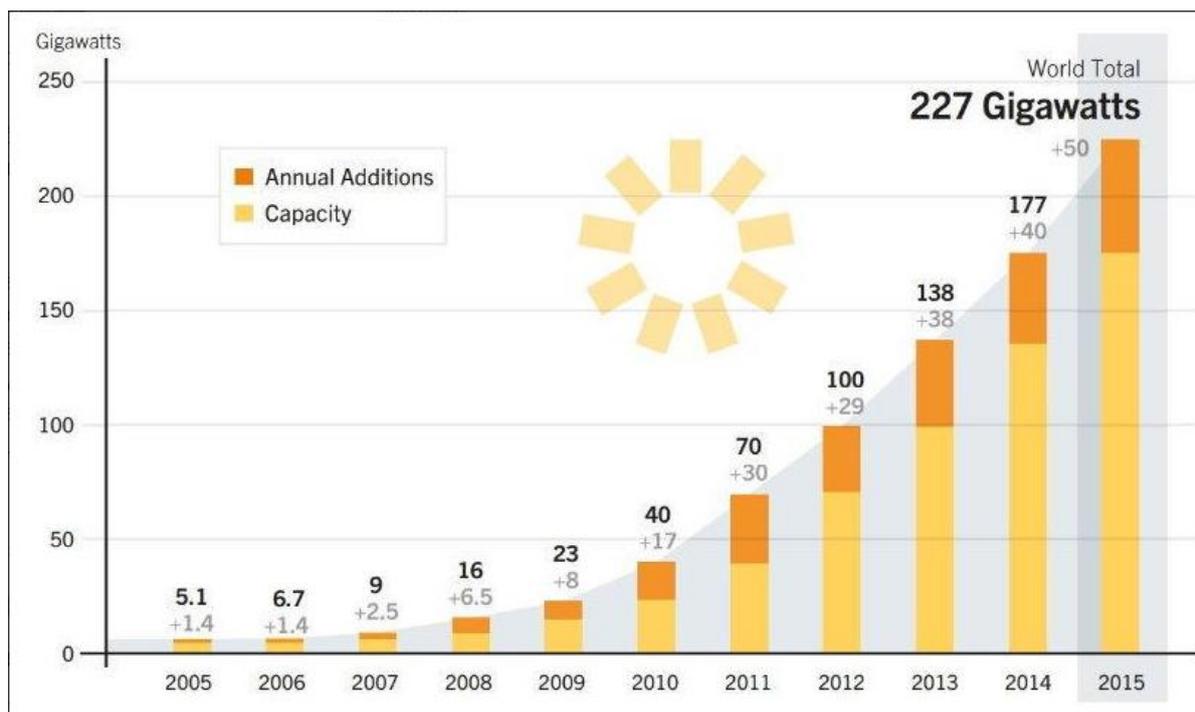


FIG N° 4: Energía producida en los últimos 10 años en el Perú.
 (Energías Renovables 2017: José Antonio Carta Gonzáles,
 Roque Calero Pérez, etc.)

Este no paró el avance al nivel global. A finales de 2015 la capacidad fotovoltaica era de 227GW en todo el mundo. De esta, 50GW se añadieron solamente en 2015.

El Perú goza de precios de electricidad bajos comparados con sus países vecinos y con el nivel internacional. Así, reemplazar la energía tradicional con energías renovables es económicamente rentable solamente en zonas donde no llega la red pública y se produce la electricidad con generadores de diésel. Solamente los parques solares grandes pueden vender su energía a la red. Lamentablemente, al nivel individual, la opción de conectarse a la red pública todavía no es regulada en el Perú.

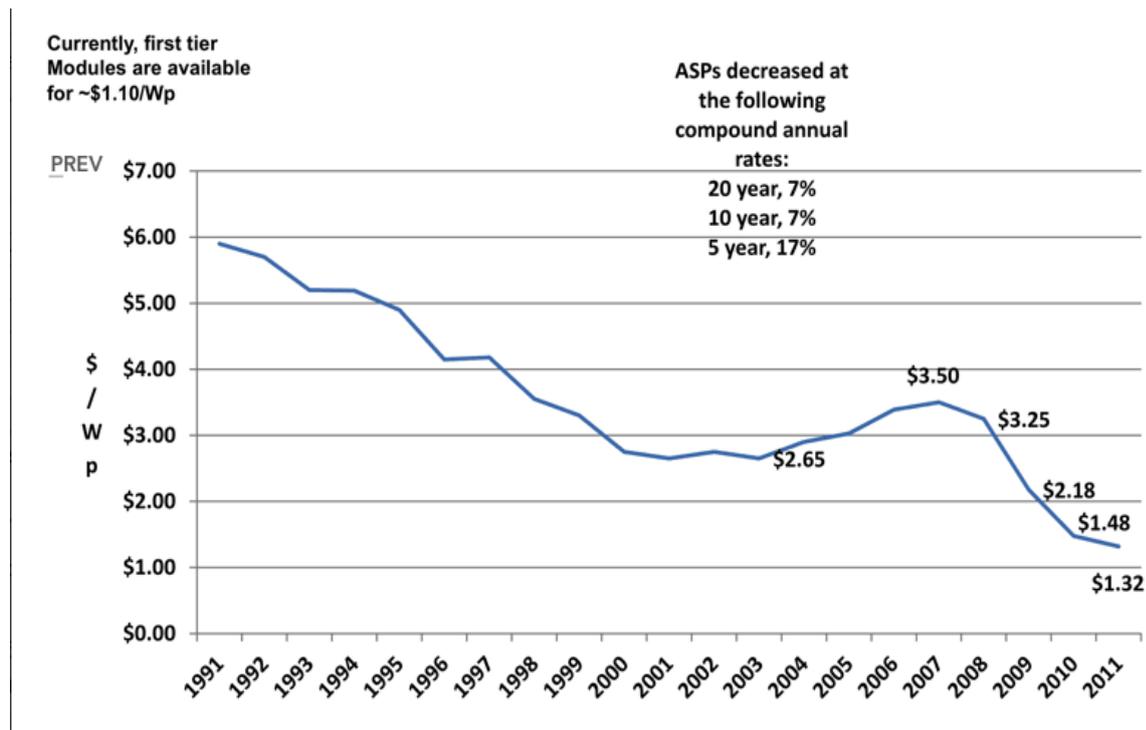


FIG N° 5: Precio del kWp en el Perú.

(Energías Renovables 2017: José Antonio Carta Gonzáles, Roque Calero Pérez, etc.) Pág. 10

I.2.2 Energía Fotovoltaica en el Perú.

En el Perú, con su alta radiación solar, se usa esta forma de energía en la telecomunicación y cada vez más en la industria por ejemplo en la agricultura para el bombeo de agua, en minas y otros sectores.

I.2.3 Electrificación en zonas aisladas.

De importancia es el uso para la electrificación rural. Con una parte importante de la población rural todavía sin conexión a la red, la energía solar fotovoltaica es, en vista de una escasa densidad de población, las vastas distancias y otros retos, frecuentemente la forma más económica para brindar electricidad a casas, oficinas, escuelas, centros de salud y otros establecimientos. Desde los años 80 (más de 25 años) existen proyectos de energía solar y el gobierno cada vez más promueve esta forma de energía para la población rural aislada. Actualmente un proyecto del gobierno para electrificar hasta 500 000 hogares con energía solar está en proceso.

El escaso poder adquisitivo de la población rural es un problema fundamental que no permite a muchos comprar estos sistemas inicialmente costosos. Para cambiar esta situación, existen varios propuestos, desde usar pico sistemas de muy bajo consumo y económicamente accesibles hasta facilitar créditos de condiciones favorables para la población rural. El insuficiente conocimiento y la poca familiaridad con sistemas solares que representan otras barreras para aceptar ampliamente esta tecnología. Existe la necesidad, pero todavía no resulta en una demanda extendida por gran parte de la población.

¡Ganar nuestra electricidad directamente del sol es fascinante!

La cantidad de radiación solar según las medidas que marca el radiómetro habrá mayor o menor incidencia de fotones en el módulo; es proporcional a la radiación solar. El recurso solar en el distrito de Celendín, departamento de Cajamarca.

De: Atlas solar (2016), Osinergmin: Estudios económicos de eólico solar (2016-2017), Atlas Eólico del Perú (2016), MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL DIRECCIÓN DE FONDOS CONCURSABLES. Av. Las Artes Sur 260. San Borja – Lima Telf.: (51-1) 476-1550; Fax: (51-1) 476-1551
WEB: <http://www.foner.gob.pe>.

CÁPITULO III.

I. Instrumentos Utilizados en la Medición de Datos de Radiación y Velocidad del

Viento.

La radiación solar que llega a la superficie comprende el espectro visible con longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 μm , una parte del ultravioleta entre 0.3 y 0.4 μm , y también el infrarrojo entre 0.7 y 5 μm . Esta irradiación solar llega al suelo en dos formas, como irradiación solar directa e irradiación solar difusa, y ambos tipos de irradiación constituyen la irradiación solar global (WMO- 1 981).

Los componentes de la irradiación solar que están sujetos a mediciones para fines meteorológicos, y que son de uso más general, son los siguientes (OMM, 1 996):

- Irradiación solar directa medida a incidencia normal.
- Irradiación solar global recibida sobre una superficie horizontal.
- Irradiación solar difusa.
- Irradiación solar (directa, global y difusa) medidas en porciones restringidas del espectro.

En la siguiente tesis realizada los instrumentos utilizados se describen a continuación, calibrados de acuerdo a las normas técnicas de INACAL que ofrece.

- Climatología- meteorología.
- Investigación de ensayo de materiales.
- Validación y eficiencia de paneles fotovoltaicos.
- Evaluación de recursos para Plantas solares Fotovoltaicas.

I.2 Pirómetro (Radiómetro LP01-LI19).

LP02 es un sensor de radiación solar que se puede aplicar para las observaciones de radiación solar más comunes. El nombre científico de este instrumento es piranómetro. LP02 piranómetro cumple con las especificaciones ISO 9060 segunda de clase y la guía de la OMM. LI19 es un portátil de alta precisión de lectura de la unidad datalogger.

El LP02 portátil en combinación con LI19 es muy adecuado para mediciones móviles y el registro de datos a corto plazo.

I.2.1 Características.

- ❖ LP02 mide la radiación solar recibida por una superficie plana de un 180° o un campo de visión de ángulo. Esta cantidad, expresada en W / m^2 , se llama la radiación solar "hemisférica".
- ❖ Piranómetro LP02 puede ser empleado al aire libre bajo el sol, así como en el interior con simuladores solares basadas en la lámpara. Su orientación depende de la aplicación y puede ser horizontal, inclinada (para el plano de la radiación array) o invertida (para la radiación reflejada).
- ❖ LI19 se utiliza para visualizar la radiación medida y de registro de datos.
- ❖ Una vez programado con la sensibilidad de LP02, la pantalla mostrará el valor real de la radiación solar en W / m^2 .
- ❖ Programación LI19 se realiza a través de su interfaz de PC.
- ❖ El sistema se entrega en un práctico estuche de viaje, para el transporte y la protección fácil durante las campañas de medición de campo.
- ❖ El caso también incluye las pilas de software, de tipo AA necesarios y un cable USB.
- ❖ Baterías permiten aproximadamente 50 días de operación. LI19 también se puede usar con otros piranómetros y sensores de flujo de calor.

II.2.2 Aplicaciones:

- ❖ Medición de campo a corto plazo de la Radiación Solar.
- ❖ Amplificación de las Señales del Piranómetro.
- ❖ Educación en Energía Solar.

II.2.3 Especificaciones Técnicas:

Especificaciones del LP02:

- ❖ Medida: radiación solar hemisférica.
- ❖ Clasificación ISO: piranómetro segunda clase o Clase B.
- ❖ Incertidumbre de calibración: <1,8% (k = 2).
- ❖ Trazabilidad de calibración: a WRR.
- ❖ Rango espectral: 285-3000 x 10⁻⁹ m.
- ❖ Sensibilidad (nominal): 15 x 10⁻⁶ V / (W / m²).
- ❖ Temperatura de funcionamiento: -40 a +80° C-
- ❖ Respuesta de la temperatura: <± 3% (-10 a +40 ° C).
- ❖ Longitud de cable: 5 m, otras bajo pedido-

Especificaciones del LI19.

- ❖ Medida: Analógica en tensión con la conversión de W / m².
- ❖ Frecuencia de Muestreo: 1 s⁻¹.
- ❖ Tipo de pila: AA.
- ❖ Duración de Batería: > 50 días.
- ❖ Ajuste de Intervalo: 2 - 65.535 s.
- ❖ Capacidad de Memoria: 3000 muestras.
- ❖ Temperatura de funcionamiento (rango nominal): -10 Hasta +40°C.



FIG. N° 6: Piranómetro- (Equipos Sensovant Smart 2018).

De: <http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Sensovant Smart 2018). Pág. Web.

II.3 Piranómetro PR20-D1.

Este instrumento es utilizado en la estación del SENAMHI en el distrito de Celendín. Comúnmente se conoce como piranómetro fotovoltaico, provincia de Cajamarca para medir la cantidad de radiación solar; posteriormente el dato es utilizado en la elaboración de la tesis: Electrificación a través de un sistema híbrido para el caserío de Meléndez.

SR20-D1 es el más preciso piranómetro estándar secundario digital disponible. Mide la radiación solar recibida por una superficie plana, en W / m^2 , a partir de un 180° o un campo de visión de ángulo. La salida digital del SR20-D1, siempre a través del protocolo Modbus estándar de la industria, permite la adquisición de datos y el intercambio de instrumentos de fácil y sin errores.

II.3.1 Características:

- ❖ SR20-D1 es un sensor de radiación solar de la categoría más alta del sistema de clasificación ISO 9060: estándar secundario.

- ❖ La irradiación se emite digitalmente en W/m². SR20-D1 está diseñado para la industria de la energía solar fotovoltaica, utilizando el protocolo de comunicación Modbus sobre RS-485.
- ❖ Comprobada individualmente la temperatura y la respuesta direccional, SR20-D1 es el más preciso piranómetro estándar secundario digital disponible.
- ❖ Para la comunicación entre un PC y SR20-D1, el software del sensor está incluido. Permite al usuario graficar y exportar datos, y cambiar la dirección de SR20-D1 Modbus y sus ajustes de comunicación.

De: <http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Sensovant Smart 2018). Página web.

II.3.2 Beneficios.

- ❖ Salida digital: fácil aplicación y mantenimiento.
- ❖ Respuesta de la temperatura mejor en su clase: $<\pm 0.4\%$ (-30 a +50 ° C), el mejor "traslado de origen a" y mejor incertidumbre de calibración.
- ❖ Incluido en el suministro como es requerido por la norma ISO 9060: certificados de prueba para respuesta de la temperatura y la respuesta direccional.
- ❖ SR20-D1 es el más preciso piranómetro estándar secundario digital disponible.
- ❖ Además, SR20-D1 tiene una respuesta de la temperatura insignificante. Todos son mejores en su clase.
- ❖ La respuesta de la temperatura de cada instrumento individual se prueba y se corrige a bordo de la electrónica del instrumento, utilizando un polinomio de segundo grado.
- ❖ Dependencia de la baja temperatura del SR20-D1 lo convierte en el candidato ideal para su uso en condiciones muy frías y muy calientes.

II.3.3 Diseño.

El piranómetro emplea un sensor de termopila estado-of-the-art con superficie recubierta de negro, dos cúpulas y un cuerpo de aluminio anodizado. El conector, titular de desecante y la pantalla de fijación de sol son muy robustos y diseñados para uso industrial a largo plazo. SR20-D1 utiliza un convertidor de 24-bit A / D de alta gama. Todas las piezas están especificadas para su uso en todo el rango de temperatura de operación nominal de SR20-D1. Protocolo de comunicación es el estándar industrial Modbus RTU sobre 2 hilos RS-485.

II.3.4 Aplicaciones.

- ❖ Supervisión del rendimiento del sistema fotovoltaico.
- ❖ todas las redes de intercambio de instrumentos con regularidad.
- ❖ observaciones científicas meteorológicas.
- ❖ Instrumento de referencia para la comparación.
- ❖ En climas extremos (tropical - polar).

II.3.5 Especificaciones.

- ❖ Cable más largo, en múltiplos de 5 metros.
- ❖ ventilado con VU01 (unidad de ventilación).
- ❖ Medida: hemisférica solar radiación.
- ❖ Clasificación ISO: Secondary class.
- ❖ Incertidumbre de calibración: <1,7% (k = 2).
- ❖ Offset de cero: de un 5 W / m² sin ventilación.
- ❖ Offset de cero: de un 2.5 W / m² ventilado.
- ❖ Trazabilidad de calibración: a WRR.
- ❖ Rango espectral: < ± 2 % (0.35 to 1.5 x 10⁻⁶ m).
- ❖ Sensibilidad (nominal): 15 x 10⁻⁶ V/(W/m²).

- ❖ Temperatura de funcionamiento: -40 a +80 °C.
- ❖ Longitud de cable: 5 mts std, otras bajo pedido.
- ❖ Respuesta de la temperatura: $<\pm 1\%$ (-10 a +40 ° C), $<\pm 0,4\%$ (30 a +50 ° C); (con la corrección en tratamiento de datos)
- ❖ Sensor de temperatura: Pt100 o termistor 10 kW.
- ❖ Calentador interno: 1.5 W a 12 V CC.

<http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Equipos Sensovant Smart 2018).



FIG. N° 6: Piranómetro PR20-DI (Equipos Sensovant Smart 2018).

II.4 Anemómetro de cazoletas digital (Modelo PCE-890):

Instrumento usado para la obtención de datos en la elaboración de la tesis en Cajamarca; portátil fácil de trasladarse.

El anemómetro o medidor climatológico PCE-EM 890 es un dispositivo para medir las condiciones climatológicas. El medidor climatológico permite medir con precisión los valores en poco tiempo.

II.4.1 Características.

Gracias a sus dimensiones y peso reducido el medidor climatológico es un sistema que ofrece información meteorológica de fácil manejo. Con una sola tecla cambia entre las diferentes funciones de medición. Es un instrumento ideal para técnicos, navegantes, agricultores y muchas otras personas que dependen del tiempo que haga o cuyo trabajo se vea afectado por las inclemencias del tiempo.

- ❖ Con un sólo dispositivo puede medir de forma sencilla la velocidad del viento, la temperatura, el Wind chill (temperatura percibida), el punto de rocío, la humedad relativa, el estrés térmico, la presión barométrica y la altura sobre el nivel del mar.
- ❖ El medidor climatológico le permite medir el valor actual, el valor mínimo y el valor máximo. Opcionalmente le puede conectar una sonda de temperatura externa Pt1000.
- ❖ Construcción compacta y robusta.
- ❖ Alta precisión.
- ❖ Rueda alada de alta precisión e intercambiable.
- ❖ Pantalla digital de fácil lectura.
- ❖ Iluminación de fondo.
- ❖ Medición Máx./Mín.
- ❖ 11 funciones en un solo dispositivo.

<http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Sensovant Smart 2018). Página Web.

II.4.2 Especificaciones Técnicas.

Función	Rango	Resolución	Precisión
Velocidad del viento	80 ... 3937 ft/min	1 ft/min	± 3 % F.S
	0,4 ... 20 m/s	0,1 m/s	
	1,4 ... 72 km/h	0,1 km/h	
	0,9 ... 44,7 mph	0,1 mph	
	0,8 ... 38,8 Nudos	0,1 Nudos	
Temperatura	0 ... 50 °C	0,1 °C	± 1,2 °C
Humedad relativa	10 ... 95 % H.r	0,1 % H.r	<70 % ±4 % H.r. >70 % ±4 % +1,2% H.r.
Presión barométrica	10 ... 999,9 hPa	0,1 hPa	± 1,5 hPa
	1000 ... 1100 hPa	1 hPa	± 2 hPa
Radiación UV	0 ... 1999 μW/m ²	0,1 μW/m ²	±(4 % F.S. + 2 dígitos)
290 ... 390 nm	2 ... 20 mW/m ²	0,01 mW/m ²	
Temperatura externa(Sonda Pt1000 opcional)	-10 ... 70 °C	0,1 °C	± 1,2 °C
Caudal	0,024 ... 3600 cmm	0,001 cmm	
		0,01 cmm	
		0,1 cmm	
		1 cmm	
Punto de rocío	-25.3 ... 49 °C	0,1 °C	
Temperatura de bulbo húmedo	-5,4 ... 49 °C	0,1 °C	
Estrés térmico	0 ... 100 °C	0,1 °C	± 2 °C
Wind chill	-9,4 ... 44,2 °C	0,1 °C	± 2 °C
Altitud sobre nivel del mar	-2000 ... 9000 m	1 m	± 15 m

CUADRO N° 1: Especificaciones Técnicas Anemómetro de Cazoletas- Instrumentos de medida (Equipos Sensovant Smart 2018).

<http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Sensovant Smart 2018). Página web.

II.4.3 Información Genérica:

Pantalla	LCD, altura dígitos: 8 mm
	Velocidad del viento / Temperatura
	Humedad relativa / Temperatura
	UV
	Presión barométrica
	Caudal
Funciones	Punto de rocío
	Temperatura de bulbo húmedo*
	Wind chill
	Estrés térmico
	Altura sobre el nivel del mar
	Temperatura a través de sonda Pt1000 (opcional)
Alimentación	Pila CR-2032 3 V
Potencia absorbida	Aprox. 5 mA
Condiciones operativas	0 ... 50 °C / max. 80 % H.r.
Dimensiones	120 x 45 x 20 mm
Pesos	Aprox. 160 g

CUADRO N° 2: Información genérica Anemómetro de Cazoletas.
Instrumentos de medida (Sensovant Smart 2018).



FIG. N° 7: Anemómetro de cazoletas Instrumentos de medida (Equipos Sensovant Smart 2018).

II.5 Anemómetro de veleta PCE-FWS 20 con pantalla táctil.

Instrumento utilizado en la estación del SENAMHI en el distrito de Celendín, provincia de Cajamarca para medir la velocidad del viento; posteriormente los datos son utilizados en la elaboración de la tesis: Electrificación a través de un sistema híbrido para el caserío de Meléndez.

Este instrumento cuenta con 5 sensores y mástil (para dirección del viento, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, pluviosidad), función de alarma, puerto USB y software de análisis.

II.5.1 Concepto.

Es un equipo multifuncional que cubrirá sus expectativas. Tanto en el ámbito privado y el profesional, este anemómetro de veleta le fascinará. Permite detectar de forma precisa la dirección del viento, la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa y la pluviosidad. Esta es sólo una pequeña selección de las prestaciones que ofrece. Además, tiene la posibilidad de activar diferentes funciones de alarma (velocidad del aire, presión atmosférica, etc.). Con la ayuda de este equipo podrá decidir entre otras cosas, que clase de ropa sería apropiada ponerse, o si debe regar el jardín o no, y mucho más. Los valores meteorológicos se envían por radio a la base a una distancia máxima de 100 metros. Está equipado con la última tecnología en el análisis meteorológico. La pantalla táctil le permite recuperar de forma muy sencilla los valores medidos. El transmisor es alimentado por un módulo solar y dos pilas recargables. El puerto USB, que incluye el cable USB, le permite transmitir los datos a su PC o portátil. Estos datos van acompañados de fecha y hora para poder analizarlos en período de tiempo más largo. Aquí puede memorizar los valores meteorológicos de forma ilimitada. El software de análisis que se incluye en el envío, le permite analizar y comparar la fluctuación meteorológica mediante gráficos y diagramas a través de un tiempo prolongado.



FIG. N° 8: Anemómetro de Veleta PCE-FWS 20 (Equipos Sensovant Smart 2018).



FIG. N° 9: Anemómetro de Veleta incluido software.

Aquí observa el anemómetro de veleta PCE-FWS 20 con el software y todos los sensores que se acoplan al mástil (Equipos Sensovant Smart 2018).

<http://sensovant.com/productos/meteorologia/humedad-y-temperatura/sensores-medidores-instrumentos-humedad-temperatura.html>. (Sensovant Smart 2018). Página web.

CAPÍTULO IV.

I. Diagnóstico Energético del Recurso Solar.

En la provincia de Celendín; Lugar en donde se realiza el estudio de investigación de tesis indicada actualmente en las regiones y provincias a nivel nacional se encuentra entre los departamentos con mayor índice de radiación solar (radiación UV), tanto así que ocupa el segundo lugar (Región Cajamarca), pues el primero lo tiene Arequipa.

Esto se anunció el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) tras celebrar las actividades por el Día del Sol, que se inició con una conferencia de prensa con lo precisado en la provincia de Celendín (Cajamarca). Agregó que la calidad del aire ha variado y la radiación del sol aumentó, por ello tras los datos altos de radiación FIG. N° 8: Mapa de energía solar incidente diaria. (Dirección regional de investigación y asuntos ambientales)

Radiación solar aprovechándose de algunos caseríos de Celendín que carecen de energía eléctrica en algunas viviendas recientemente construidas por los pobladores del lugar; se implanto con esta propuesta de electrificación rural para el caserío ya que a la actualidad se vienen realizando proyectos utilizando paneles solares en la mayor parte de viviendas ubicadas en el caserío. A continuación, se muestran los gráficos y tablas de las medidas de radiación solar y temperatura máxima y mínima del distrito mencionado.

Las tablas se ubican a continuación como anexos como elaboración propia obtenidas del SENAMHI ubicado en la provincia de Celendín, región Cajamarca.

Datos promedios de irradiación solar del Gráfico mostrado N° 8 (kW/m²- Día) en el distrito de Celendín, región Cajamarca por el Dirección regional de investigación y asuntos ambientales (Ministerio de Energía y Minas)				
Meses:	Enero- Marzo	Febrero-Mayo	Mayo- Agosto.	Agos- Dici.
Datos(kWh/m ²):	4-4.5 kWh/m ²	5-5.5 kWh/m ²	5.5-6 kWh/m ²	6-6.5 kWh/m ²

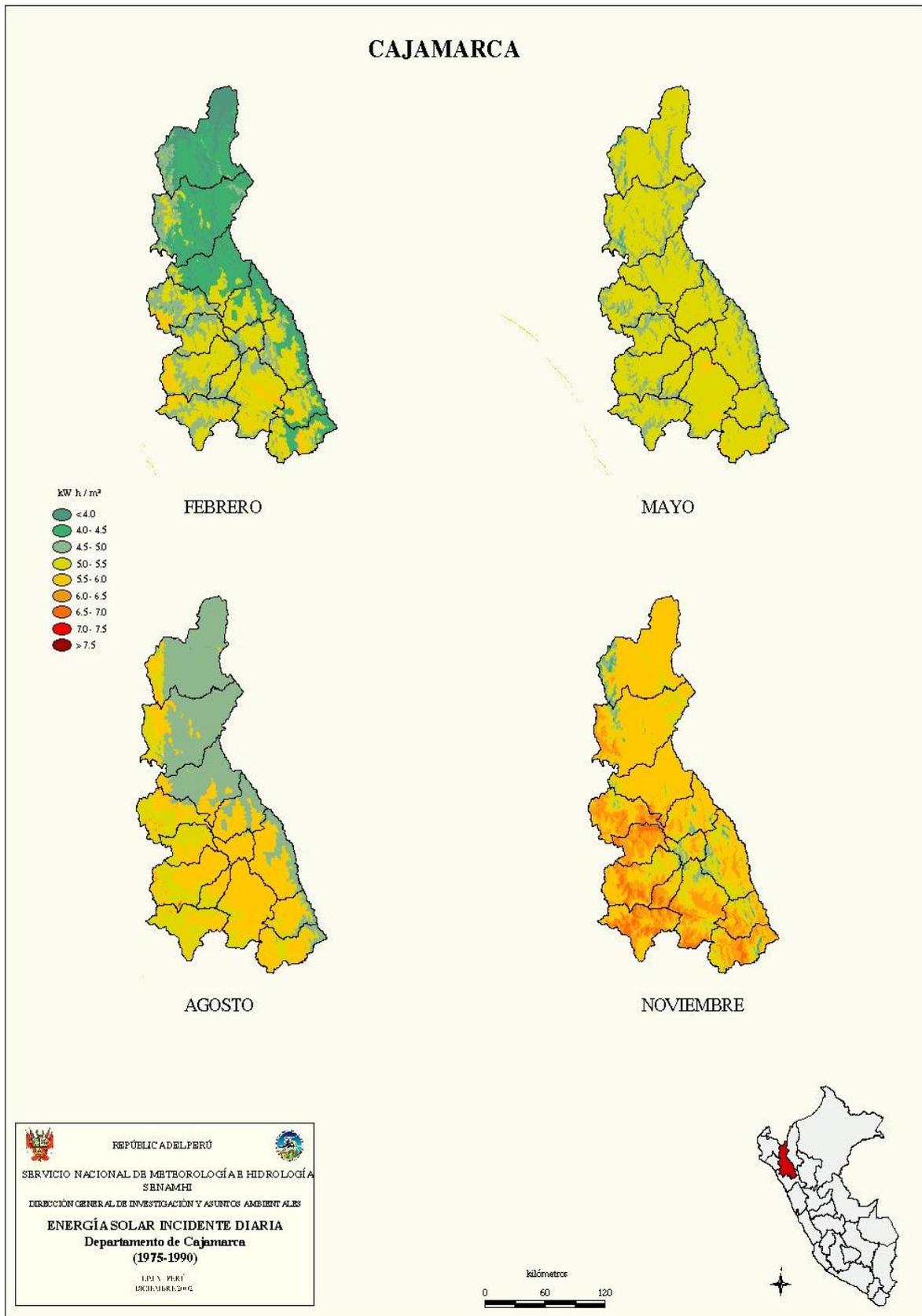


FIG. N° 10: Mapa de energía solar incidente diaria.
(Dirección regional de investigación y asuntos ambientales-
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.)

I. Diagnóstico Energético del Recurso Eólico:

Actualmente el departamento de Cajamarca es el departamento en el norte con mayores índices de velocidad del viento especialmente en las provincias límites a la cordillera de los andes; los resultados arrojan **hasta 14 m/s**. En el distrito de Jorge Chávez, provincia de Celendín, Cajamarca sus índices son mayores que el de radiación solar en los últimos 04 años. Cabe precisar que en el departamento si está apropiado la construcción de un parque eólico por los altos índices que arroja el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). A continuación, se presentan las tablas y los gráficos de las medidas obtenidas de diversas fuentes del distrito mencionado.

Las tablas se ubican a continuación como anexos como elaboración propia obtenidas del SENAMHI ubicado en la provincia de Celendín, departamento de Cajamarca.

Descripción de las FIG N° 10-11: Velocidades en todo el año en la provincia de Celendín, región Cajamarca por la Dirección General de Electrificación Rural (Ministerio de Energía y Minas).				
Estaciones del Año.	Primavera	Verano	Otoño	Invierno.
Meses.	Marzo-Mayo	Junio- Agosto	Setiembre- Noviembre	Diciembre- Febrero.
m/s (Promedio)	4-5 m/s	5-6 m/s	5-6 m/s	9-10 m/s

Del gráfico se muestra las medidas obtenidas por las fuentes indicadas en las Fig. N° 11 Y 12, comprende datos promedios realizados en octubre del 2008.

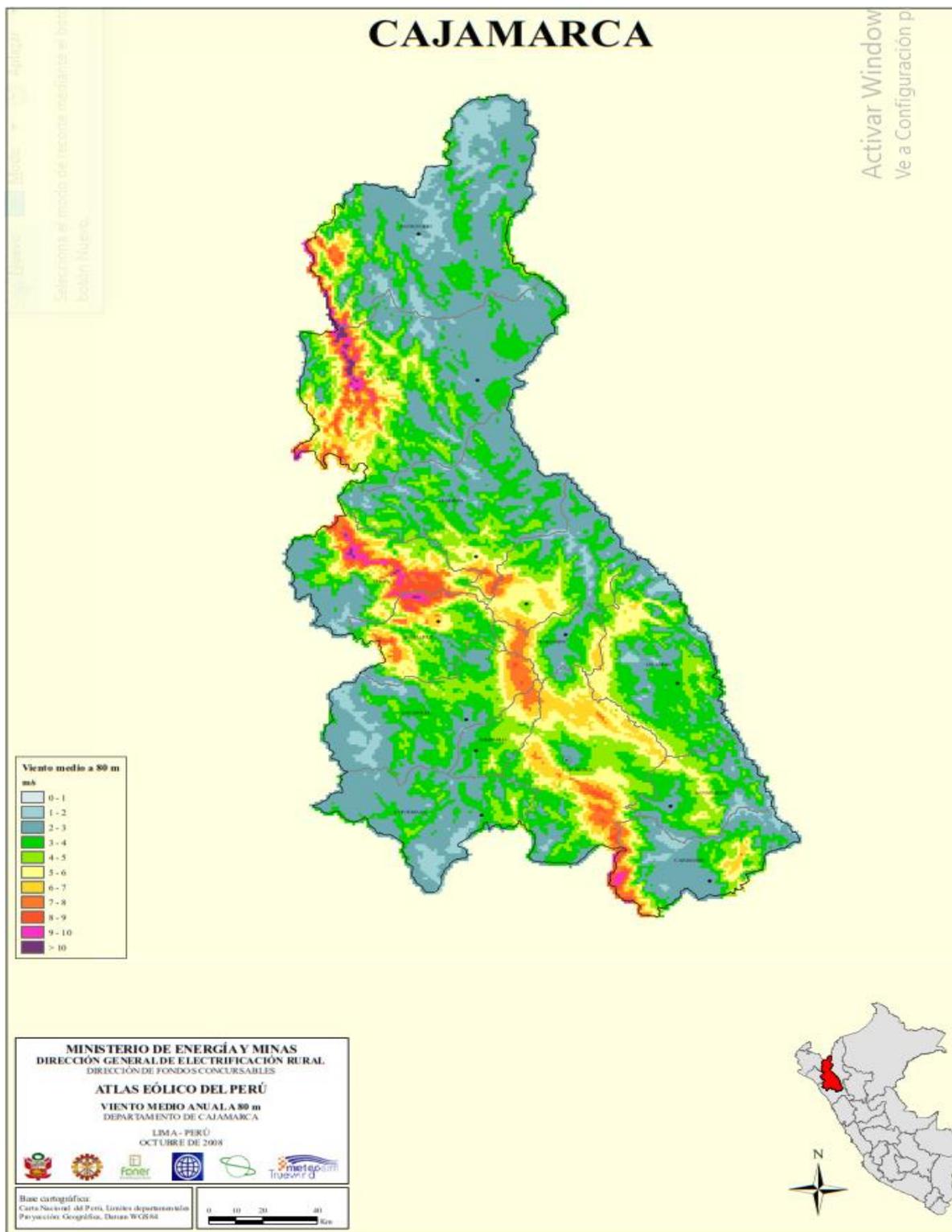


FIG N° 11: Descripción de Velocidades.
 En todo el año en la región Cajamarca por la Dirección General de Electrificación Rural
 (Ministerio de Energía y Minas).

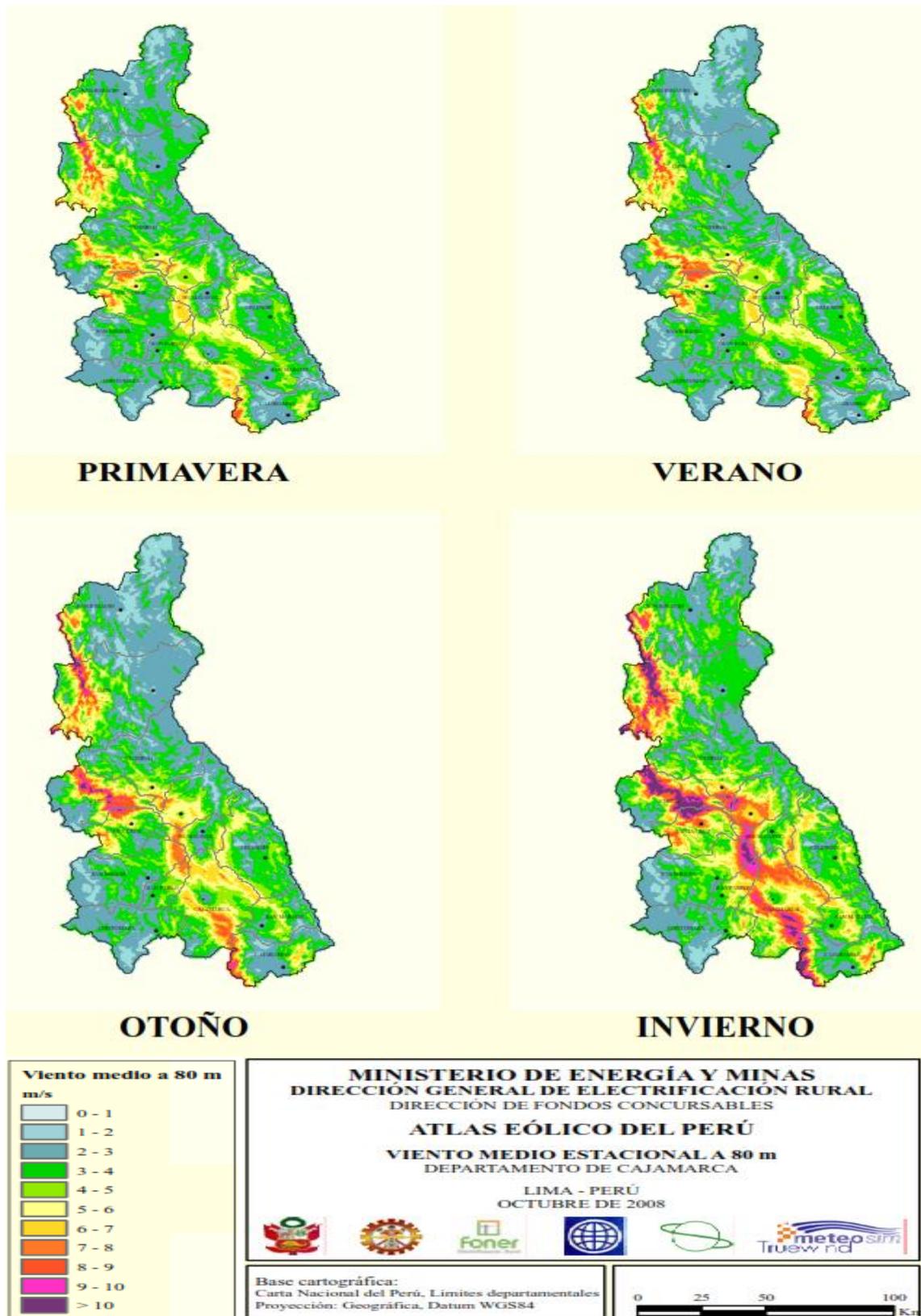


FIG N° 12: Descripción de Velocidades

En todo el año en la provincia de Celendín, región Cajamarca por la Dirección General de Electrificación Rural (Ministerio de Energía y Minas).

CAPÍTULO V.

I. Dimensionado de los Módulos Fotovoltaicos:

En el diagrama de máxima demanda elaborado, indica el consumo por día de la provincia de Celendín a base de la elaboración de encuestas realizadas a los habitantes del caserío; según la información se ha elaborado el factor carga en el diagrama de máxima demanda. Para la elaboración se utilizó una serie de luminarias utilizadas para la iluminación de las viviendas, además de los equipos y electrodomésticos utilizados en cada una de las viviendas.

A continuación, se detallan su potencia, tiempo de utilización en horas por día, el número de artefactos conectados. La energía calculada se detalla en dos casos realizados:

- El producto entre la potencia de cada artefacto conectado y el tiempo de utilización en horas por día.
- A la tensión conectada; en este caso de 220V y 400V por la intensidad de corriente de cada artefacto conectado.

I.1. Descripción del dimensionamiento.

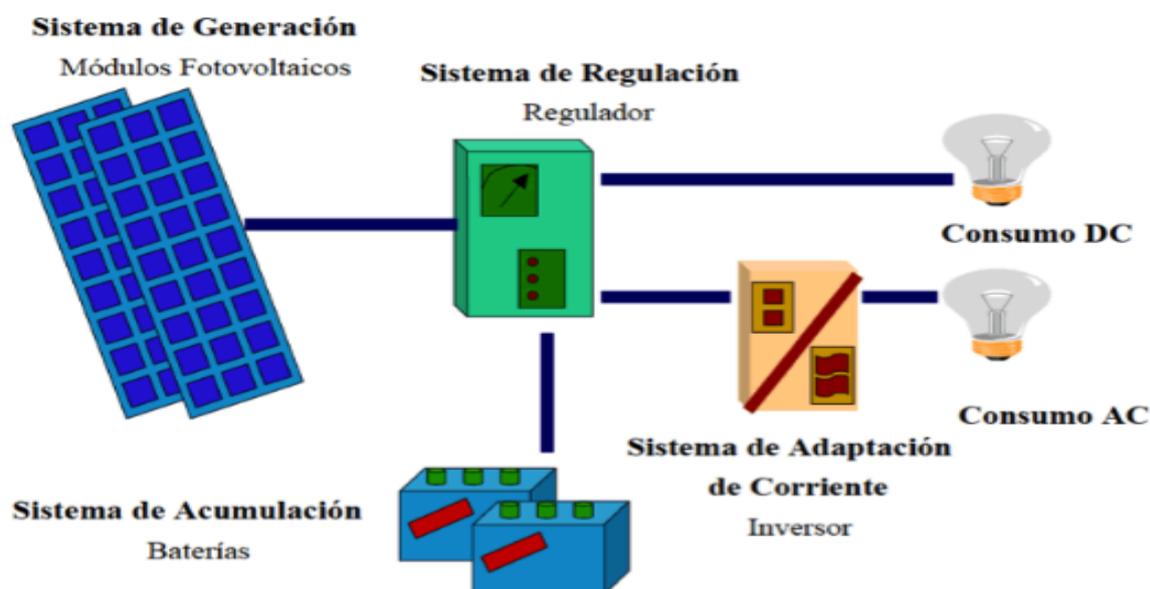


Fig. 1. Esquema básico instalación fotovoltaica autónoma

FIG N° 13: Esquema básico de una instalación Fv
De: Lope Gómez de Marzo Pag. 3 (FEUGA 2017).

I.1.1 Cálculo del Consumo medio.

Se procede a realizar el diagrama de máxima demanda con los equipos conectados en cada vivienda para determinar el factor de carga. De acuerdo a al consumo máximo de energía consumida en kW-h/Día seleccionamos la tensión nominal del sistema de acuerdo al rango de energía mostrado en el gráfico.

Potencia demandada por las cargas (W)	Tensión de Trabajo (V)
Menor de 1.500	12
1.500 - 5.000	24 ó 48
Mayor de 5.000	120 ó 300

Tabla N° 7: Tensión Instalada (V) por Potencia demandada (W)
De: Lope Gómez de Marzo (FEUGA 2017).

a. Consumo de energía nominal en kWh/Día.

$$L_{md} = \frac{L_{md.DC} + \frac{L_{md.AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{cond}}$$

Siendo:

L_{md} : Consumo medio de energía diaria.

$L_{md.DC}$: Consumo medio de energía diaria en las cargas de corriente continua.

$L_{md.AC}$: Consumo medio de energía diaria en las cargas de corriente alterna.

η_{inv} : Eficiencia del inversor.

η_{bat} : Eficiencia de la batería.

η_{cond} : Eficiencia del conductor.

b. Consumo de energía medio diario real en Ah/Día.

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{bat}}$$

Siendo:

V_{bat} : Tensión de la batería.

c. Consumo anual total (Lt)

Lt=Lmd.365 días.

I-1.2. Cálculo de Módulos Fv.

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} \cdot HSP_{crit} \cdot PR}$$

$$E_p = P_{MPP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR$$

$$N_{SERIE} = \frac{V_{VAT}}{V_{MOD.MPP}}$$

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}}$$

Siendo:

P_{MPP} : La potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida STC.

HSP_{crit} : Horas de sol del mes crítico calculado a partir de la tabla de radiaciones en el ángulo de inclinación.

PR : Factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90. Usamos 0.9 por defecto.

E_p : Energía diaria que puede darnos cada panel Fv.

$V_{MOD.MPP}$: Tensión máxima del módulo.

$$I_{GFV.MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HSP_{crit}}$$

Siendo:

$I_{GFV.MPP}$: Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de los paneles instalados).

$$N_{PARALELO} = \frac{I_{GFV.MPP}}{I_{MOD.MPP}}$$

Siendo:

$I_{MOD.MPP}$: Corriente máxima de cada módulo Fv.

$N_{PARALELO}$: Número de módulos en paralelo para cubrir las necesidades del sistema.

I.1.3. Cálculo de los Acumuladores (baterías).

a. Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máx. diaria.

$$C_{nd} (Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmáx.d} \cdot F_{CT}}$$

$$C_{nd} (Ah) = \frac{C_{nd} (Wh)}{V_{bat}}$$

Siendo:

$P_{Dmáx.d}$: Profundidad de descarga máxima diaria.

F_{CT} : Factor de corrección por temperatura.

$C_{nd} (Wh)$: Capacidad nominal de la batería en Wh.

$C_{nd} (Ah)$: Capacidad nominal de la batería en Ah.

b. Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máx. estacional (C_{ne}).

$$C_{ne} (Wh) = \frac{L_{md} \cdot N}{P_{Dmáx.e} \cdot F_{CT}}$$

$$C_{ne} (Ah) = \frac{C_{ne} (Wh)}{V_{bat}}$$

Siendo:

$P_{Dmáx.e}$: Profundidad de descarga máxima estacional.

N: Número de días de autonomía.

I.1.4. Cálculo del Regulador.

$$I_{entrada} = f_s \cdot I_{MOD.SC} \cdot N_T$$
$$I_{salida} = \frac{f_s \cdot (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}})}{V_{bat.}}$$

Siendo:

$I_{entrada}$: Corriente de entrada del regulador:

I_{salida} : Corriente de salida del regulador.

f_s : Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

$I_{MOD.SC}$: Corriente unitaria del módulo Fv en condiciones de cortocircuito.

P_{DC} : Potencia en cargas de 220V.

P_{AC} : Potencia en cargas de 400V.

η_{inv} : Eficiencia del inversor.

I.1.5. Cálculo del Inversor:

$$P_{INV} = f_s \cdot P_{AC}.$$

Los cálculos se encuentran como anexos a continuación en las siguientes tablas como elaboración propia.

Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma SunFields Europe- Lope Gómez
de Marzoa FEUGA 2017 Santiago de Compostela (España)

info@sfe-solar.com- wwwsfe-solar.com. Pág. 1-20

II. Dimensionamiento del Aerogenerador Eólico:

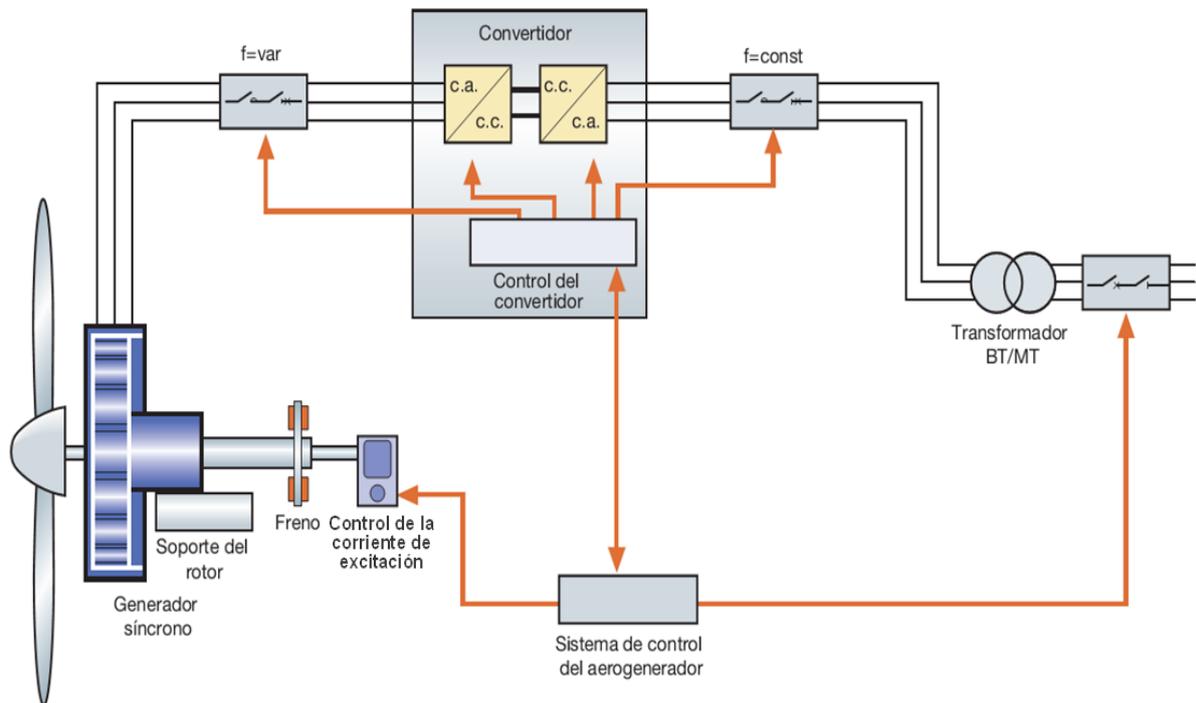


FIG N° 14: Esquema de generación Eólica (Daniel Torroglosa Giner 2013).

II.1. Diseño del Rotor.

Antes de empezar con el diseño del rotor, resulta conveniente introducir cuáles son los parámetros adimensionales que caracterizan el comportamiento de la Aero turbina. Los parámetros más significativos del problema planteado serán:

$$f(P, V_0, \rho, R, \omega, \nu)$$

Donde:

P: Potencia.

V_0 : Velocidad del viento.

ρ : Densidad del fluido.

R: Radio del rotor.

ω : Velocidad de rotación del rotor.

ν : Viscosidad del fluido.

a. Coeficiente de Potencia.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_o^3 \cdot \pi \cdot R^2}$$

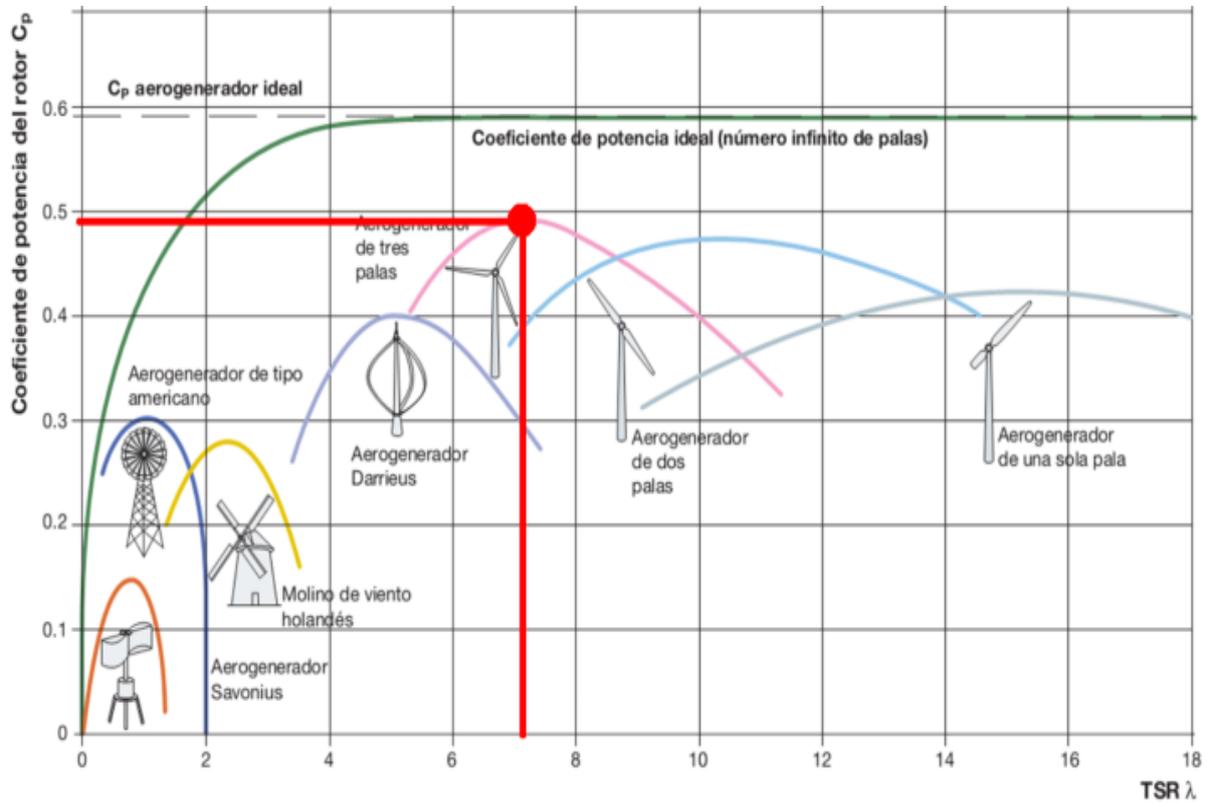


Tabla N° 8: Coeficiente de Potencia vs Velocidad Específica (Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

En la siguiente tabla presentada; para este proyecto de tesis consideramos como coeficiente de potencia 0.48

b. Velocidad Específica.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_n}$$

Siendo:

Vn: Velocidad nominal a 10m de altura.

c. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{v_o * R}{v_n} = \frac{v_o \cdot C}{v_n}$$

Siendo:

λ : Velocidad específica en punta de pala.

d. Velocidad de rotación del rotor.

$$\omega = \left(\frac{60 \cdot v_n \cdot \lambda}{\pi \cdot d} \right) \cdot \frac{\pi}{30} = N \cdot \frac{\pi}{30}$$

La potencia después de la transmisión mecánica vendrá afectada por un rendimiento de la forma:

$$P_t = \eta_m \cdot P_m$$

Por último, la energía de salida de la transmisión mecánica, será transformada en energía eléctrica por medio de un generador, el cual, introducirá unas pérdidas:

$$P_e = \eta_g \cdot P_t$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores, se puede expresar la potencia eléctrica extraíble de un aerogenerador en función de la energía contenida en el viento:

$$P_e = C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot P_w$$

II.1.1. Rendimiento de la Caja Multiplicadora.

Las pérdidas de transmisión se deben sobre todo a la fricción entre engranajes, así como las debidas a los cojinetes. Las pérdidas no varían fuertemente con el esfuerzo de torsión transmitido, siendo, por lo tanto, razonable asumir que la pérdida de transmisión es un porcentaje de la calidad de la transmisión.

$$\eta_m = \frac{P_t}{P_m} = \frac{P_m - (0.02) \cdot q \cdot P_{mR}}{P_m}$$

Siendo:

P_{mR} : Potencia nominal obtenida por el rotor.

q: número de etapas en la transmisión:

II.1.2. Rendimiento del Generador.

Las pérdidas del generador se pueden considerar en tres categorías: las de histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault, que son funciones del voltaje y de la frecuencia de funcionamiento, y las pérdidas en el cobre, que son proporcionales al cuadrado de la carga.

$$\eta_g = \frac{x - (0.5) \cdot Y \cdot (1 - Y) \cdot (x^2 + 1)}{X}$$

Donde:

$$X = \frac{P_t}{P_{tR}}$$

$$Y = 0.05 \cdot \left(\frac{10^6}{P_{eR}} \right)^{0.215}$$

Siendo:

P_{tR} : Potencia nominal de la caja multiplicadora.

P_{eR} : Potencia nominal del generador eléctrico.

Una vez calculados ambos rendimientos, podemos calcular el rendimiento global del aerogenerador (sin tener en cuenta el coeficiente de potencia para el rotor):

$$\eta_o = \eta_m \cdot \eta_g$$

De esta forma podremos calcular la potencia nominal que debemos utilizar para realizar el diseño de manera que obtengamos realmente la potencia demandada a la salida del aerogenerador.

$$P_n = \frac{P_e}{\eta_o}$$

II.1.3. Diámetro del Rotor.

Para obtener el diámetro utilizamos la expresión que nos relaciona:

- potencia nominal (P_n).
- El coeficiente de potencia (C_p).
- La densidad del aire (ρ).
- El diámetro del rotor (D).
- La velocidad nominal de funcionamiento del aerogenerador (V_n).
- C: Factor de escala calculada por la distribución de Weibull.

$$v_n = 1.8 * c$$

$$v_a = 0.5 * v_n$$

$$v_d = 2 * v_n$$

$$D = \sqrt{\frac{8 \cdot P_n}{\rho \cdot C_p \cdot \pi \cdot v_n^3}}$$

$$P_n = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot v_n^3$$

Y para calcular la velocidad de giro del rotor usamos la expresión de la velocidad específica (λ) en función del radio del rotor (R), la velocidad de rotación del rotor (N) en R.P.M y la velocidad nominal (V_n).

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v_o} = \frac{N \cdot \pi \cdot D}{60 \cdot v_n}$$

$$N = \frac{60 \cdot v_n \cdot \lambda}{\pi \cdot D}$$

II.1.4. Rosa de vientos.

En esta rosa de los vientos se representan las direcciones que sigue el viento en porcentaje de frecuencia. De esta forma podemos determinar cuáles son las direcciones dominantes, en este caso N (70% %) y NW (13%) son las altas velocidades según el SENAMHI de la provincia de Celendín. En los datos recogidos la dirección del viento, en un instante concreto, se considera la misma para diferentes alturas, ya sean 20,10,32, etc. Gráfica de rosa de vientos.

Dirección	Frecuencia	%
N	254	70%
NW	48	13%
C	4	1%
S	4	1%
E	9	2%
SW	2	1%
W	43	12%

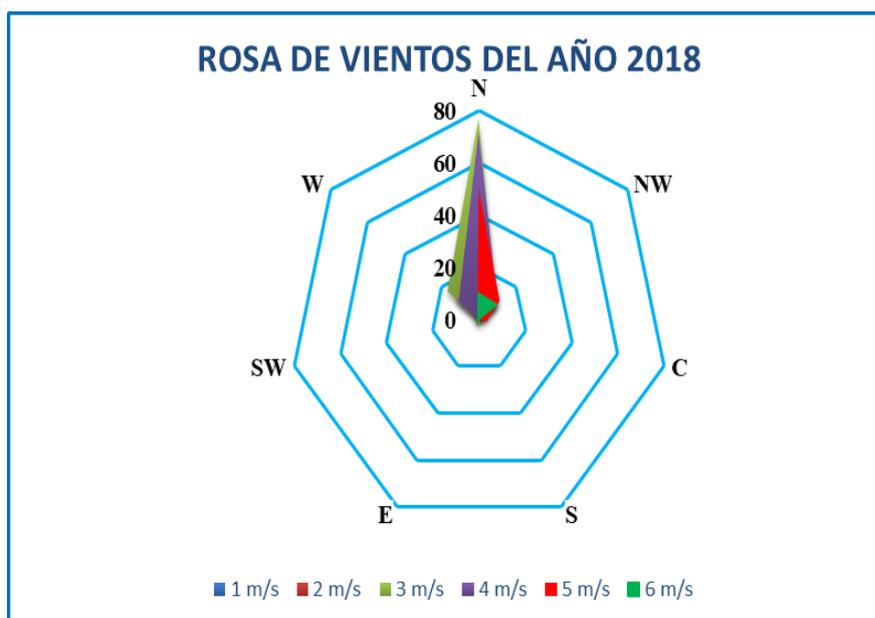


FIG N° 15: Rosa de Vientos (Elaboración propia).

II.1.5. Perfil Vertical de Velocidades medio.

Se puede hacer uso de dos modelos diferentes para expresar la variación de la velocidad con la altura.

Ley Logarítmica:

Este modelo es más utilizado si tenemos datos del viento medio o estacionario (velocidad obtenida por el promedio de medidas para un intervalo de tiempo de 10 minutos).

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \frac{\ln(z) - \ln(z_o)}{\ln(z_1) - \ln(z_o)}$$

Siendo:

z_o : Rugosidad del terreno (m)

z_1 : Altura a 10m

Ley Potencial:

Cuando los datos de los que disponemos corresponden a la velocidad a largo plazo (velocidad media anual), este es el modelo más usado.

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^n$$

Siendo:

n= Niel de rugosidad del terreno.

z_2 : Altura a 20, 75m

z_1 : Altura a 10m

II.1.6. Distribución de Weibull a la altura de 10m.

Mediante la ley de Weibull podemos representar una distribución de probabilidades para la velocidad del viento que se ajusta bien a los resultados comprobados experimentalmente. De forma que tenemos una expresión que nos permite ver como se distribuyen las velocidades a lo largo de un periodo de tiempo.

$$C = e^{\frac{-b}{-k}}$$

$$k(z_2) = \frac{k \left[1 - 0.088 \operatorname{Ln} \left(\frac{z_1}{10} \right) \right]}{\left[1 - 0.088 \operatorname{Ln} \left(\frac{z_2}{10} \right) \right]}$$

$$c(z_2) = c \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\infty$$

$$\infty = \frac{0.37 - 0.088 \operatorname{Ln}(c)}{1 - 0.088 \operatorname{Ln} \left(\frac{z_1}{10} \right)}$$

$$p(v) = \frac{k(z_2)}{c(z_2)} \cdot \left(\frac{v}{c(z_2)} \right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c(z_2)} \right)^k}$$

Siendo:

C: Factor de escala.

K: Factor de forma.

II.1.7. Curva de Velocidades de Viento.

Muestra la probabilidad de que se dé un rango determinado de velocidades. Por ejemplo, la probabilidad de que se den velocidades iguales o mayores que 0 m/s será 1 (del 100%) y así con velocidades sucesivas. Se calcula mediante la ecuación.

$$p(V > vi) = e^{\left[-\left(\frac{vi}{c} \right)^k \right]}$$

Con los valores de C y k calculamos anteriormente para la altura de 10m.

II.1.8. Potencia Media Disponible a 10m.

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Al no conocer el área barrida por el aerogenerador calculamos la densidad de potencia media.

$$\frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v^3 = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{1}{2} \rho v^3$$

v^3 se puede calcular a través de la función de densidad de probabilidad:

$$v^3 \text{ media} = \int_0^{\infty} v^3 p(v) dv = c^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = c(10)^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k(10)} \right)$$

$$\gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{3}{k} \gamma \frac{3}{k}$$

$$v^3 \text{ media} = \int_0^{\infty} v^3 p(v) dv = c^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)$$

$$\gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{3}{k} \gamma \frac{3}{k} = \frac{3}{k} * 0.88659168$$

II.1.9. Distribución de Weibull a la Altura de Buje:

II.1.9.1. Potencia Media Disponible a una máxima altura $k(n)$.

$$\frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v^3 = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{1}{2} \rho v^3$$

$$v^3 \text{ media} = \int_0^{\infty} v^3 p(v) dv = c^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = c(n)^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k(n)} \right)$$

$$\gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{3}{k} \gamma \frac{3}{k}$$

$$v^3 \text{ media} = \int_0^{\infty} v^3 p(v) dv = c^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)$$

$$\gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right) = \frac{3}{k} \gamma \frac{3}{k} = \frac{3}{k} * 0.88659168$$

II.1.10. Ley Exponencial de Hellmann.

A continuación, se muestran en la Tabla N°9 la selección del ángulo para calcular la velocidad a la altura de 10m. En la Tabla N°10 la velocidad y ángulo a una determinada altura por zona. En este trabajo de tesis tomaremos en la Tabla N°9: Terrenos accidentados o bosques, Tabla N°10: Zona rústica.

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

Tabla N° 9: Exponente de Hellmann
(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás-
Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

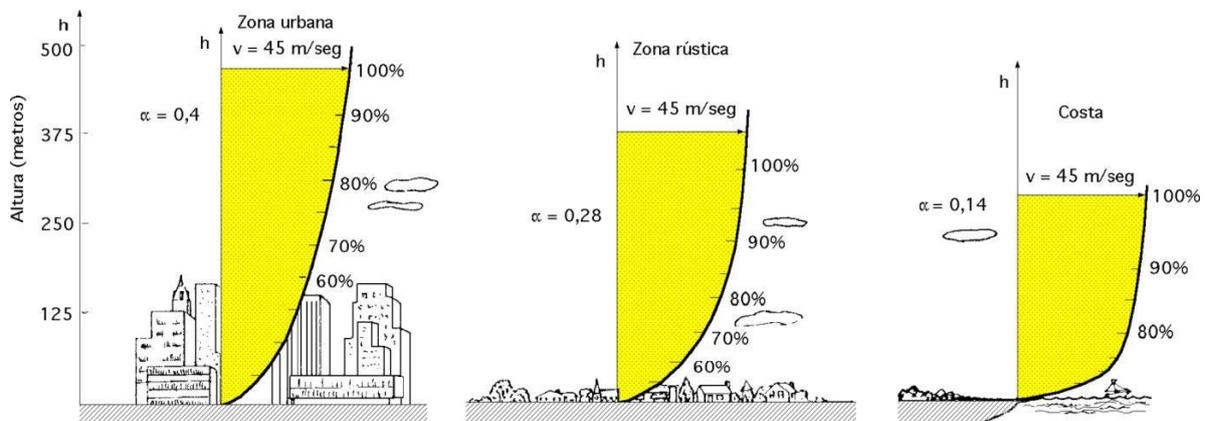


Tabla N° 10: Tabla de velocidades vs Exponente de Hellmann
(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás-
Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

$$v_{10} = v_h \left(\frac{10}{h} \right)^\alpha$$

II.1.11. Probabilidad de Distribución de Weibull.

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

Siendo:

$k=1.9096$ (factor de forma)

$C= 3.8311$ (factor de escala)

II.1.12. Curva de Distribución de Energía.

$$P_{\text{útil-máx}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_v^3 * C_{pmáx} = k * N^3 * C_{pmáx}$$

$$P_{\text{útil-máx}} = \pi \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot v_n \cdot \int_0^R (1+a) \cdot (h-1) \cdot r^3 dr$$

$$T_i = pi(V > Vi) * 8760 \text{ h/año}$$

Donde:

$pi(V > Vi)$: Curva de velocidades del viento.

II.1.13. Rosa de Energía.

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot X_i \cdot \Delta t$$

Siendo:

E_i : Energía en el director i.

ρ : Densidad del aire.

A: Área de barrido del rotor eólico.

X_i : Valor del gráfico sobre el director i.

Δt : Intervalo de muestreo 5 minutos.

II.1.14. Potencia Disponible del Viento.

$$N_{\text{viento}} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dmv^2 - 0}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho A v dt v^2}{dt}$$

$$N_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \cdot \rho A v^3$$

Siendo:

N_{viento} : Potencia disponible.

dmv^2 : Diferencial de energía cinética.

II.1.15. Potencia Aprovechable del Viento.

$$N_{aprovechable-viento} = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 * \eta$$

$$\eta_{generador} = 0.9$$

$$\eta_{sist.elect.} = 0.9$$

$$\eta_{hélice} = 0.49$$

$$\therefore \eta_T = 0.9 * 0.9 * 0.49 = 0.396$$

II.1.16. Curva del Generador Eléctrico.

$$P_{útil-máx} = \pi \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot v_n \cdot \int_0^R (1+a) \cdot (h-1) \cdot r^3 dr$$

II.2 Dimensionamiento del Aspa.

II.2.1 Principio de Funcionamiento.

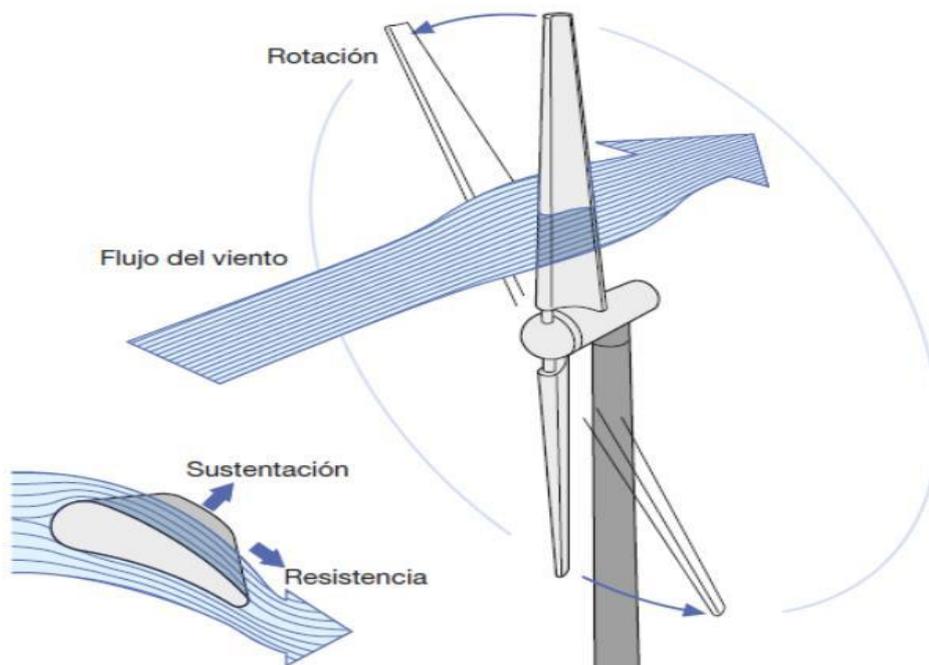


FIG N° 16: Componentes del asa de un aerogenerador (Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

Fuerzas Aerodinámicas.

F_S :Sustentación.

F_R : Arrastre.

1. Perfil Aerodinámico.

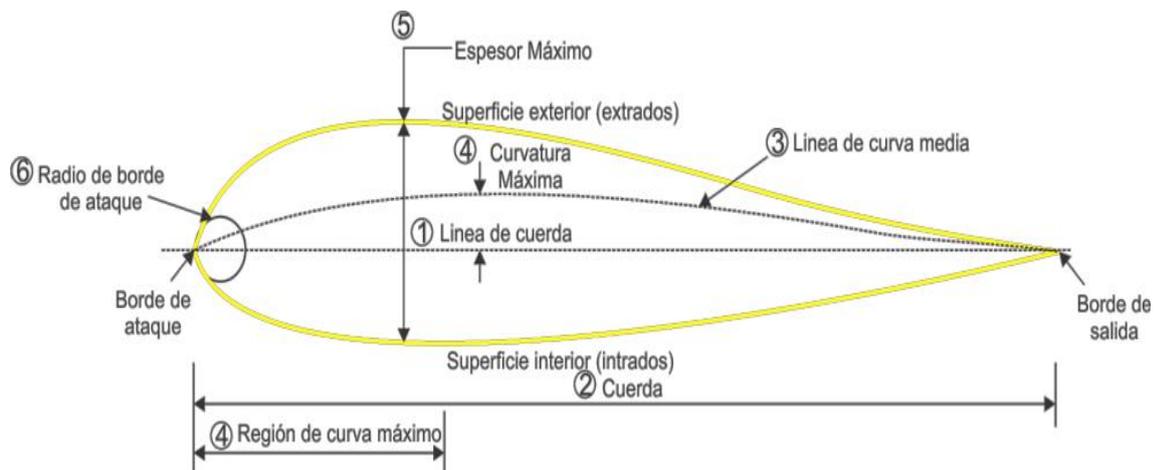


FIG N° 17: Componentes del Perfil Aerodinámico

(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

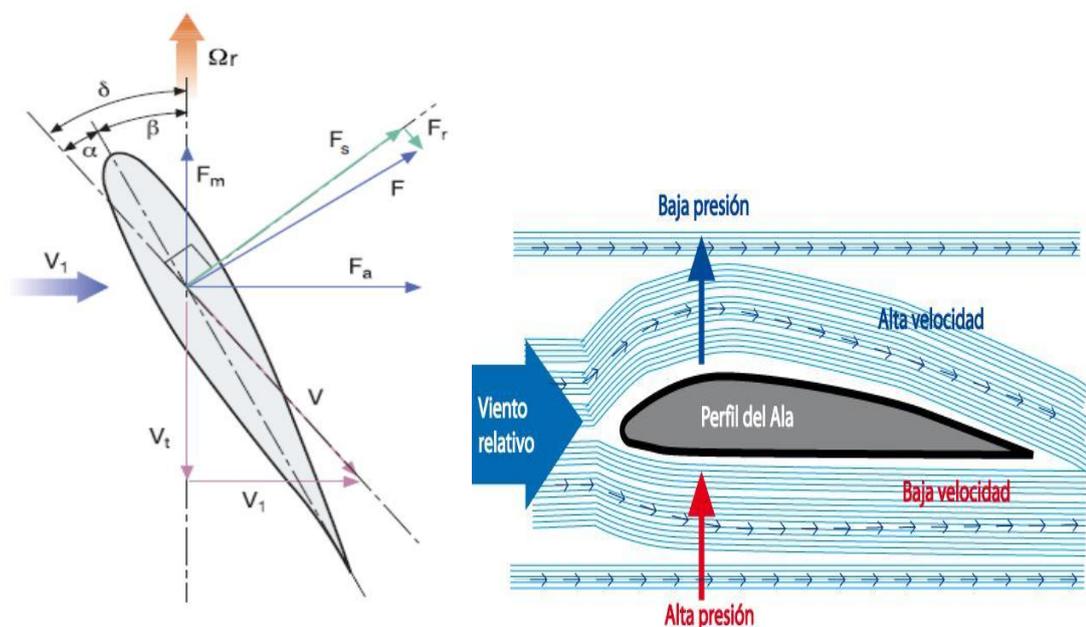


FIG N° 18: Componentes del Perfil Aerodinámico.

(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

$$F_S = \frac{1}{2} \cdot C_l \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad F_R = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad R_e = \frac{\rho \cdot c \cdot V}{\mu}$$

2. Empuje Axial Diferencial (dF_v).

Obtenido de la cantidad de movimiento, viene dada por:

$$dF_v = \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot dr \cdot V \cdot (V_1 - V_2) = \rho \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot V_1^2 \cdot (1 - a^2)$$

$$a = \frac{V_1}{V_2}$$

$$dF_v = p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot c \cdot C_L \cdot \cos I \cdot dr$$

Donde:

a: Facto de inducción axial.

r: Radio de la corona circular.

dr: Espesor de la corona circular.

P: # de palas.

C: Cuerda de la pala.

I: ángulo de inclinación.

V1 y V2: Velocidad del viento a la entrada y a la salida del rotor.

CL: Coeficiente de sustentación del perfil.

W: Velocidad relativa del flujo. ES la velocidad con la que el viento incide sobre el perfil.

λ: Velocidad específica de la pala.

Partiendo del radio r_i de la sección genérica se determina la velocidad específica en cada una de las secciones de la pala (λ_i):

De donde:

$$a_i = \sqrt{\lambda_i^2 + 1} \cdot \cos \left(\frac{1}{3} \arctg(\lambda_i) + \frac{\pi}{3} \right)$$

a. Cuerda de la pala (c).

$$c_i = 6\% \cdot r_i = 0.06 \cdot r_i$$

b. Coeficiente de Rotación Inducida (h):

$$h_i = \sqrt{\left(1 + \frac{(1 - a^2)}{\lambda_i^2}\right)} = \frac{\Omega_i + \omega_i}{\omega_i}$$

$$\omega_i = \frac{120 \cdot v_n \cdot \lambda_i}{\pi \cdot r_i} * \left(\frac{\pi}{30}\right) = N_i \cdot \frac{\pi}{30}$$

Donde:

ω_i : Velocidad de rotación del rotor.

Ω_i : Rotación inducida.

N_i : Velocidad de rotación del rotor.

c. Rotación inducida.

$$\Omega_i = \omega_i * (h_i - 1)$$

d. Ángulo de Inclinación (I).

$$I = \text{arcctg} \left(\frac{u}{V} = \frac{1 + h_i}{1 + a_i} \cdot \frac{\omega_i \cdot r_i}{V_1} = \frac{1 + h_i}{1 + a_i} \cdot \lambda_i \right)$$

$$u = \omega_i \cdot r_i + \frac{\Omega_i \cdot r_i}{2} = \frac{1 + h_i}{2} \cdot \omega_i \cdot r_i$$

$$V = V_1 \cdot \frac{1 + a_i}{2}$$

Donde:

u: Velocidad de arrastre del flujo.

V: Velocidad absoluta a la entrada del perfil.

e. Coeficiente de Sustentación de Perfil (CL):

$$C_L = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_i \cdot (h_i - 1) \cdot 2 \cdot \cos(I_i)}{(1 + h_i) \cdot p \cdot c_i}$$

f. Velocidad Relativa del Flujo (W):

$$W_i = \sqrt{\frac{V_1^2 \cdot (1 + a_i)^2}{2 \cdot \text{sen}^2(I_i)}}$$

g. Coeficiente de potencia local (Cp).

$$dP = \rho \cdot \pi \cdot \omega_i^2 \cdot r_i^3 \cdot dr \cdot V_1 \cdot (1 + a_i) \cdot (h_i - 1)$$

$$C_p = \frac{dP}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot dr \cdot V_1^3} = \frac{\omega_i^2 \cdot r_i^2}{V_1^2} \cdot (1 + a_i) \cdot (h_i - 1)$$

$$\lambda_i = \frac{\omega \cdot r_i}{V_n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot r_i}{60 \cdot V_n}$$

h. Flujo ideal (Qi).

$$C_L \cdot c_i \cdot p = \frac{8 \cdot \pi \cdot r \cdot (1 - a_i) \cdot 2 \cdot \text{sen}^2(I_i)}{(1 + a_i) \cdot \cos(I_i)} = Q_i$$

$$C_L \cdot c_i = Q_i$$

Siendo:

Q_i : Flujo ideal.

i. Número de Reynolds (Re).

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v_n \cdot c_i}{\mu}$$

Donde: μ : Viscosidad del aire ($\mu = 1.8 * 10^{-5} \text{ kg} / \text{m.s}$)

3. Teoría del momento cinético de la pala.

$$dM = \rho \cdot \pi \cdot v_n \cdot (1 + a_i) \cdot (h_i - 1) \cdot \omega_i \cdot r_i^3 dr = P \cdot \frac{1}{2} (\rho \cdot w_i^2 \cdot c_i \cdot C_d \cdot \text{sen}(I) \cdot r_i dr)$$

$$\Rightarrow C_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v_n \cdot (1 + a_i) \cdot (h_i - 1) \cdot \omega_i}{P \cdot w_i^2 \cdot c_i \cdot \text{sen}(I_i)}$$

Donde Cd: Coeficiente de resistencia del perfil.

II.7.2. Coeficientes de Seguridad (Cs).

$$C_s = \gamma_m \cdot \gamma_f = 1.35 \cdot (3) = 4.05$$

γ_m : Es el factor de seguridad parcial para los materiales.

Método de determinación de carga	Factor de seguridad para cargas de fatiga, γ_f	Factor de seguridad para cargas de ruptura, γ_r
Cálculo sencillo de la carga	1,0	3,0
Modelado aeroelástico con datos de diseño (r.p.m, potencia)	1,0	1,35
Mediciones de carga con extrapolación	1,0	3,0

Tabla N° 11: Factor de Seguridad

(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

γ_f : Es el factor de seguridad parcial para las cargas.

Condición	Caracterización total	Caracterización mínima
Resistencia a la fatiga	1,25 ^{a)}	10,0 ^{b)}
Resistencia a la ruptura	1,1	3,0
^{a)} El factor se aplica a los rangos de esfuerzo, como se indica en la ecuación (48).		
^{b)} El factor se aplica a la resistencia a la ruptura medida del material.		

Tabla N° 12: Resistencia a la ruptura.

(Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

II.8. Curva de Potencia (Curva del aerogenerador).

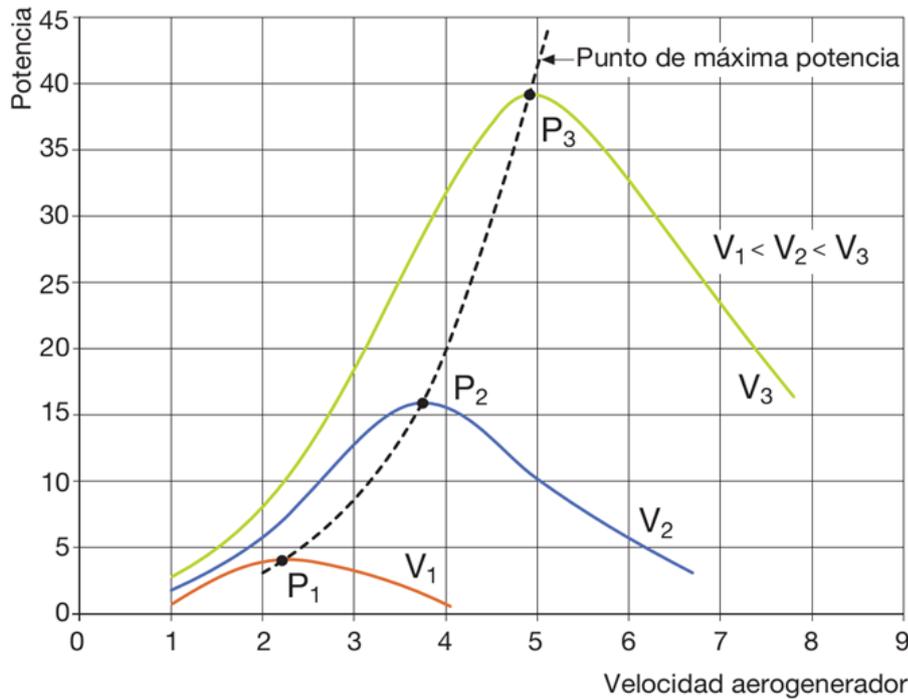


Tabla N° 13: Potencia vs velocidad del aerogenerador ruptura
 (Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás-
 Universidad Politécnica de Cartagena 2018).

$$\lambda_{opt} = \frac{v_t}{v_v} = cte \quad \forall v_v \neq 0$$

II.9. Potencia Útil Máxima.

$$P_{\text{útil-máx}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_v^3 * C_{pmáx} = k * N^3 * C_{pmáx}$$

$$P_{\text{útil-máx}} = \pi \cdot \omega^2 \cdot \rho \cdot v_n \cdot \int_0^R (1+a) \cdot (h-1) \cdot r^3 dr$$

Diseño de un Aerogenerador (Cáceres Esteban Adrián, Dasso Gastón Pérez, Manuel Nicolás- Universidad Politécnica de Cartagena 2018. Daniel Torroglosa Giner (Universidad Politécnica de Cartagena 2013), Industriales UPCT.

Los cálculos se encuentran a continuación en anexos como elaboración propia.

CAPÍTULO VI

I. Eficiencia Energética.

En este capítulo siguiente se desarrollarán el mejor uso huso de la energía producida por el parque híbrido diseñado para dar energía limpia y renovable a la provincia de Celendín, Región Cajamarca. Para ello se ha distribuido la energía producida por mes, estableciendo el consumo diario de los pobladores del lugar en las 6 010 viviendas encuestadas tanto el investigador de la tesis como el INEI para verificar su legalidad para obtener el índice de consumo energético en cada unidad de energía respecto al consumo total según su tasa de crecimiento de la población del lugar. Como conclusión se establece algunas propuestas como en el dimensionamiento de paneles Fv y aerogeneradores diseñados para el parque eólico.

I.1. Pronostico de la población.

Se ha destinado un pronóstico de población a 20 años para una producción de la energía, en la actualidad presenta 81 habitantes distribuidos según su número de viviendas (Tabla N° 1- Cap. I), con una tasa de crecimiento del 1% anual.

$$P_n = P_0(I + 1)^n$$

Siendo:

Pn: Población proyectada.

P0: Población inicial. (79 084 habitantes).

I: Tasa de crecimiento. (5% anual).

n: Años proyectados. (20 años).

Con ello se concluye que la población proyectada a 20 años es 209 834 habitantes.

I.2. Pronóstico de la Energía.

Se realiza el pronóstico de la energía eléctrica en base a las tasas del incremento anual definido por la tendencia y modificada por las proyecciones a corto plazo y a largo plazo.

$$E_i = E_{i-1} \cdot (I + 1)$$

Siendo:

E_i: Pronóstico de consumo de energía para el año i. (Año 2040)

E_{i-1}: Consumo de energía para el año i-1.

I: Tasa de crecimiento interanual proyectada. (1%)

Se concluye que el consumo de energía proyectado con relación a la tasa de crecimiento es de 22.1kWh/ Día.

I.3. Pronóstico de Máxima demanda en base al pronóstico del factor de carga anual.

Pronóstico de máxima demanda del año proyectado teniendo en cuenta la tasa de crecimiento anual, el factor de carga en el año actual con el dimensionamiento del sistema híbrido. Para determinar seguidamente los índices de consumo energético en el sistema respecto a la energía producida vs consumo.

$$MD_i = \frac{E_i}{fc_i * 8760}$$

Siendo:

E_i. Pronóstico de consumo de energía para el año i (MW h)

fc_i. Pronóstico de factor de carga para el año i. (0.4)

MD_i. Pronóstico de máximas demanda para el año i (MW h)

Los resultados se adjuntan en Anexos.

ANEXOS.

I. Temperatura promedio por mes de bulbo seco y húmedo Promedio de los últimos 05 años:

I.1. Temperatura promedio de bulbo seco y húmedo del año 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018 por mes:

MEDIDAS PROMEDIO POR MES DEL AÑO 2014								
MES	Temperatura	Temperatura	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo		
	Max (°c)	Min (°c)	Seco (°c)			Húmedo (°c)		
			7 hrs	13 hrs	19 hrs	7 hrs	13 hrs	19 hrs
ENERO	20.08	11.17	11.85	17.96	14.50	11.68	15.47	0.88
FEBRERO	19.71	11.67	12.21	18.04	14.23	12.06	15.90	1.82
MARZO	19.29	11.32	11.59	17.61	14.14	11.44	15.75	1.32
ABRIL	20.00	10.88	11.19	18.06	14.32	10.67	15.68	0.98
MAYO	19.15	11.24	11.85	17.59	14.61	11.65	15.14	1.18
JUNIO	19.76	8.77	9.73	18.44	14.19	9.41	14.51	0.02
JULIO	19.92	7.82	8.62	18.17	14.43	8.32	13.46	0.00
AGOSTO	19.52	6.83	7.95	17.73	14.10	7.65	13.34	0.10
SEPTIEMBRE	19.78	8.26	9.47	18.21	14.40	9.18	13.87	0.46
OCTUBRE	20.34	9.41	11.04	18.45	14.61	10.62	14.57	0.63
NOVIEMBRE	20.68	10.49	11.85	18.91	15.17	11.32	15.14	1.72
DICIEMBRE	19.78	11.19	12.20	18.09	14.60	11.90	14.87	1.38

Tabla N° 14: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2014 por mes
(SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

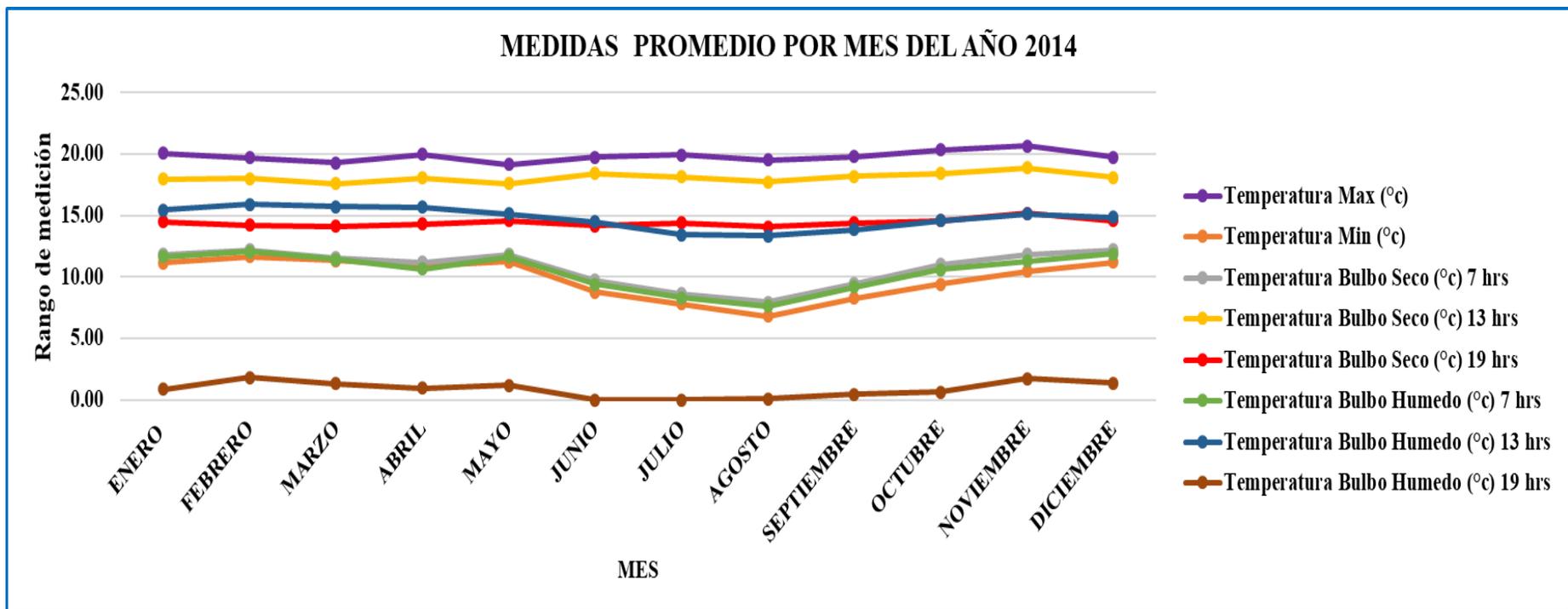


Gráfico N° 1: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2014 por mes (Elaboración propia).

MEDIDAS PROMEDIO POR MES DEL AÑO 2015								
MES	Temperatura Máx (° C)	Temperatura Mín (° C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)		
			7 hrs	13 hrs	19 hrs	7 hrs	13 hrs	19 hrs
ENERO	17.95	11.32	11.81	16.16	13.60	11.64	14.21	13.14
FEBRERO	19.46	10.80	11.67	17.64	14.73	11.45	15.03	13.79
MARZO	18.47	11.76	12.25	16.93	14.28	12.04	14.97	13.88
ABRIL	18.97	10.98	11.87	16.99	14.51	11.65	14.85	13.93
MAYO	18.80	11.39	12.18	17.49	14.07	11.98	14.89	13.60
JUNIO	19.33	8.19	9.32	17.74	14.18	9.00	14.21	12.82
JULIO	19.77	8.35	9.25	17.99	14.32	9.01	14.27	12.96
AGOSTO	20.54	7.09	7.95	18.76	14.98	7.70	14.54	13.23
SEPTIEMBRE	21.02	8.61	9.87	19.15	15.43	9.52	14.92	13.49
OCTUBRE	21.78	11.01	12.24	19.80	15.74	11.78	15.32	13.90
NOVIEMBRE	20.77	11.02	12.15	18.97	15.43	11.68	15.53	14.32
DICIEMBRE	20.41	11.47	12.55	18.89	14.78	12.28	15.54	13.83

Tabla N° 15: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2015 por mes (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

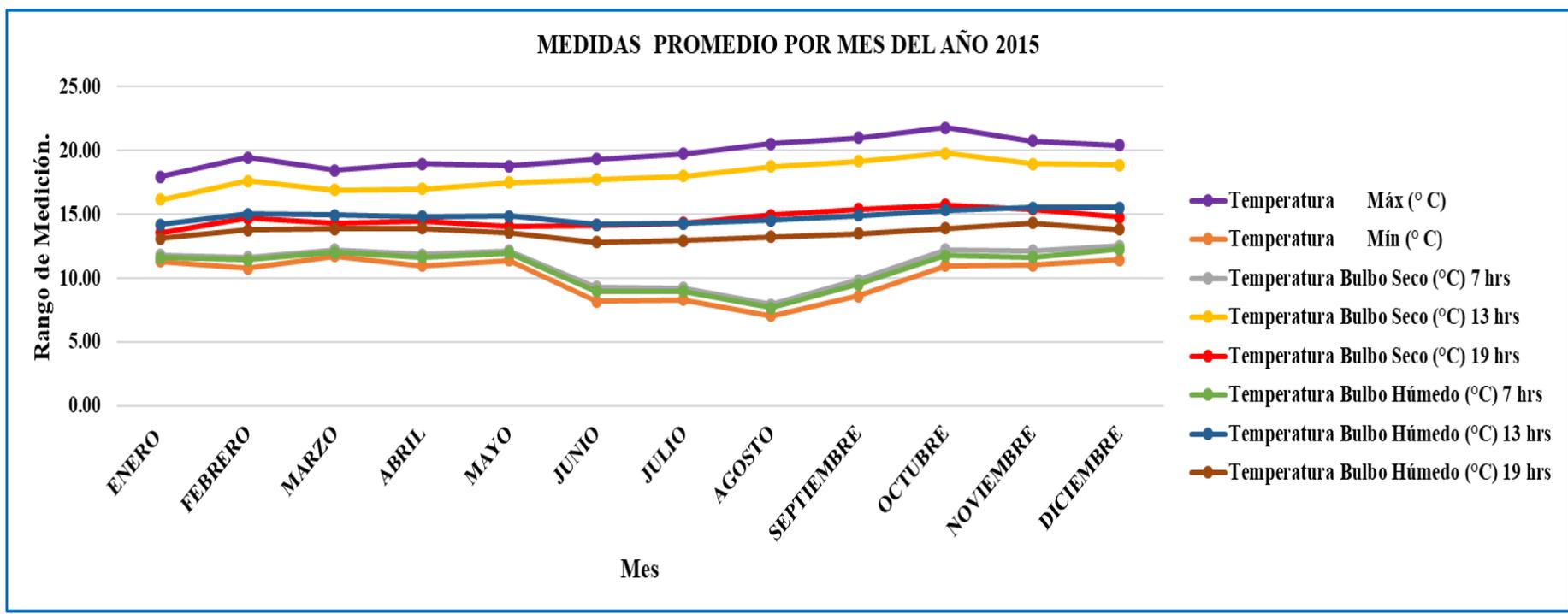


Gráfico N° 2: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2015 por mes (Elaboración propia).

MEDIDAS PROMEDIO POR MES DEL AÑO 2016								
MES	Temperatura Máx (° C)	Temperatura Mín (° C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)		
			7 hrs	13 hrs	19 hrs	7 hrs	13 hrs	19 hrs
ENERO	21.94	12.18	12.83	19.84	16.58	12.57	16.39	15.00
FEBRERO	19.73	12.72	13.24	17.78	15.37	13.06	15.69	14.70
MARZO	20.01	12.08	12.65	18.16	15.58	12.47	15.97	14.99
ABRIL	20.95	11.49	12.16	18.95	15.50	12.00	16.28	14.92
MAYO	21.36	10.51	11.50	19.69	15.35	11.25	16.00	14.45
JUNIO	20.02	7.73	8.71	18.16	14.04	8.43	18.15	12.69
JULIO	20.33	6.35	7.38	18.59	14.45	7.02	13.35	16.10
AGOSTO	20.78	7.20	8.05	18.93	14.86	7.76	14.35	12.85
SEPTIEMBRE	20.80	8.96	9.99	18.48	14.84	9.68	14.68	13.25
OCTUBRE	21.48	10.19	11.43	19.79	15.17	10.95	15.62	13.81
NOVIEMBRE	22.97	8.09	10.35	21.23	16.69	9.38	15.68	14.17
DICIEMBRE	19.91	11.42	12.39	18.18	14.43	12.07	15.53	13.68

Tabla N° 16: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2016 por mes (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

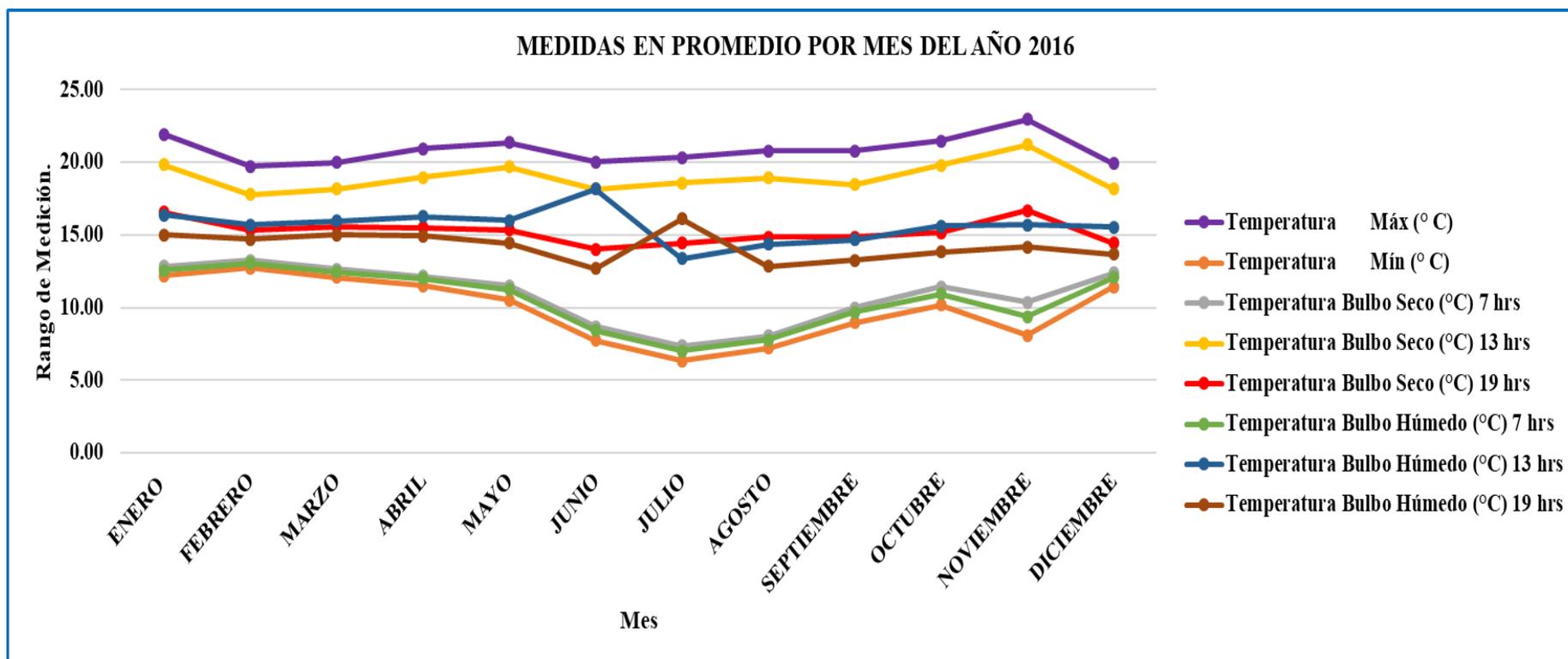


Gráfico N° 3: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2016 por mes (Elaboración propia).

MEDIDAS PROMEDIO POR MES DEL AÑO 2017								
MES	Temperatura Máx (° C)	Temperatura Mín (° C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)		
			7 hrs	13 hrs	19 hrs	7 hrs	13 hrs	19 hrs
ENERO	18.76	11.32	11.72	17.17	14.08	11.53	15.05	4.88
FEBRERO	19.44	10.83	11.40	17.88	14.41	11.04	13.91	1.46
MARZO	18.32	11.28	11.80	16.58	13.67	11.59	13.95	5.72
ABRIL	18.69	11.25	11.82	17.02	14.35	11.60	14.07	2.31
MAYO	19.30	10.73	11.32	17.58	14.38	11.09	14.30	1.04
JUNIO	19.96	9.31	10.31	18.05	14.49	9.98	13.82	0.43
JULIO	19.47	6.41	7.56	17.55	13.55	7.16	12.27	0.04
AGOSTO	20.49	7.87	8.47	18.28	14.84	8.19	12.99	0.08
SEPTIEMBRE	20.13	9.38	10.40	17.98	15.01	10.01	13.22	0.34
OCTUBRE	21.40	9.89	11.11	19.45	15.21	10.61	13.98	1.96
NOVIEMBRE	21.15	10.37	11.62	19.13	15.40	10.75	13.82	1.36
DICIEMBRE	19.10	11.25	11.97	17.45	14.21	11.58	14.15	2.51

Tabla N° 17: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2017 por mes (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

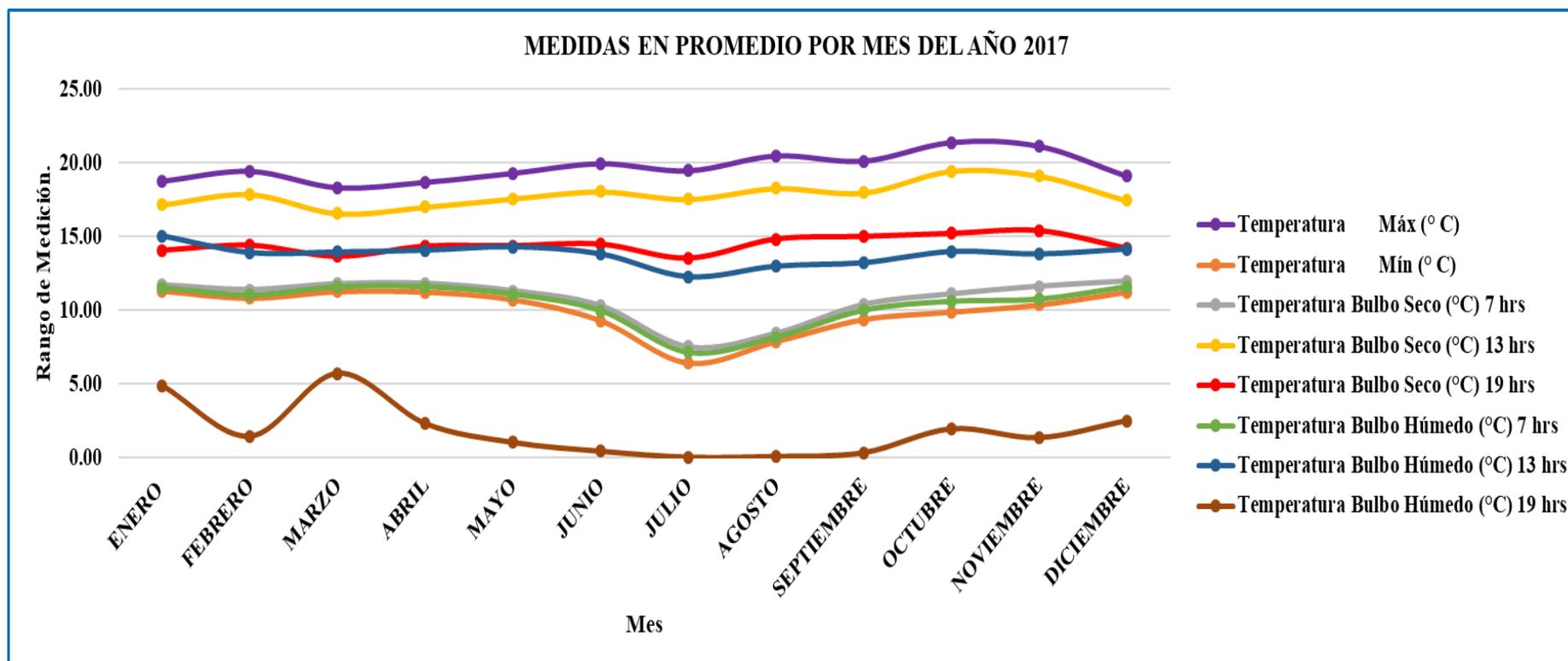


Gráfico N° 4: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2017 por mes (Elaboración propia).

MEDIDAS PROMEDIO POR MES DEL AÑO 2018								
MES	Temperatura Máx (° C)	Temperatura Mín (° C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)		
			7 hrs	13 hrs	19 hrs	7 hrs	13 hrs	19 hrs
ENERO	18.80	10.90	11.41	17.03	13.84	11.15	13.58	12.77
FEBRERO	19.56	11.23	11.96	17.43	14.78	11.61	14.09	13.09
MARZO	18.72	11.34	11.80	17.06	14.19	11.57	13.98	13.27
ABRIL	19.03	10.57	11.14	17.17	14.24	10.87	13.78	12.83
MAYO	19.17	9.99	10.63	17.25	14.06	10.41	13.70	12.85
JUNIO	19.44	8.04	9.01	17.72	13.50	8.69	12.64	11.68
JULIO	19.24	7.29	8.31	17.48	13.49	7.88	12.36	11.04
AGOSTO	19.82	7.32	8.25	18.00	14.10	7.91	12.16	11.19
SEPTIEMBRE	21.29	8.00	8.90	31.27	15.00	8.47	12.90	11.64
OCTUBRE	20.21	10.90	11.72	18.55	14.56	11.16	14.01	12.79
NOVIEMBRE	19.87	11.73	12.67	18.32	14.87	12.12	14.62	13.61
DICIEMBRE	19.87	11.73	12.67	18.32	14.87	12.12	14.62	13.61

Tabla N° 18: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2018 por mes (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

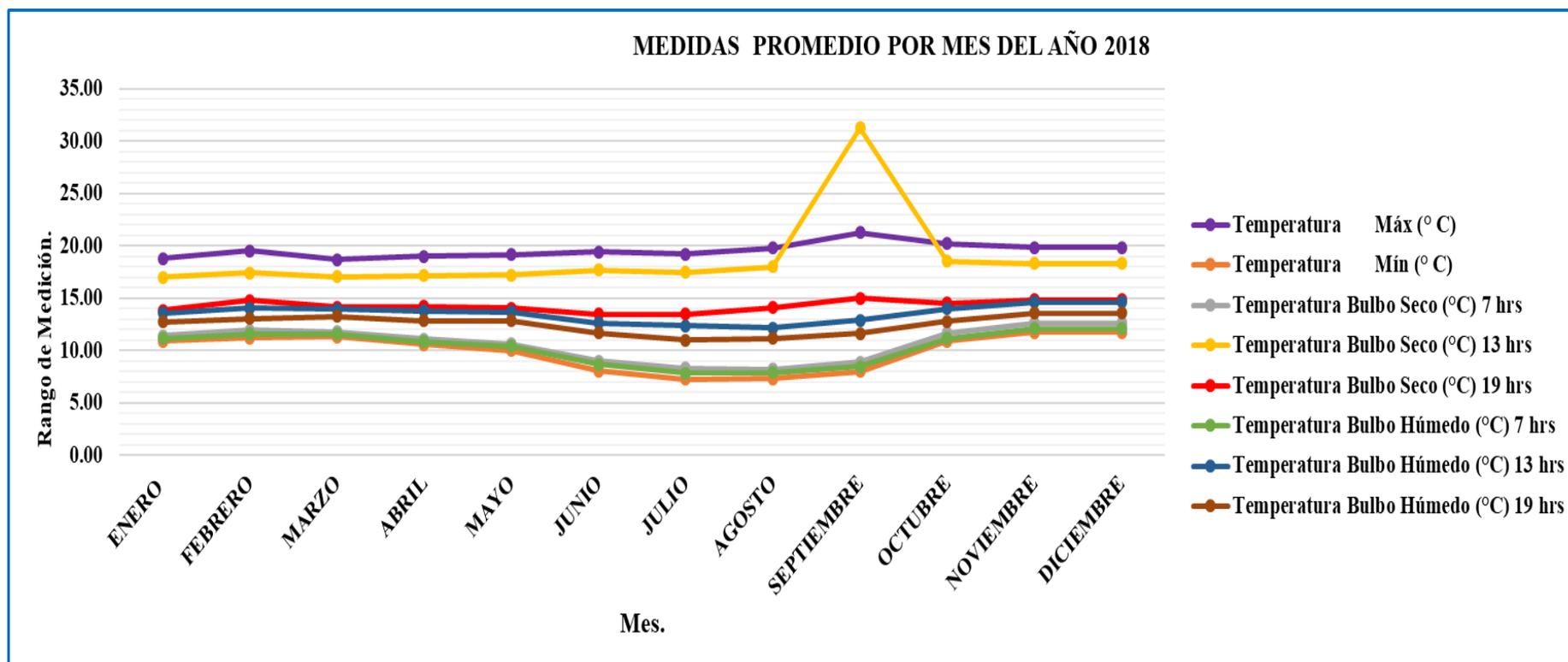


Gráfico N° 5: Medidas promedio de Temperatura de bulbo seco y húmedo del año 2018 por mes (Elaboración propia).

II. Irradiación solar promedio de los últimos 05 años (kW/m2-Mes).

A continuación, se muestran las medidas obtenidas por el SENAMHI de la provincia de Celendín, departamento de Cajamarca; estas medidas se realizan en tres horarios durante todos los días: 7:30 Am, 1:00 Pm, 5:00 Pm. Indicando el promedio por mes para posteriormente determinar las horas punta en el mes crítico.

IRRADIACIÓN SOLAR PROMEDIO ÚLTIMOS 05 AÑOS (kW/m2-MES)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2014	3.6	2.8	3.4	4.3	5.3	6.7	7.0	6.0	5.1	4.9	4.4	3.2
2015	2.4	3.9	3.0	4.3	4.5	6.4	6.7	7.2	6.0	5.3	4.3	4.5
2016	4.7	3.3	3.8	5.4	6.8	6.0	7.2	6.8	5.6	5.9	6.9	2.7
2017	3.1	3.9	2.7	4.3	4.8	6.0	7.2	6.5	5.1	5.8	4.5	3.5
2018	4.1	4.4	2.9	4.5	4.9	6.5	5.8	6.3	6.3	3.3	3.8	3.7
PROMEDIO MES-5 AÑOS	3.6	3.7	3.2	4.6	5.2	6.3	6.8	6.5	5.6	5.0	4.8	3.5
MÁX	4.7	4.4	3.8	5.4	6.8	6.7	7.2	7.2	6.3	5.9	6.9	4.5
MÍN	2.4	2.8	2.7	4.3	4.5	6.0	5.8	6.0	5.1	3.3	3.8	2.7

Tabla N° 19: Irradiación solar promedio de los últimos 05 años (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

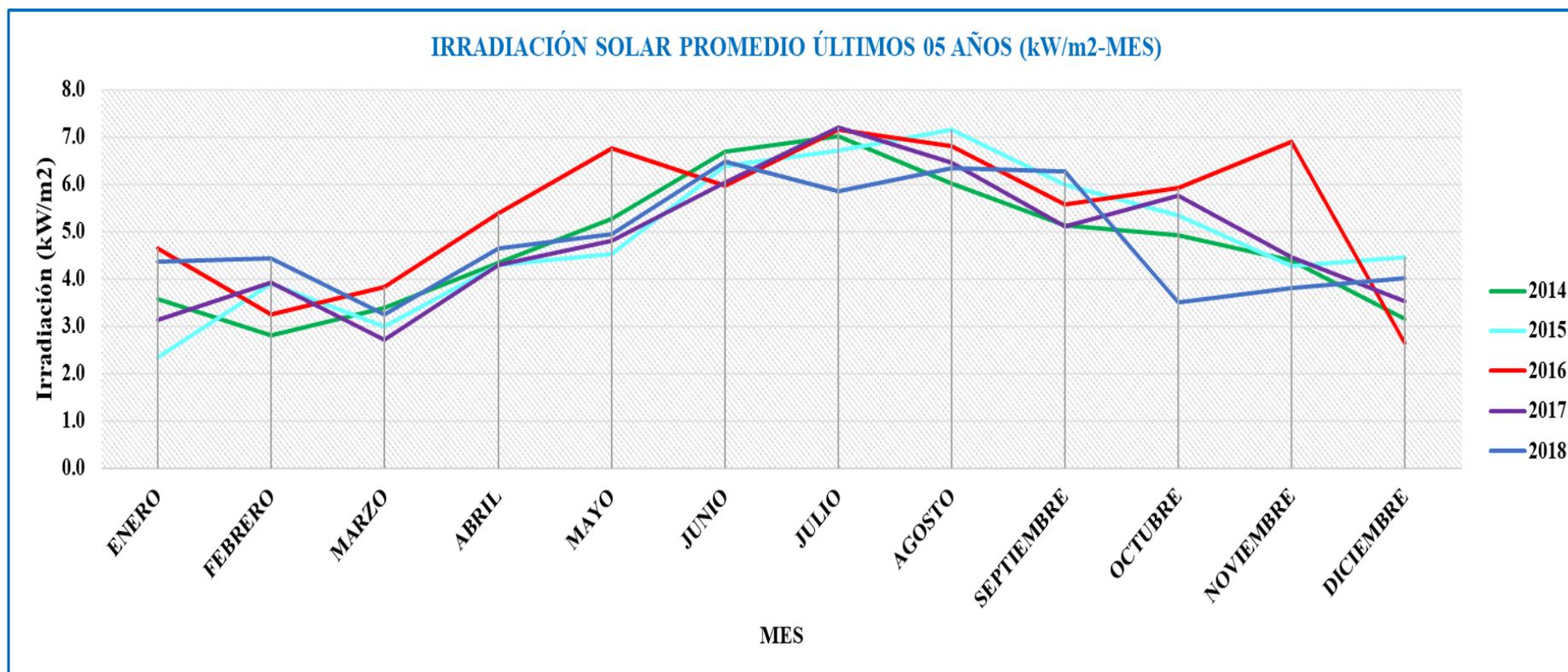


Gráfico N° 6: Irradiación solar promedio de los últimos 05 años
(Elaboración propia).

II.1. Irradiación solar promedio en horas punta (HSP) del año 2018 (kW/m2-Mes).

IRRADIACIÓN SOLAR DEL MES CRÍTICO EN HORAS PUNTA (HSP) AÑO 2018 k W/m2-Día												
Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
'18-01	6.6	9.2	3.2	4	6.1	2	9.7	6.7	5.3	4.2	0.9	10.8
'18-02	8	8	1	3.8	1	1	9	4.5	5.6	3.4	6.9	10.9
'18-03	6.8	7.3	4	2	5.1	3.1	9.1	8.1	4	2.4	3.3	10.2
'18-04	0.2	8.5	6.8	1	7.1	4.6	1.7	1.7	6.7	0.7	3.7	9.9
'18-05	0.7	4.6	4.3	4.1	3.5	8.1	6.5	5.5	10	1.7	5.1	8.7
'18-06	0.5	1.8	5.2	3	1.6	9.9	8.7	1.4	10	4.1	6.4	9
'18-07	0.8	3.7	5.3	2.8	2.8	9.4	9.4	5.4	10.1	4.5	4.5	1.2
'18-08	4.3	6.8	1.8	0.1	2.1	6.3	6.9	3.4	10.1	0.7	1.6	1.7
'18-09	5.2	3.8	8.4	2.1	1.1	7.1	4.6	7.2	10	4.1	2.2	3.5
'18-10	1.7	3.9	6.6	5.1	5.9	8.4	5.9	4	9.4	3.4	2.8	6.2
'18-11	1.8	7.5	0.7	6.3	4.7	7	1.7	5.8	4.8	7.1	1.5	3.4
'18-12	1.5	2	2.6	7.3	5.4	1.1	2.5	9.8	7.5	1.1	6.1	1
'18-13	3.2	6.7	5	0.9	2.1	3.5	1	8.4	4.6	0.1	5.2	2.2
'18-14	4.3	0.3	8.3	3.2	4.9	4.6	5.7	9.7	3.8	1.2	1.6	1.4
'18-15	1.2	0.7	2.6	8.8	3	3	4.1	6	1.2	5.5	1.2	2
'18-16	2.3	0.2	0.8	9	1.2	6.1	9.4	1	5.9	9.3	0.2	1
'18-17	2	1.1	1.1	9.4	1.6	7.8	3	3.4	5.9	3.3	1.7	1.5
'18-18	3.3	5	4.3	9.2	4.9	9.8	2.3	8.7	4.3	3.7	3.2	1
'18-19	2.1	1.5	1.8	6.4	5.5	9.7	2.7	6.7	7.7	3.7	1	1.2
'18-20	4.3	1.4	5	4.1	7	9.7	4.9	4.9	4.4	5.4	0.8	3.1
'18-21	6.6	6.9	3.2	6.7	3	9.6	3.3	4.5	4.4	3.4	3.1	2
'18-22	2.3	8.7	0.7	7.8	7	9.8	5.4	2.3	3.4	4.3	0.4	1
'18-23	7.8	7.8	0.6	2.4	5.5	6.7	3.5	10.1	3.9	4.3	6.5	0.9
'18-24	5	9.9	2	5.7	7.7	3	6.9	9.6	6.1	0.8	6.6	7.1
'18-25	7.1	1.6	3.1	5	6.6	2.3	8.9	10	4	5.7	2.8	4.4
'18-26	5.9	2.8	1.2	3.1	4.1	9.4	10	5.1	6.1	8.9	0.2	1.6
'18-27	9.2	1.3	0.7	5.5	9.6	8.2	9.9	6.2	8.3	1.1	9.7	3.8
'18-28	6.7	1.3	3.2	3.3	7.4	7.3	8.9	9.5	8.5	3.1	4.7	3
'18-29	9.3		0.7	4.4	7.9	6.4	9.8	9.2	6.2	3.4	10.1	3.3
'18-30	9.7		2.1	3	6.6	9.6	2.3	8.8	6.3	3	10.1	5.9
'18-31	4.7		4.2		6.7		3.5	8.7		1.5		1.6
Total	135.1	124.3	100.5	139.5	148.7	194.5	181.2	196.3	188.5	109.1	114.1	124.5
HSP	4.36	4.44	3.24	4.65	4.80	6.48	5.85	6.33	6.28	3.52	3.80	4.02

Tabla N° 20: Irradiación solar promedio en horas punta (HSP) del año 2018 (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

Del gráfico se muestra que el mes crítico en HSP es el mes de marzo, con una irradiación promedio por mes de 3.2 kW/m²-Día; según el horario de medidas realizadas por el SENAMHI de la provincia de Celendín.

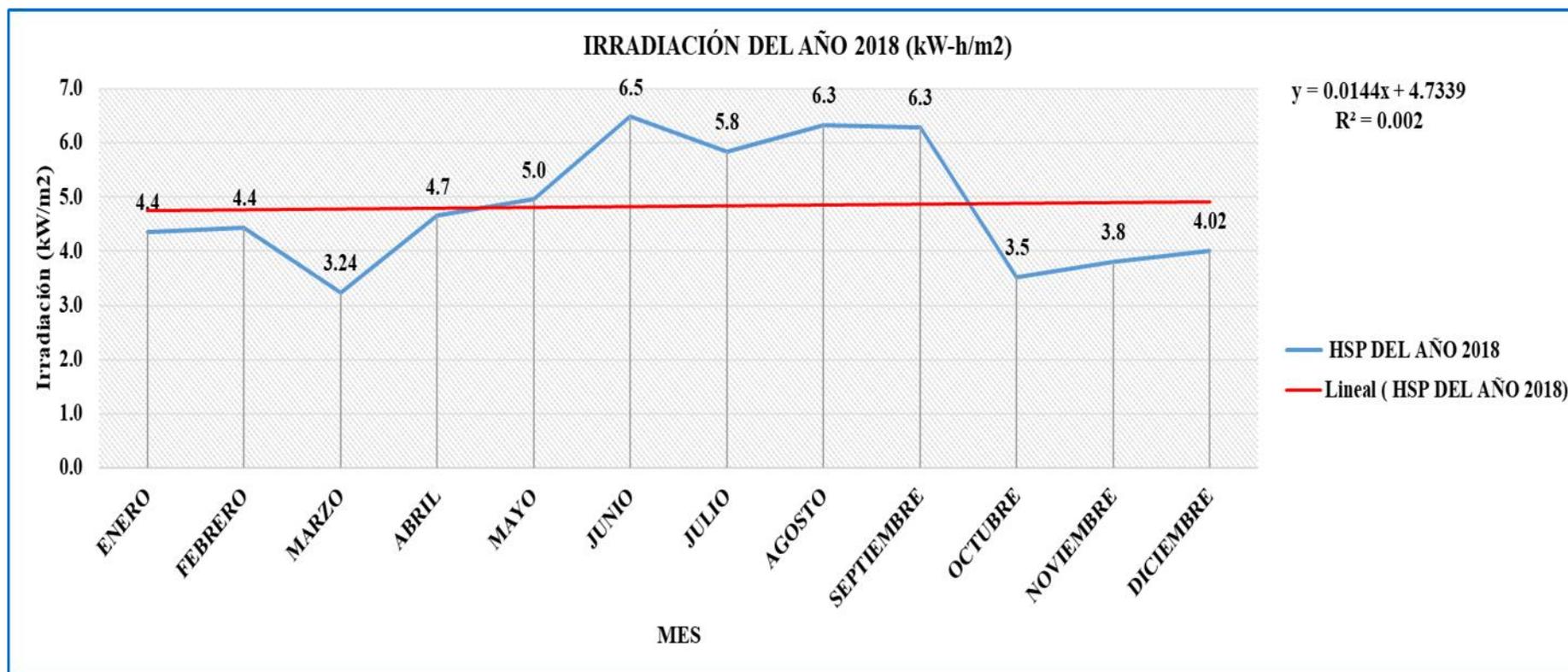


Gráfico N° 7: Irradiación solar promedio en horas punta (HSP) del año 2018 (Elaboración propia).

III. Dirección y Velocidad del Viento (m/s) Promedio de los Últimos 06 Años a 10m de Altura.

DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO ÚLTIMOS 06 ÚLTIMOS AÑOS (m/s- MES) A 10m DE ALTURA.													
AÑO	Ener	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Dirección
2014	2.68	2.64	2.68	2.43	2.29	3.43	3.29	3.03	2.73	2.94	2.90	2.39	N
2015	2.48	3.07	2.55	2.83	2.87	3.40	3.29	3.74	3.57	3.94	2.80	2.97	N
2016	2.39	2.48	2.26	3.17	3.74	3.50	3.55	3.48	3.80	3.71	3.73	3.77	N
2017	2.81	3.39	3.03	3.37	3.65	3.63	4.35	4.00	4.07	3.45	3.00	3.58	N
2018	3.00	3.50	3.55	3.86	3.26	3.70	3.65	3.87	4.20	3.48	3.47	3.45	N
2019	3.00	3.2	3.4	6.5	5.5	3.5	5.8	6.5	5.1				W
PRO. MES	2.67	3.02	2.81	3.13	3.16	3.53	3.63	3.63	3.67	3.50	3.18	3.23	N
V- MÁX	3.00	3.50	3.55	3.86	3.74	3.70	4.35	4.00	4.20	3.94	3.73	3.77	N
V-MÍN	2.39	2.48	2.26	2.43	2.29	3.40	3.29	3.03	2.73	2.94	2.80	2.39	N

Tabla N° 21: Velocidad y dirección del viento (m/s) promedio de los últimos 05 años a 10m de altura (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).

En octubre, noviembre y diciembre del año 2019 todavía no se actualizan las mediciones. Como se observa en las estaciones del año mencionadas al principio del análisis del recurso se ha ido incrementando con los modernos instrumentos recientemente adquiridos por el ministerio del ambiente

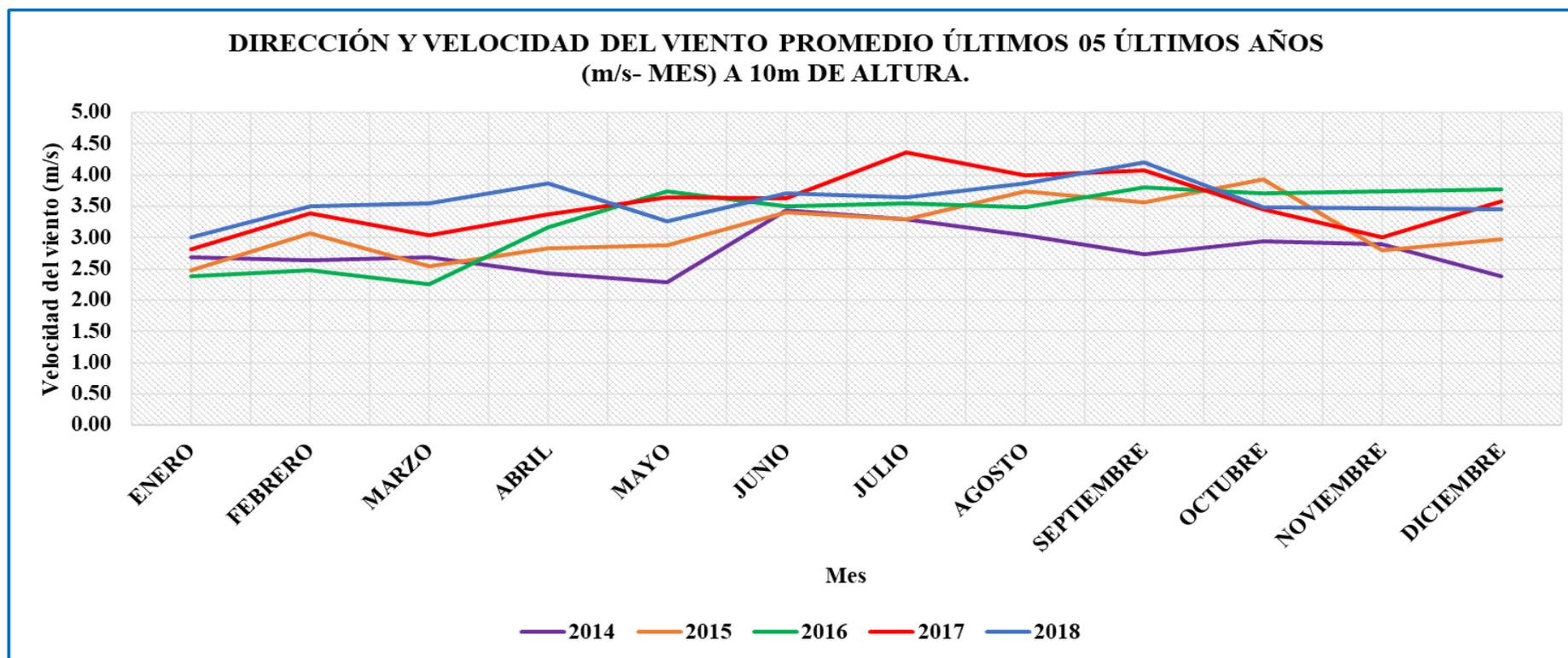
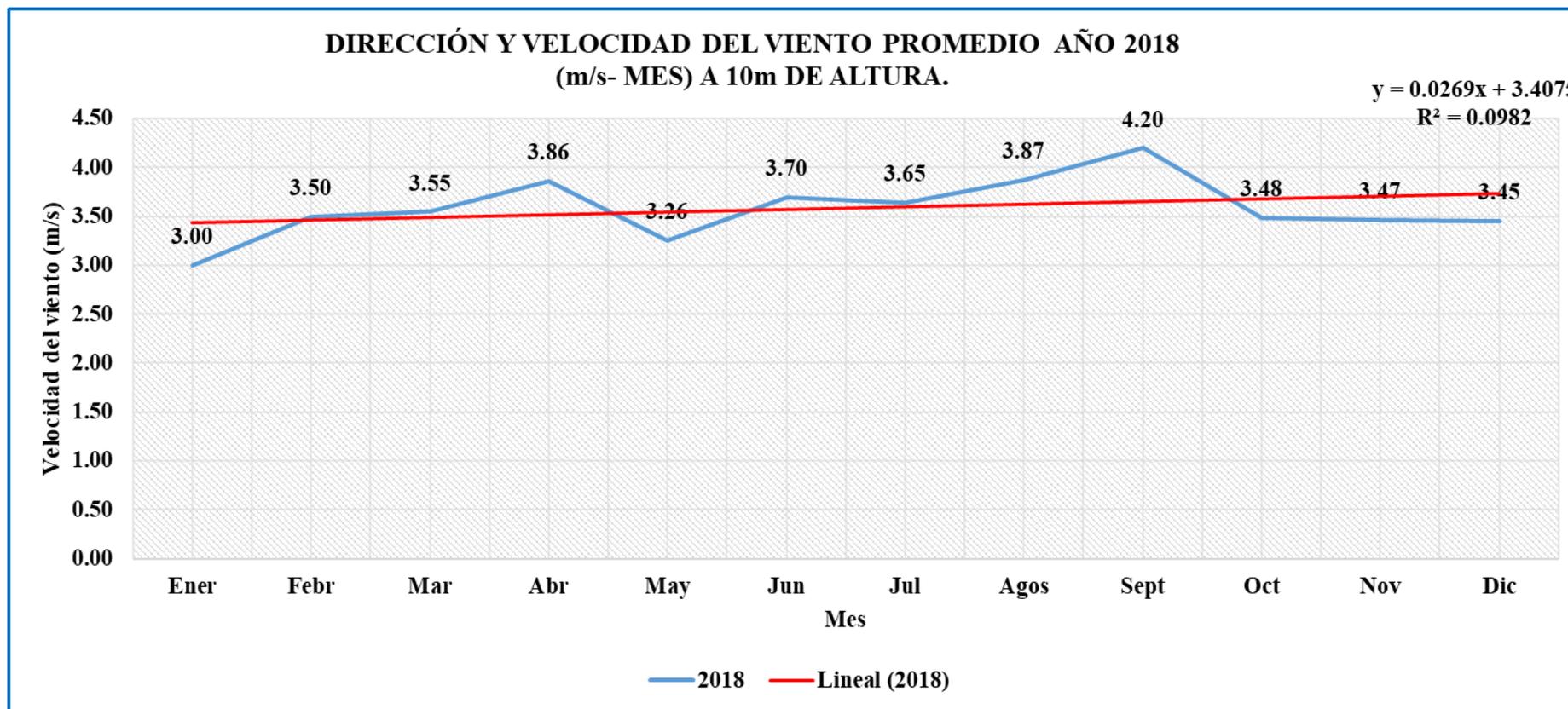


Gráfico N° 8: Velocidad y dirección del viento (m/s) promedio de los últimos 05 años a 10m de altura (Elaboración propia).

III.1. Velocidad y dirección del viento del Año 2019 Para Determinar el Mes más Crítico.

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA DETERMINAR EL CRÍTICO AÑO 2018 (m/s-Día)																								
Periodo	Ene	Direc	Feb	Direc	Mar	Direc	Abr	Direc	May	Direc	Jun	Direc	Jul	Direc	Ago	Direc	Set	Direc	Oct	Direc	Nov	Direc	Dic	Direc
'18-01	3	NW	5	N	1	N	3	N	3	N	4	N	2	E	6	N	3	W	3	N	4	N	3	N
'18-02	3	N	4	N	4	N	1	N	1	N	3	W	2	NW	3	N	5	N	2	N	2	NW	3	N
'18-03	3	N	4	N	4	N	3	N	3	E	4	NW	5	E	3	NW	3	NW	2	N	2	N	5	N
'18-04	3	N	6	NW	4	N	3	N	2	W	4	N	4	N	3	N	5	N	3	N	3	N	3	N
'18-05	5	N	3	N	4	N	3	N	2	W	4	NW	3	N	3	NW	5	N	3	W	6	N	4	N
'18-06	3	N	4	W	6	N	2	W	3	N	6	NW	2	N	6	NW	5	SW	3	NW	5	N	5	N
'18-07	3	N	2	N	4	NW	3	N	3	N	6	N	5	W	4	N	6	N	3	N	3	W	3	W
'18-08	3	N	3	N	3	W	5	N	2	N	3	N	5	N	3	N	2	W	2	N	5	NW	2	N
'18-09	2	NW	5	N	2	N	4	N	4	N	3	N	4	N	6	SW	4	W	3	N	2	N	4	N
'18-10	3	NW	5	N	3	N	5	N	3	N	2	N	5	N	4	NW	4	N	5	N	3	W	5	N
'18-11	4	N	3	W	5	N	4	N	3	N	3	W	5	NW	4	N	5	N	8	NW	1	W	2	W
'18-12	3	N	4	N	4	N	5	N	3	N	2	N	5	NW	2	N	6	NW	4	N	5	NW	2	N
'18-13	4	N	4	N	4	N	4	N	2	N	2	N	4	N	2	W	4	N	2	N	4	W	4	N
'18-14	2	NW	2	W	5	N	3	N	3	W	3	N	2	N	4	N	5	N	4	N	3	N	3	N
'18-15	3	N	3	N	3	N	5	N	4	W	2	N	4	N	4	N	2	N	5	N	4	W	4	N
'18-16	3	N	2	N	4	N	6	N	4	N	6	N	2	N	3	N	5	NW	3	S	2	W	3	N
'18-17	4	N	2	W	2	W	4	W	5	N	2	N	4	E	3	N	5	N	2	W	2	N	4	N
'18-18	3	N	2	N	2	W	4	NW	5	N	4	N	5	N	2	W	4	NW	5	N	2	NW	3	N
'18-19	3	N	3	N	2	N	5	N	5	C	6	NW	5	N	3	N	4	NW	5	NW	1	S	4	N
'18-20	4	N	3	N	3	W	5	N	3	N	5	N	5	N	2	S	5	N	6	N	4	N	4	N
'18-21	4	N	5	C	5	NW	3	N	1	N	4	W	4	N	4	W	5	NW	2	N	5	N	4	N
'18-22	3	N	4	N	4	N	3	N	5	NW	3	N	3	NW	6	NW	3	NW	3	N	1	N	2	N
'18-23	3	N	2	N	1	E	3	W	4	N	3	N	3	N	3	W	4	N	5	N	5	NW	4	N
'18-24	2	N	5	N	4	N	4	N	4	N	3	NE	5	N	6	NW	3	N	3	S	4	N	4	N
'18-25	4	N	3	N	3	NW	5	N	5	N	3	E	4	N	4	E	3	W	4	N	4	N	4	NW
'18-26	2	N	4	W	5	N	4	N	3	N	4	NW	3	N	4	W	6	NW	4	NW	3	N	4	N
'18-27	2	N	2	N	4	N	5	N	3	N	2	N	2	E	5	N	6	N	2	N	5	N	2	NW
'18-28	2	NW	4	C	4	N	4	N	4	N	5	N	3	N	5	N	3	W	3	N	4	N	3	N
'18-29	2	N			2	N	4	N	3	W	5	N	2	N	6	NW	3	W	3	N	5	N	3	N
'18-30	3	N			3	N	5	C	5	N	5	N	4	N	4	W	3	N	4	N	5	NW	4	N
'18-31	2	N			6	N			1	N			2	NW	3	N			2	E			3	N
Promedio	3.00		3.50		3.55		3.90		3.26		3.70		3.65		3.87		4.20		3.48		3.47		3.45	
V máx	5		6		6		6		5		6		5		6		6		8		6		5	
Vmín	2		2		1		1		1		2		2		2		2		2		1		2	

Tabla N° 22: Velocidad del viento del Año 2018 Para Determinar el Mes más Crítico (SENAMHI provincia de Celendín Cajamarca).



Como resultado, el mes con menos velocidad del viento es enero con 3m/s con dirección N, cabe precisar que cada año va aumentando y disminuyendo la velocidad con respecto a los meses del año.

Gráfico N° 9: Velocidad del viento del Año 2018 Para Determinar el Mes más Crítico (Elaboración propia).

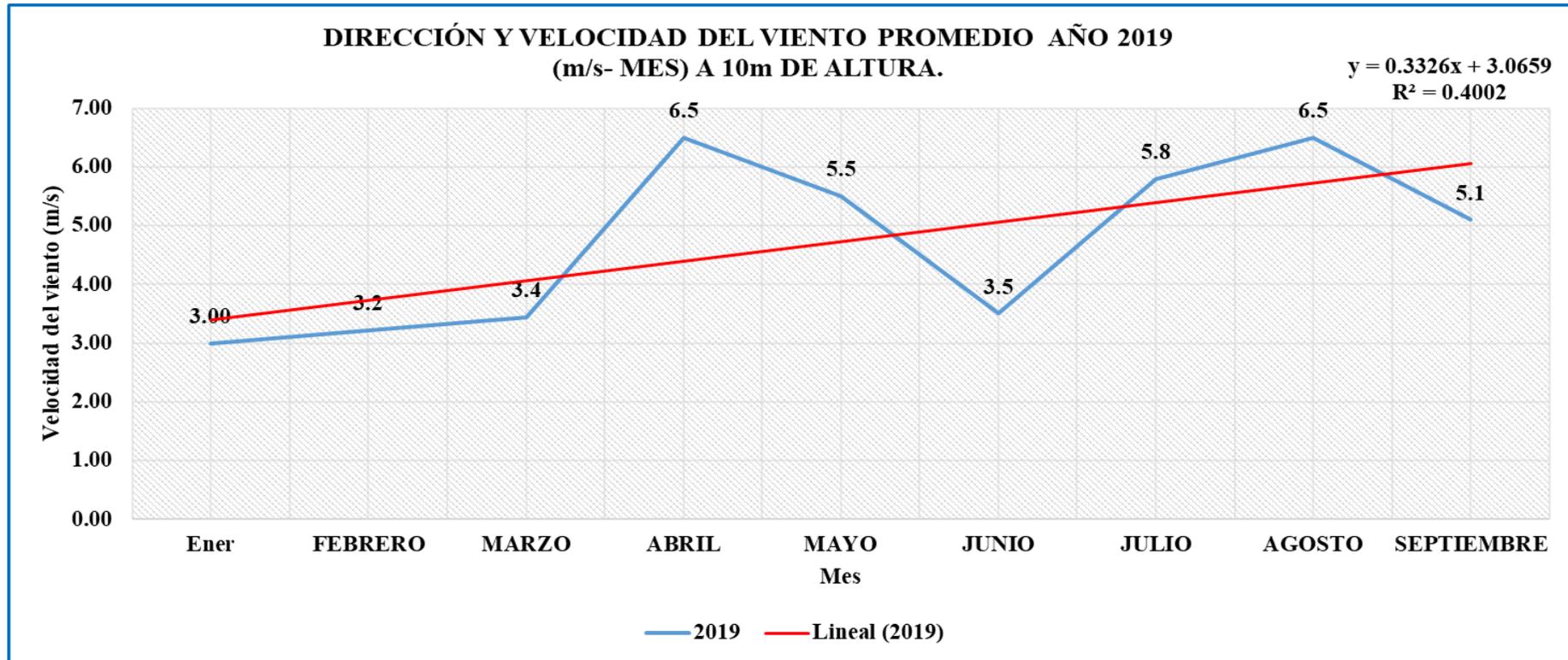
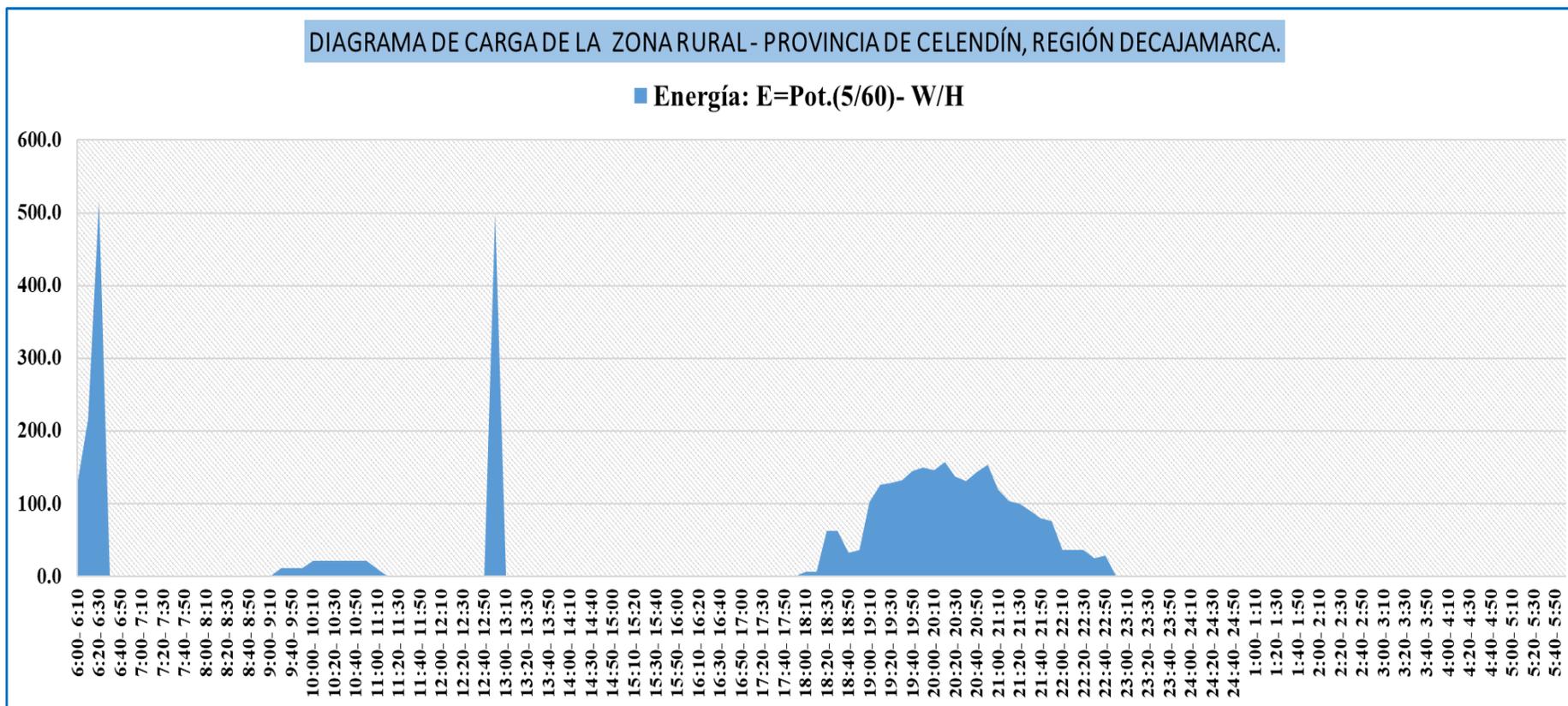


Gráfico N° 10: Velocidad del viento del Año 2019
Para Determinar el Mes más Crítico (Elaboración propia).

IV. Factor de carga del consumo de energía en el caserío de Meléndez, distrito de Jorge Chávez, provincia de Celendín:



Factor de Carga	
$fc = E / (P_{\text{máx.}} \cdot T)$	
E:	32000.00
P_{máx.}:	3555.39
F_c:	0.60

Gráfico N° 11: Factor de carga del consumo de energía
(Elaboración propia).

IV.1 Cálculo de la energía de provincia de Celendín, Región Cajamarca.

CALCULO DEL CONSUMO CONSTANTE A LO LARGO DEL AÑO DE LA PROVINCIA DE CELENDÍN								
Descripción de la Carga	Potencia AC (W)	Ciclo diario (horas/día)	Ciclo semanal (días/semana)	Rendimiento de conversión	Tensión nominal del sistema (V)	Consumo Amp-Hora (Ah/día)	Energía consumida (kWh/Día)	
CARGAS EN DC Y AC								
Cajamarca, Celendín, distrito: Celendín	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Chumuch	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Cortegana	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Huasmin	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Jorge Chávez	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: José Galvez	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Miguel Iglesias	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Oxamarca	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Sorochuco	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Sucre	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: Utco	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Cajamarca, Celendín, distrito: La Libertad de Pallan	3555.39	5	7	0.8	380	11.70	32000	
Total Pt=P (220V+P380V)	Tensión Nominal del Sistema (V)	Intensidad pico (A)	Consumo Total Ah/día	Factor de rendimiento de cableado	Factor de rendimiento de la batería	Consumo Total corregido (Ah/día)	Perdidas de rendimiento en el acumulador AC	Energía real consumida (Erc)
42664.68	380	112	140.34	0.98	0.9	159	50%	576
kW-h	V	A	Ah/ Día			Ah/ Día		kW-h

Tabla N° 23: Cálculo de la energía real de la provincia de Celendín, Región Cajamarca.

V. Distribución horaria de Radiación solar en Superficies Inclinadas.

Distribución horaria de radiación solar en superficies inclinadas								
Introducción de parámetros.								
					latitud	fi	φ	
					declinacion	delta	δ	
				gradosarad =	0.01745328	azimuth	gamma	γ
Ciudad	Celendín- Cajamarca				inclinacion	ese	s	
Latitud	-6.86	(0.12)	radianes					
Peor mes (de 1 a 12)	3	Marzo						
Rad. tot. diaria prom. mens.	2.90	k W/m2 en superficie horizontal		Radiación promedio en.....	3	Marzo		
Azimuth de la superficie	0.00	0.00		T.prom.	18.72	grados °C		
Inclinación de la superficie	30.00	0.52		T.minim	11.34			
Albedo	0.2							
Cálculos iniciales								
Modelo de Collares Pereira y Rabl para datos mensuales de radiación.								
Dia promedio a calcular	63.73							
Declinación solar	(6.87)	(0.12)	rad					
Hora del ocaso (ω _s)	90.83	1.59	rad					
Rad diaria extraterrestre	38,521,689.03	10.70	k W/m ²					
K _T = B10/B17	0.2710							
Hd/H para ω _s < 81.4°	0.6913							
Hd/H para ω _s > 81.4°	0.7075							
Rad diaria difusa horizontal	H _d =	2.05	k W/m ²					
Rad diaria directa horizontal	H _b =	0.85	k W/m ²					
Cálculo de las distribuciones horarias, total y difusa								
a =	0.666068638							
b =	0.416592544							

Construcción de la tabla de distribución horaria de la radiación solar en una superficie horizontal													
Hora (tiempo solar)	ω (rad)	r_t	r_d	$I_{total,h}$	$I_{difusa,h}$	$I_{directa,h}$	$G_{total,h}$	$G_{difusa,h}$	$G_{directa,h}$	$\cos(\theta)$	$\cos(\theta_z)$	$I_{total,planincl}$	$G_{total,planincl}$
5 a 6	1.7017	0.0091	0.0148	-	-	-	-	-	-	(0.03)	(0.11)	-	-
6 a 7	1.4399	0.0134	0.0186	0.0388	0.0381	0.0007	10.77	10.58	0.19	0.18	0.14	0.0369	10.25
7 a 8	1.1781	0.0420	0.0508	0.1217	0.1043	0.0174	33.80	28.97	4.83	0.38	0.39	0.1156	32.12
8 a 9	0.9163	0.0734	0.0798	0.2127	0.1636	0.0491	59.09	45.45	13.64	0.56	0.61	0.1999	55.53
9 a 10	0.6545	0.1030	0.1034	0.2988	0.2121	0.0867	82.99	58.92	24.08	0.70	0.80	0.2783	77.31
10 a 11	0.3927	0.1262	0.1201	0.3660	0.2464	0.1196	101.66	68.44	33.23	0.81	0.92	0.3390	94.16
11 a 12	0.1309	0.1389	0.1287	0.4029	0.2641	0.1387	111.90	73.36	38.54	0.86	0.99	0.3721	103.35
12 a 13	0.1309	0.1389	0.1287	0.4029	0.2641	0.1387	111.90	73.36	38.54	0.86	0.99	0.3721	103.35
13 a 14	0.3927	0.1262	0.1201	0.3660	0.2464	0.1196	101.66	68.44	33.23	0.81	0.92	0.3390	94.16
14 a 15	0.6545	0.1030	0.1034	0.2988	0.2121	0.0867	82.99	58.92	24.08	0.70	0.80	0.2783	77.31
15 a 16	0.9163	0.0734	0.0798	0.2127	0.1636	0.0491	59.09	45.45	13.64	0.56	0.61	0.1999	55.53
16 a 17	1.1781	0.0420	0.0508	0.1217	0.1043	0.0174	33.80	28.97	4.83	0.38	0.39	0.1156	32.12
17 a 18	1.4399	0.0134	0.0186	0.0388	0.0381	0.0007	10.77	10.58	0.19	0.18	0.14	0.0369	10.25
18 a 19	1.7017	0.0091	0.0148	-	-	-	-	-	-	(0.03)	(0.11)	-	-
Total en sup. horizontal =	2.8816	k W/m ²		Resultados evaluados en superficie horizontal									
Total en sup. inclinada =	2.6835	k W/m ²		TOTALES EN k W/m²			Todas estas en watts/m²						
Inclinación de la sup =	30.00	grados		2.8816	2.0571	0.8245					sobre el colector	2.68347	
				total	difusa	directa	evaluados a la hora media.						

Tabla N° 24- N° 25: Distribución Horaria de Irradiación Solar en la Superficie (k W/m²).

(Elaboración propia). De: https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/Param_A.xls (España 2015). Pág. 1

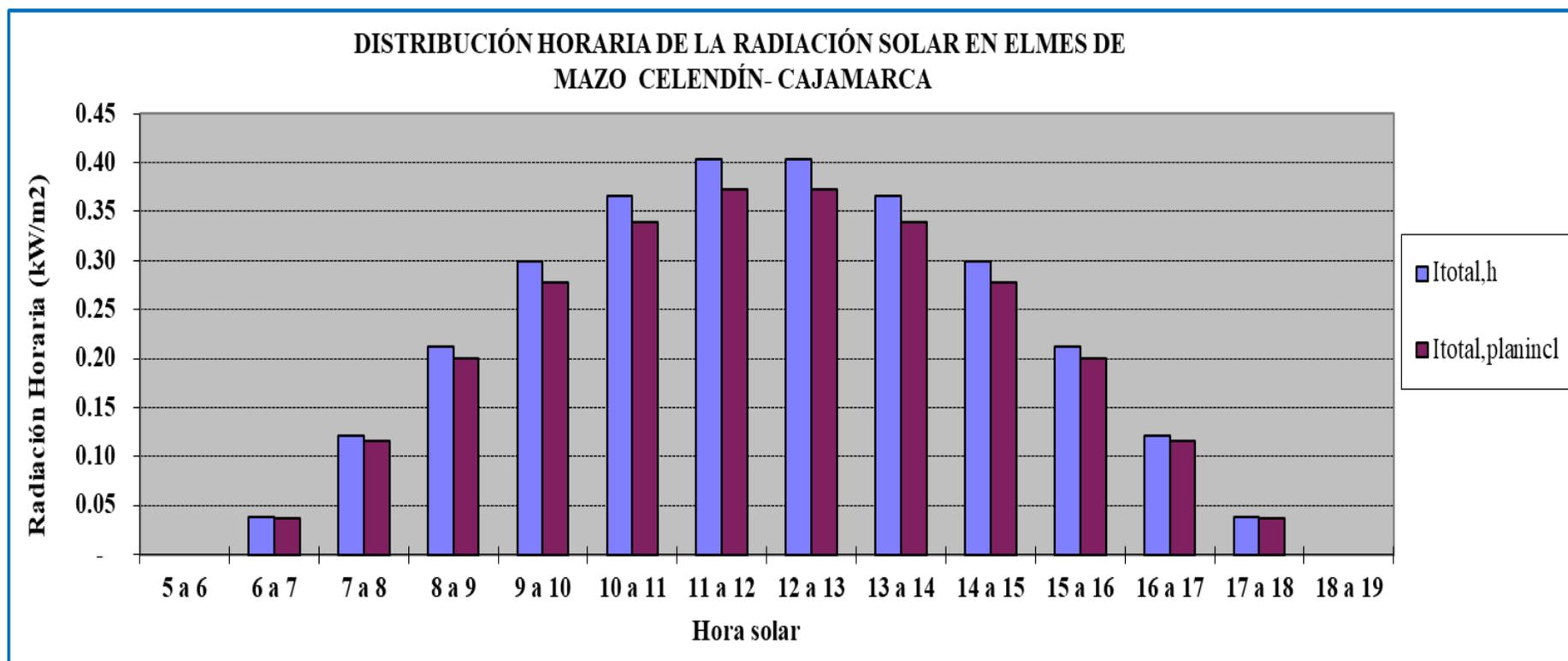


Gráfico N° 12: Distribución Horaria de radiación solar en el mes de Marzo:
Celendín –Cajamarca (Elaboración propia).

VI. Distribución horaria de la velocidad del viento (m/s).

AÑO / MES / DÍA	HORA	VELOCIDAD DEL VIENTO	DIRECCION DEL
		(m/s)	VIENTO (°)
01/09/2019	00:00	3.6	346
01/09/2019	01:00	1.8	359
01/09/2019	02:00	1.1	358
01/09/2019	03:00	1.3	26
01/09/2019	04:00	2.6	353
01/09/2019	05:00	2.3	356
01/09/2019	06:00	3.5	353
01/09/2019	07:00	3.4	343
01/09/2019	08:00	4.4	351
01/09/2019	09:00	6.3	352
01/09/2019	10:00	5.9	349
01/09/2019	11:00	6.7	343
01/09/2019	12:00	6.3	352
01/09/2019	13:00	7	344
01/09/2019	14:00	6.7	346
01/09/2019	15:00	6.6	351
01/09/2019	16:00	6.5	348
01/09/2019	17:00	4.9	341
01/09/2019	18:00	5.6	349
01/09/2019	19:00	4.9	353
01/09/2019	20:00	3.3	353
01/09/2019	21:00	4.7	355
01/09/2019	22:00	4.1	356
01/09/2019	23:00	4	350

Gráfico N° 13: Distribución Horaria d viento: (Senamhi Cajamarca).

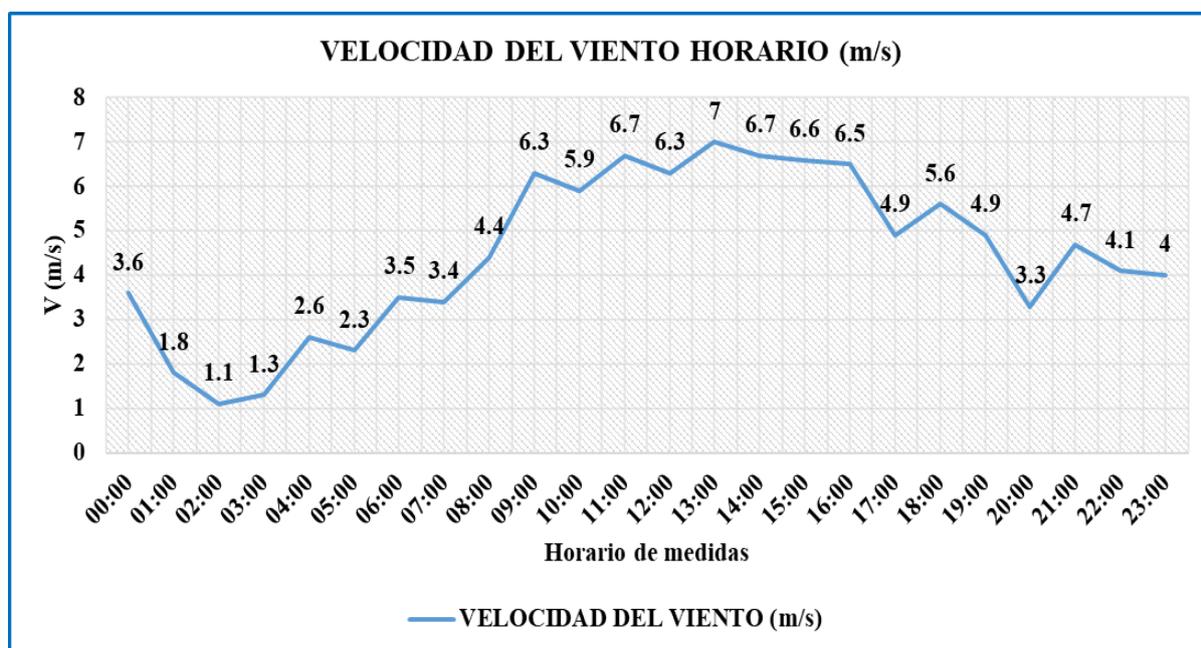


Gráfico N° 14: Distribución Horaria de viento (Elaboración propia).

VII. Dimensionamiento de Módulos Fv.

a. Intensidad de diseño y ángulo de inclinación.

ÁNGULO DE INCLINACIÓN		30		HORAS DE SOL POR MES
Mes	Consumo Total Corregido Ah/día	Horas sol pico día	Intensidad de diseño (A)	
Enero	23.78	4.36	5.46	135.1
Febrero	23.78	4.44	5.36	124.3
Marzo	23.78	3.24	7.33	100.5
Abril	23.78	4.65	5.11	139.5
Mayo	23.78	4.96	4.80	153.66
Junio	23.78	6.48	3.67	194.5
Julio	23.78	5.85	4.07	181.2
Agosto	23.78	6.33	3.76	196.3
Septiembre	23.78	6.28	3.78	188.5
Octubre	23.78	3.52	6.76	109.1
Noviembre	23.78	3.80	6.25	114.1
Diciembre	23.78	4.02	5.92	124.5
HORAS SOL PICO TOTALES:	Horas de sol pico (hrs/día)	INTENSIDAD DE DISEÑO (A)	IRRADIACIÓN MES CRÍTICO	MES DE DISEÑO
57.929	6.483	3.67	3.242	Junio

Tabla. N° 26: Ángulo de Inclinación en Horas de sol por mes (Elaboración propia).

b. Irradiación mensual.

Titular		PROVINCIA DE CELENDÍN, REGIÓN CAJAMARCA.												
Datos de Identificación	Emplazamiento	Celendín												
	Latitud (°):	-6.86												
	Longitud (°):	-78.14												
Tipo de instalación	Vivienda permanente													
Tipo de consumo	Continuo 7 días semana	X										Temporada de menor producción de energía	Invierno	X
	Medio 5 días/semana												Mes	Marzo
	Bajo Fin de semana												Verano	Julio-Agosto
Datos de irradiación promedio por mes de los últimos 05 años (kWh/día)														
Irradiación solar promedio por mes.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
	3.57	2.82	3.38	4.34	5.27	6.69	7.02	6.01	5.14	4.93	4.38	3.16		
	2.35	3.91	3.00	4.31	4.53	6.39	6.72	7.15	6.00	5.35	4.28	4.46		
	4.66	3.25	3.84	5.38	6.76	5.96	7.17	6.81	5.58	5.93	6.90	2.65		
	3.14	3.92	2.72	4.30	4.82	6.03	7.19	6.46	5.11	5.77	4.45	3.53		
	4.45	4.53	4.08	4.47	4.87	6.46	5.82	6.30	6.28	3.27	3.80	3.68		
Mes crítico	4.08	Marzo												
Consumo mensual Et (kWh/día)														
Marcar la Et elegida	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
			X											
Consumo elegido				32	kWh/día									

Tabla. N° 27: Cálculo del sistema de Acumulación en HPS (Elaboración propia).

c. Irradiación en HSP marcado en el mes por estaciones del año.

Irradiación mensual (kWh/m ² día)												
	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	60	60	60	45	15	15	15	15	15	60	60	60
% Sombreo	3	4	4	4	5	6	5	4	4	4	3	3
Marcar la Rm elegida	4.3	4.3	3.9	4.3	4.6	6.1	5.5	6.1	6.0	3.1	3.7	3.6
Irradiación en el mes elegido				3	kWh/m ² día							
Relación mes consumo/radiación Re (Et / Rm)-HSP												
	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Marcar la Re elegida	7.42	7.36	8.2	7.5	6.9	5.3	5.8	5.3	5.3	10.2	8.7	9.0
Ha marcado el mes HSP				5.3								

Tabla N° 28: Irradiación en HSP marcado en el mes crítico
(Elaboración propia).

d. Dimensionamiento de la Capacidad del Sistema de Acumulación (C).

Cálculo del sistema de acumulación		
Factor de seguridad de la instalación Fs	10	%
Potencia real total= Pcc+Pca	4	kW
Et elegida	32	kWh/día

Pérdidas rendimiento en el sistema acumulador Pac		50%			
ET =Et (1 + Pac)		48.00	kWh/día		
Días de autonomía D		6	días		
Profundidad de descarga máxima diaria (Pdmáx-d)		0.15	15%		
Profundidad de descarga Máxima Pd		0.70	70%		
Tensión del sistema de acumulación V		300	voltios		
Consumo de energía medio (Q Ah)		1000.00	Ah/ Día		
Corriente generada por el campo de captación fv (I GFV-MPP):		189.66	A		
	Consumo total anual (Lt)	17.52	MW-h/Año		
	Factor de corrección de temperatura (Fct)	1.00			
Función descarga máxima	Capacidad nominal de la batería (Cnd)	320.00	kWh		
	Cnd	6666.67	Ah		
Función descarga máxima estacional	Cne	411.43	kWh		
	Cne	8571.43	Ah		
Capacidad del sistema de acumulación C					
$C = \frac{ET \cdot D \cdot 100}{Pd \cdot V}$		857	Ah		
Dimensionado del Acumulador (Batería)					
Modelo de acumulador:	ENERGY	Voltios:	48	Capacida d (Ah):	600
Número de acumuladores	N=	12	2	en paralelo	6 en serie

Tabla N° 29: Dimensionamiento de la Capacidad del Sistema de Acumulación (C) (Elaboración propia).

e. Dimensión y Selección del Panel Fv.

Dimensión del número de módulos fotovoltaicos				
Módulo elegido:	RED135 36M	Pmax	370	Wp
Intensidad de cortocircuito	9.85	A	Eficiencia (n)	19.75%
Imp (A)	8.72	Voc	22.71	V
Tipo	Mocristalino	Número de módulos Np $Np = Et / (HSP.Pmáx. 0.9)$		
Vmp	18.92	Np=	28	módulos
Conexión grupo de módulos (paneles Fv)	9	en paralelo	3	en serie
Módulos necesarios conectados en paralelo		10	Total de Módulos FV	30
Potencia a instalar $Pt = Pmax \times Np$			11.1	kWp

Tabla N° 30: Dimensión y selección del Módulo FV
(Elaboración propia).

f. Dimensionamiento del Regulador.

Dimensión del número de reguladores				
Módulo escogido	RED135 36M	Tipo de regulador		ProStart-20
Intensidad a soportar el regulador= $Imp \cdot Npp \cdot 1.1$			86.33	A
Ir			30	A
Número de reguladores Nr: $Nr = (Imp \cdot Npp \cdot 1.1) / Ir$			Nr	3
	Mín	3	Máx	4
Intensidad del regulador según el N° de módulos			88.65	A
Intensidad del regulador según el inversor			12	A
Corriente de entrada del regulador (I entrada)			97.52	A
Corriente de salida del regulador (I salida)			167.24	A

Tabla N° 31: Dimensionamiento del Regulador
(Elaboración propia).

g. Dimensionamiento del Inversor.

Dimensionado del inversor				
Marca del inversor	FRONIUS SYMO 220V-60HZ	Potencia nominal	4.5	kW
Potencia en AC			3.9	kW
N° de veces mayor que la potencia en AC			3.00	
Forma de onda	Senoidal pura			
Tensión DC	220-380			V
Tensión AC	380-400			V
Tiempo de operación en sobrecarga (min.)			10.00	Min
Rendimiento a carga nominal (%)			0.95	95%
Potencia del inversor seleccionado (P inv)			11.73	kW
N° de inversores mín. necesarios	3	Potencia total AC	13.5	kV
Eficiencia del inversor Ri	0.95	Marca del Inversor	FRONIUS SYMO 220V-60HZ	
Energía Total E3 =E2 x (Ri)			30.40	kW-h/día
Potencia Total= P2 x (Ri)			3.377	kW

Tabla N° 32: Dimensionamiento del Inversor
(Elaboración propia).

h. Cálculo del cableado.

Cálculo del cableado								
$S = \frac{0.036 \times L \times I \times 100}{V \times Ct}$	Caída Tensión %	Potencia W		Tensión V	Corriente A		Longitud m	Sección mm
Módulos-Acumulador	1			220	Isr	88.65	5	7.3
Acumulador - Inversor	1	Pca	3555.4	400	Pca/V	8.89	10	0.8
Iluminación	2	Pcc	3555.4	220	Pcc/V	16.16	9	1.2
Línea	3	P3	3555.4	220	P3/V	16.16	15	1.3

Tabla N° 33: Cálculo del cableado
(Elaboración propia).

i. Cálculo del sombreado y orientación.

Latitud (°)	-6.86
Dimensión longitudinal (B) (m)	2
Dimensión transversal(m)	1
Angulo de inclinación (alfa)(°)	30
Mes de mínimo sombreo	1
Horas de no sombreo	5
Proyección panel (m)	1.73
Ancho pasillo(m)	0.40
Distancia entre paneles (d) (m)	2.13

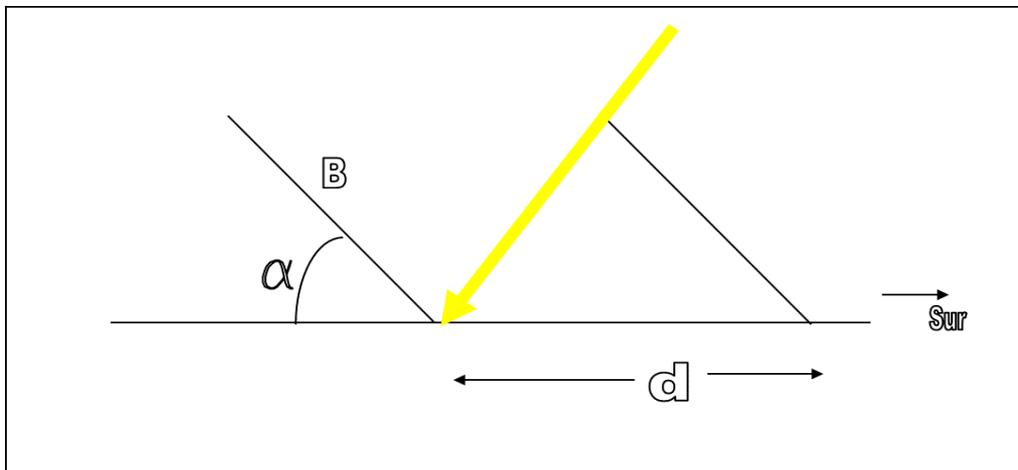


Tabla N° 34: Sombreado y orientación
(Elaboración propia).

VIII. Especificaciones Técnicas de los Componentes Seleccionados en la Dimensión.

a. Especificaciones Técnicas del Panel Fv.

Grado de Viabilidad Técnico/Económica	1		
INFORMACION DEL MÓDULO PV			
Marca y Modelo	RED SOLAR-Mocrystalino		
Tipo	RED135-36M	Eficiencia (n)	19.75%
Potencia (Wp)	300.00		
Vmp (V)	18.92	Voc (V)	22.71
Imp (A)	8.72	Isc (A)	9.85

Tabla N° 35: Especificaciones técnicas del panel Fv
(Elaboración propia).

b. Especificaciones del Acumulador:

ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA		
Marca	ULTRACELL UZS600	
Modelo	ENERGY UZS600	
Tipo	PLOMO ACIDO	
Tensión Nominal (V)	48	V
Tensión de flotación 25° C (V)	6.72	V
Tensión de Ecuilización 25°C (V)	7.20	V
C100 (Ah)	600.00	Ah
Medidas	295 x 440 x 175	mm
Peso (kg)	52	kg
Energía útil almacenada	50	%

Tabla N° 36: Especificaciones del Acumulador
(Elaboración propia).

c. Especificaciones del Regulador.

ESPECIFICACIONES DEL REGULADOR DE CARGA			
Modelo	SOLARTEC CR		
Tipo	GCR 3000		
Tensión (V)	24		
Puntos de corte ajustables			
Compensación de temperatura			SI
Tensión corte sobrecarga			SI
Tensión corte sobredescarga			SI
Tensión rearme sobredescarga			SI
Seguidor MPP			SI
Protección Intensidad inversa			SI
Necesidades del Sistema			
Tensión sistema (V)			300
Intensidad sistema (A)			147.75
Intensidad DC carga (A)			0.00
Isc del generador (A)	Intensidad mínima del regulador (A)	Intensidad nominal del regulador (A)	Regulador es en paralelo
118.20	147.75	30	5

Tabla N° 37: Especificaciones del Regulador
(Elaboración propia).

d. Especificaciones de los Inversores.

ESPECIFICACIONES DE LOS INVERSORES	
Marca	FRONIUS SYMO
Modelo	48/5000/70
Forma de onda	SENOIDAL PURA
Tensión (DC)	220
Tensión (AC)	400
Potencia nominal (W)	4500
Potencia pico max (W)	1000
N° inversores MIN. necesarios	3.00
Inversor-Cargador	1
Tensión de entrada (V)	150
Corriente de carga máxima (A)	16
Tiempo aprox. Carga Baterías (h)	9
Compensación de Tensión	1
Sensor de Tª	1
Sistema de conmutación automático	1
N° de Inversores seleccionados	3
Potencia Total AC (W)	13500.00
CONVERTIDOR DC/DC	
Requerimientos del sistema	
Tensión DC entrada (V)	220
Tensión DC salida (V)	400
Potencia de salida (W)	45000.00
Temperatura de operación (°C)	60
Especificaciones convertidor DC/DC	
Marca	FRONIUS SYMO
Modelo	SYMO 4-5-3-M
Tensión de entrada (V)	150
Tensión de salida (V)	1000
Intensidad salida (A)	7
Temperatura de operación (°C)	60
Características:	
Tensión de salida regulable	595

Tabla N° 38: Especificaciones del Inversor seleccionado
(Elaboración propia).

IX. Energía Producida por el parque Fv Dimensionado.

a. Energía Producida.

Localidad:	Prov. Celendín	Precio S/. /kWh:		44.76								
Latitud:	-6.86											
Inclinación :	30											
Limpieza aire:	1											
Potencia instalada:	11.1	kWp										
	Ener.	Feb.	Marzo	Abril	May.	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Octut.	Nov.	Dic.
I(Kw-h/m2-dia):	4.66	4.44	3.84	5.38	6.76	6.69	7.19	7.15	6.28	5.93	6.90	4.46
H.S.P.:	4.45	4.53	4.08	4.47	4.87	6.46	5.82	6.30	6.28	3.27	3.80	3.68
K:	1.23	1.16	1.08	0.99	0.92	0.90	0.92	1.00	1.10	1.21	1.28	1.28
Nº dias:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Energía (kWh):	1693.42	1,469.25	1,363.52	1,326.26	1386.59	1741.56	1657.10	1952.05	2071.43	1225.71	1459.02	1459.02
% Energía en kW-h/mes:	9%	8%	7%	7%	7%	9%	9%	10%	11%	7%	8%	8%
			Energía Anual (kWh):		18.80			MW-h/Año				
			Soles Anuales:		841.7078521			S/.				

Tabla N° 39: Energía producida por mes
(Elaboración propia).

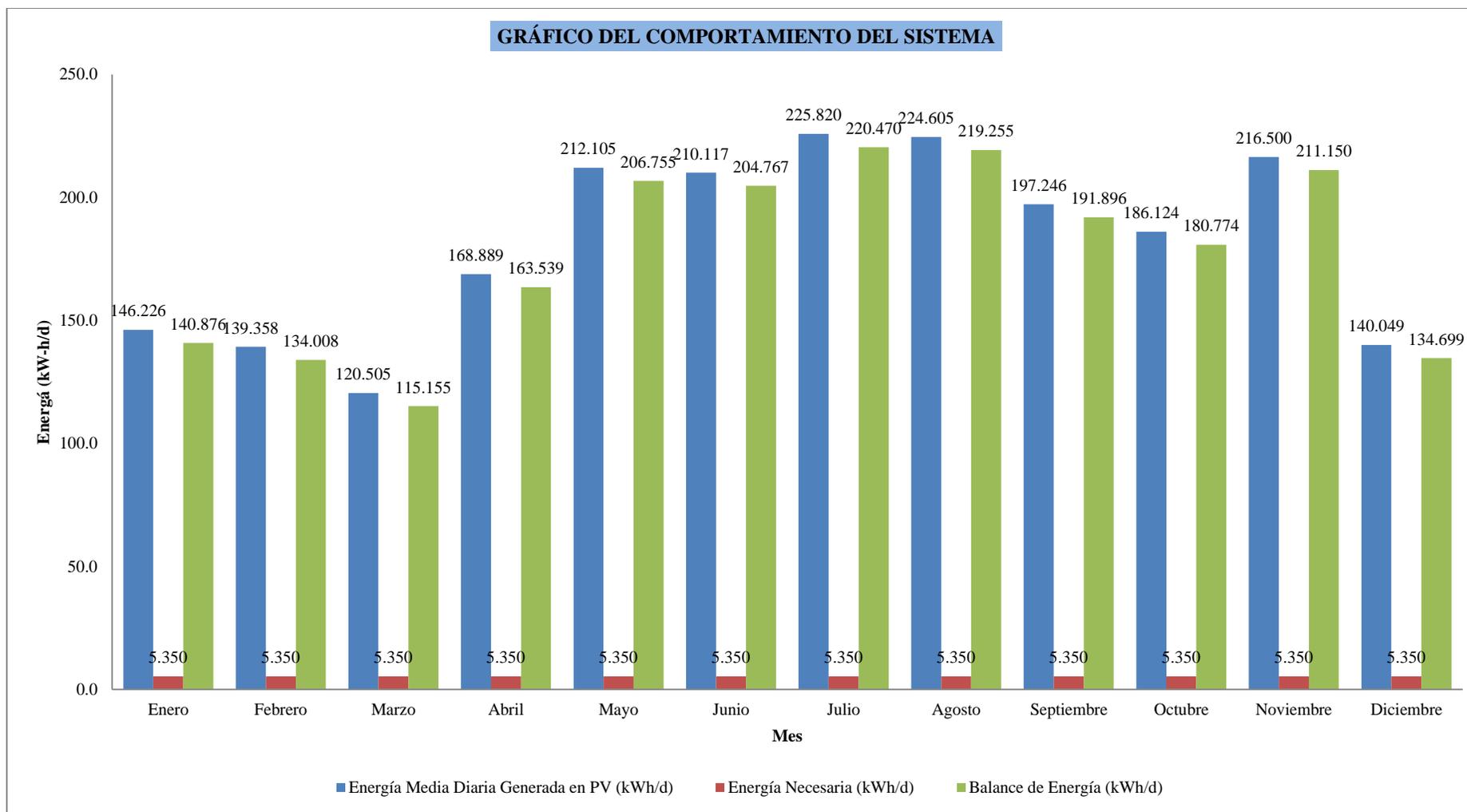


Gráfico N° 15: Gráfico del comportamiento del sistema: Celendín –Cajamarca (Elaboración propia).

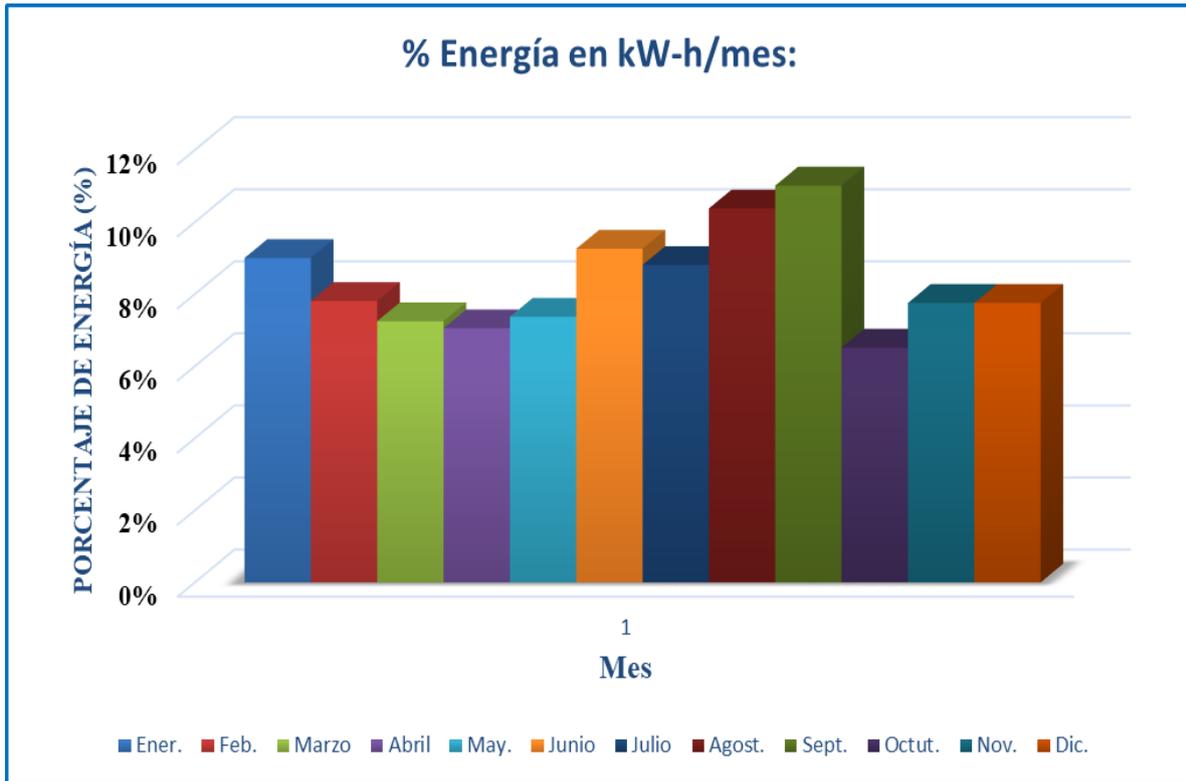


Gráfico N° 16: % de Energía producida por mes en k W h/Mes
(Elaboración propia).

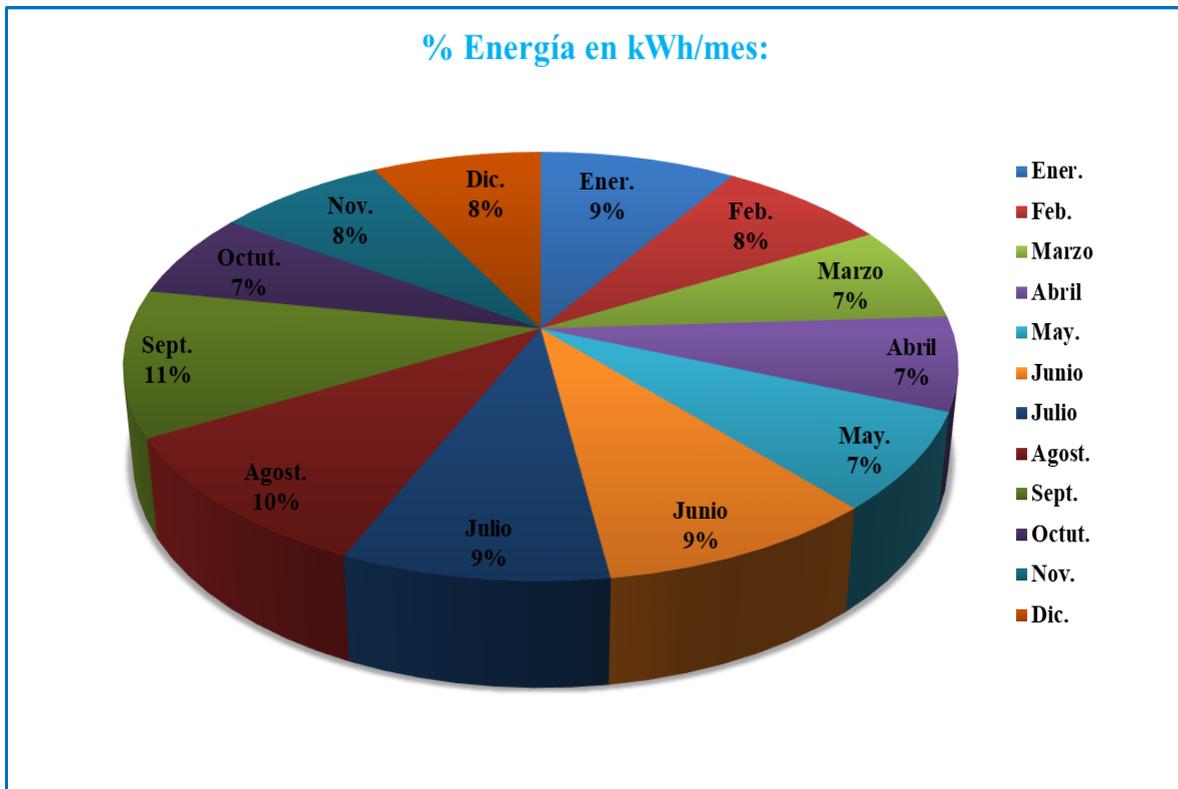


Gráfico N° 17: % de Energía producida por mes en k W h/Mes
(Elaboración propia).

X. Dimensionamiento del Parque Eólico.

1. Curva de Regresión Ajustada de la Velocidad.

CURVA DE REGRESIÓN AJUSTADA						
Límite inferior (i)	Límite superior (l)	f	Fi	Pi	Xi	Yi
1	2	9	0.024725275	0.024725275	0	-3.687437368
2	3	64	0.175824176	0.200549451	0.693147181	-1.496865761
3	4	108	0.296703297	0.497252747	1.098612289	-0.37444953
4	5	96	0.263736264	0.760989011	1.386294361	0.358545218
5	6	66	0.181318681	1	1.609437912	1.048241877
6	7	20	0.054945055	1	1.791759469	1.774469839
7	8	0	0	1	1.945910149	1.774469839
8	9	1	0.002747253	1	2.079441542	
Total:		364				

Tabla N° 40: Curva de Regresión Ajustada de la Velocidad
(Elaboración propia).

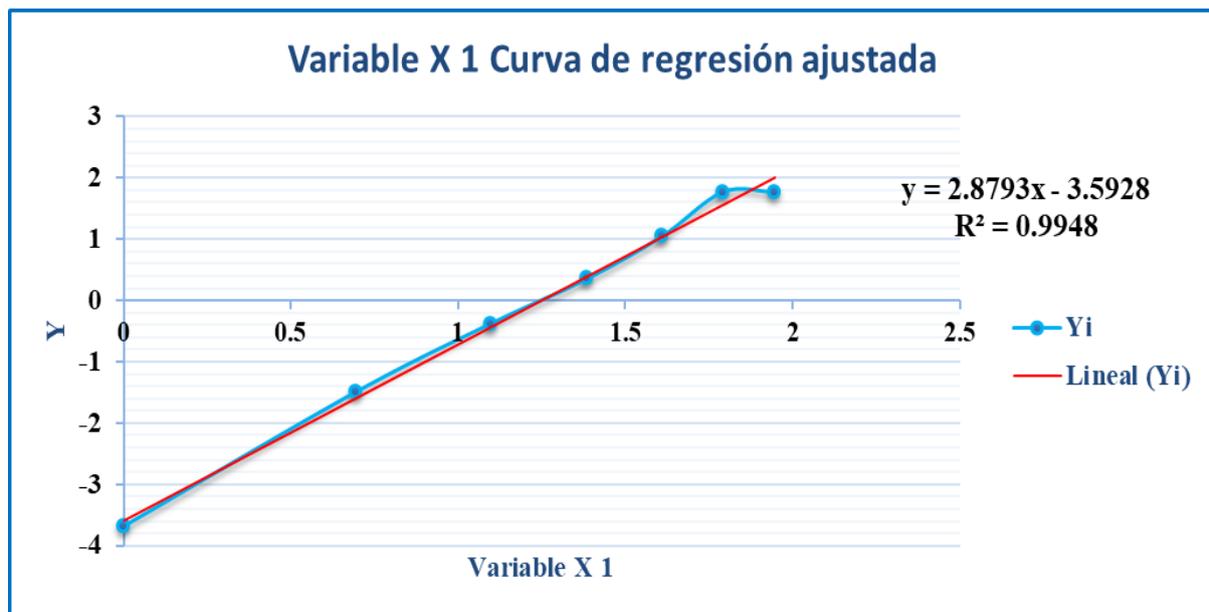


Gráfico N° 18: Curva de Regresión Ajustada de la Velocidad
(Elaboración propia).

2. Distribución de Weibull a una Altura de 10m.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO CON LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL (C).			
LEY EXPONENCIAL DE HELLMANN.	α	0.3	
Velocidad Máx del viento en el mes crítico (m/s)	5	Altura (m)	10
Factor de forma:	K=a	2.8793	
	b	-3.5928	
Factor de escala:	C	3.483	
Rugosidad del terreno.	Zo	ln(Zo)	-0.696177328

v (m/s)	Altura (H)	C (m/s)	Factor de Forma (K)	Máx (Vi)	P(Vi)	Pi(V>Vi)	Perfil de Velocidades V(H)	V^3 Media (m/s)	E (kW)
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0	0.00	0
1	1	1.75	2.39	2.00	0.48	0.97	1.75	11.66	0.05
2	2	2.15	2.52	3.24	0.46	0.82	2.15	17.74	0.62
3	3	2.43	2.60	4.31	0.27	0.52	2.38	16.05	1.55
4	4	2.65	2.66	5.27	0.10	0.23	2.55	8.87	1.68
5	5	2.83	2.71	6.16	0.02	0.06	2.68	2.80	0.88
6	6	2.99	2.76	6.99	0.00	0.01	2.79	0.46	0.22
7	7	3.13	2.79	7.79	0.00	0.00	2.88	0.04	0.02
8	8	3.26	2.82	8.55	0.00	0.00	2.96	0.00	0.00
9	9	3.37	2.85	9.29	0.00	0.00	3.02	0.00	0.00
10	10	3.48	2.88	10.00	0.00	0.00	3.09	0.00	0.00

Tabla N° 41-1: Ley exponencial de Hellmann a 10m de altura.
(Elaboración propia).

Tabla N° 41-2: Distribución de Weibull a una Altura de 10m.
(Elaboración propia).

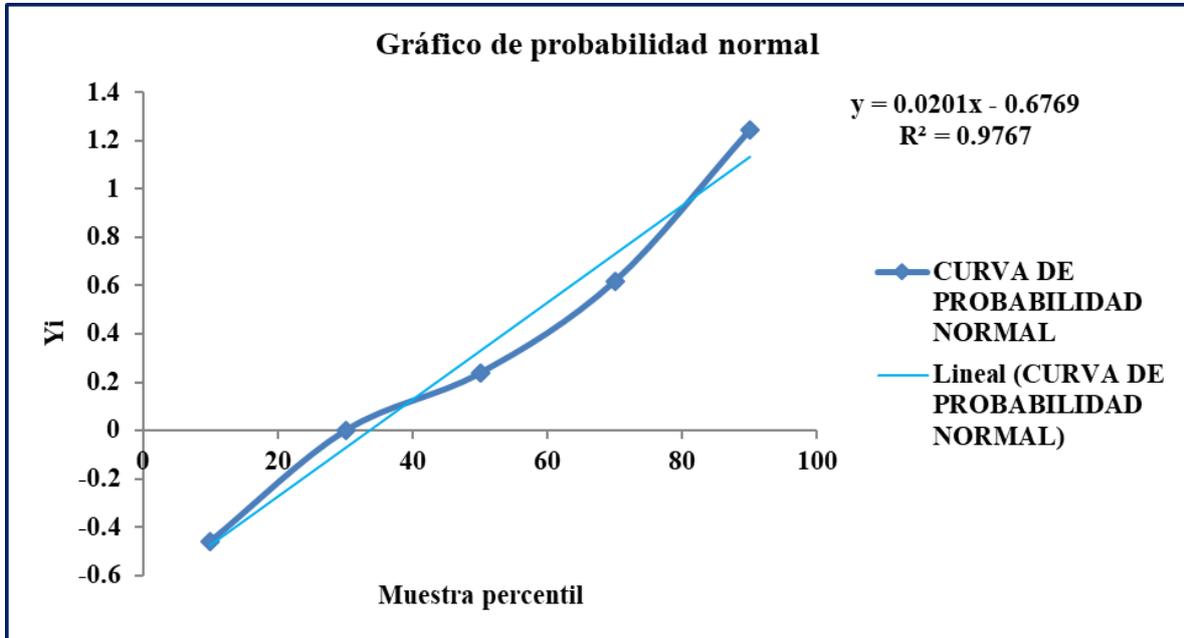


Gráfico N° 19: Perfil de velocidades Obtenidas mediante la distribución de Weibull.
(Elaboración propia).

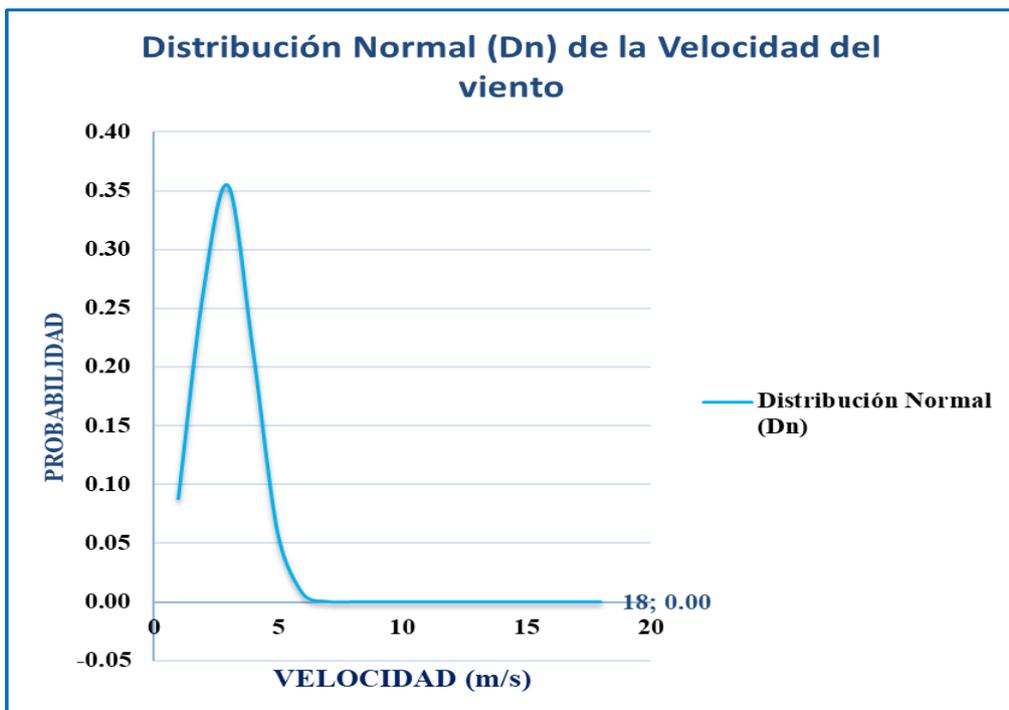


Gráfico N° 20: Distribución normal de la velocidad del viento (m/s) a 70m de altura (Elaboración propia).

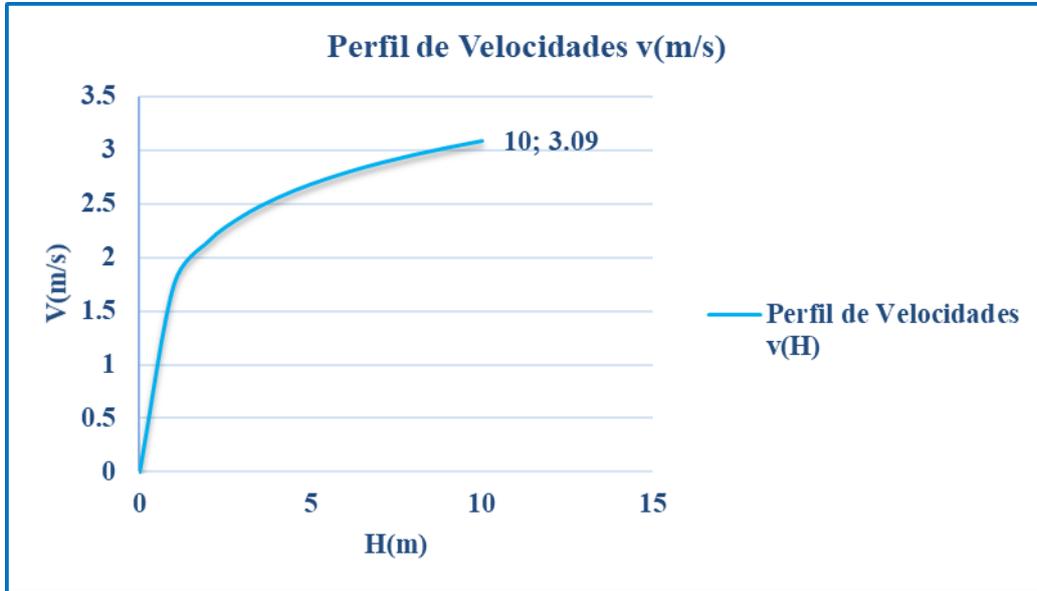


Gráfico N° 21: Perfil de velocidades Obtenidas mediante la distribución de Weibull. (Elaboración propia).

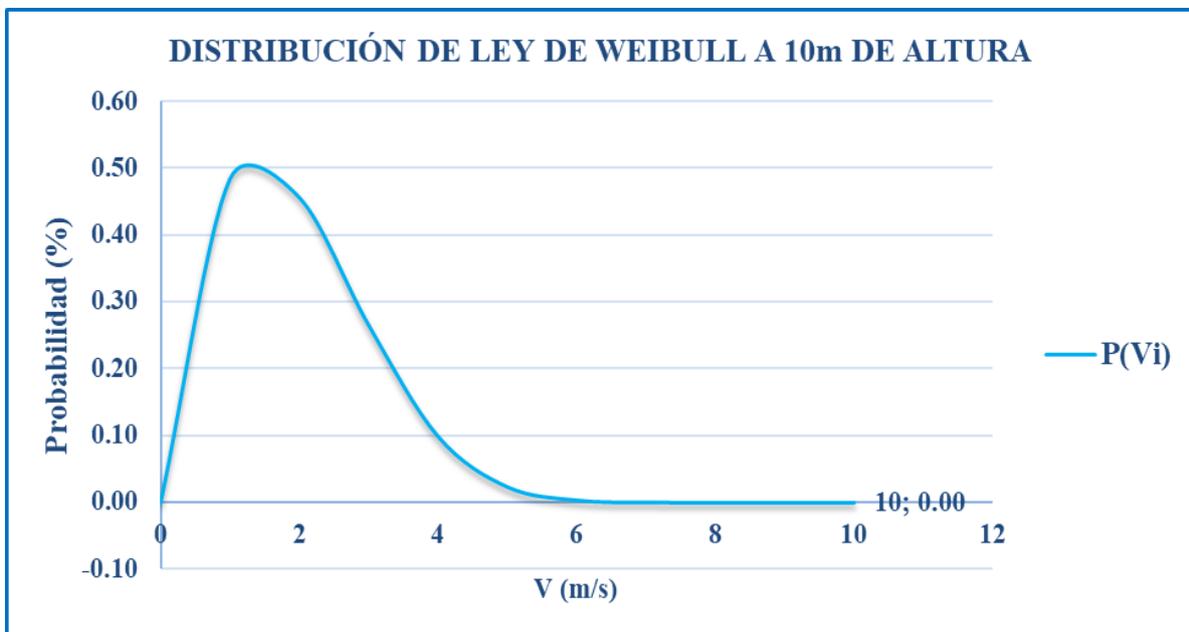


Gráfico N° 22: Distribución de Weibull a una altura de 10m (Elaboración propia).

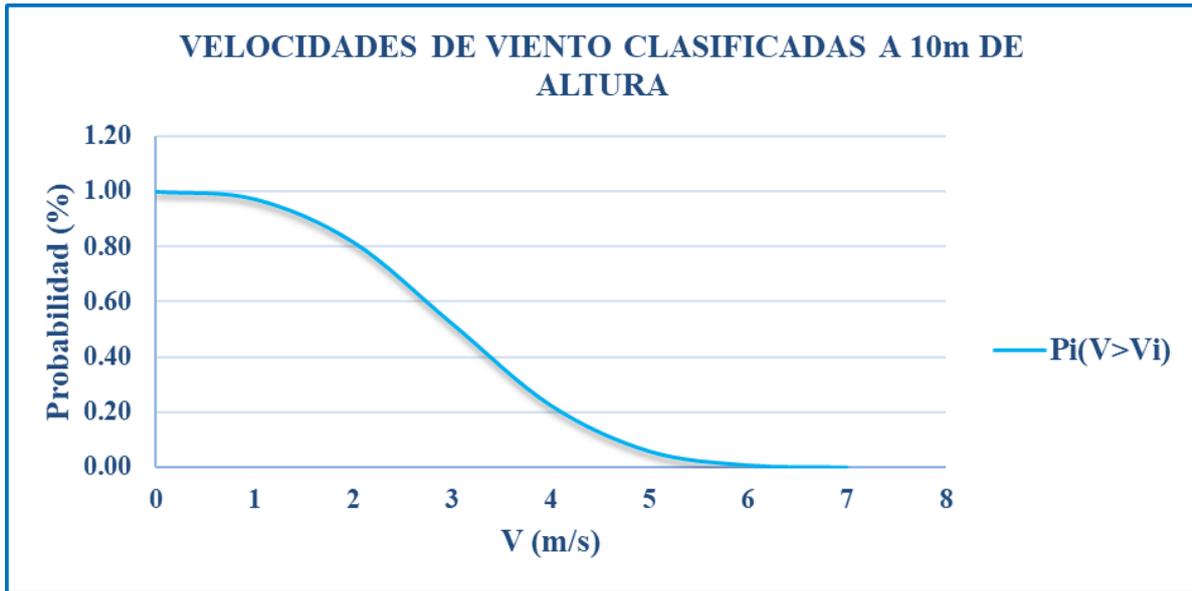


Gráfico N° 23: Velocidades de viento clasificadas.
(Elaboración propia).

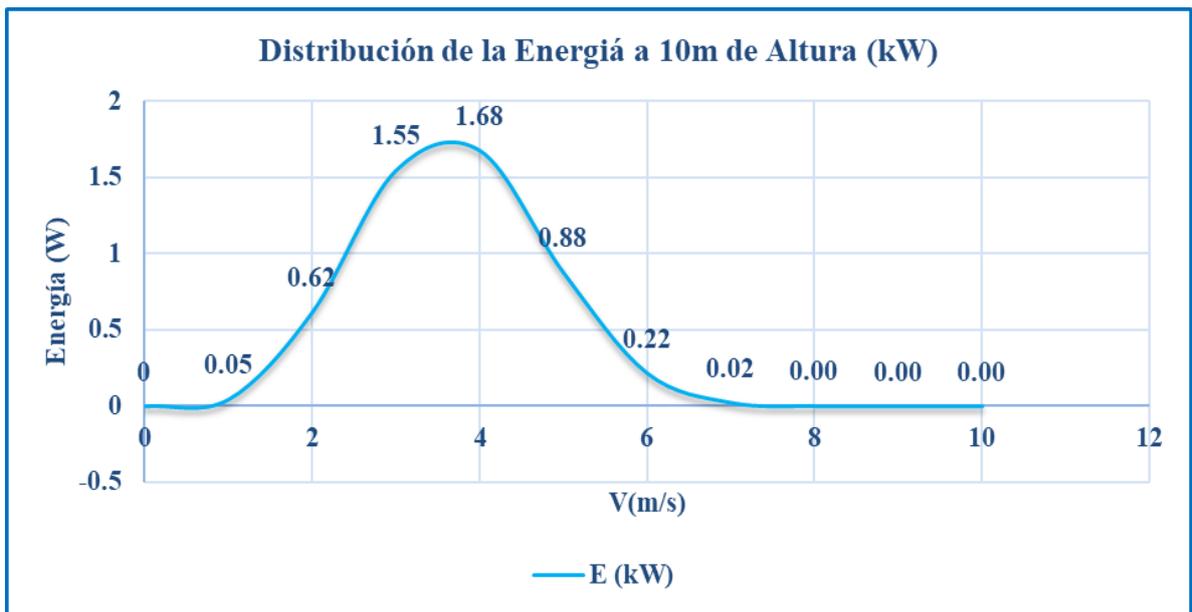


Gráfico N° 24: Distribución de la Energía (W) a una altura de 10m
(Elaboración propia).

3. Distribución de Weibull a una Altura de 70m.

v (m/s)	Altura (H)	C (m/s)	Factor de Forma (K)	V_i	$P(V_i)$	$P_i(V > V_i)$	$V(H)$	V_n
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0
1	10	3.48	2.88	1.00	0.077	0.97	3.48	10.0
2	20	4.29	3.07	1.62	0.134	0.89	4.29	12.3
3	30	4.84	3.19	2.16	0.186	0.78	4.76	13.9
4	40	5.28	3.28	2.64	0.221	0.64	5.09	15.2
5	50	5.64	3.35	3.09	0.230	0.49	5.35	16.3
6	60	5.96	3.42	3.51	0.210	0.36	5.56	17.2
7	70	6.24	3.47	3.90	0.167	0.25	5.74	18.0

Tabla N° 42: Distribución de Weibull a 70m de Altura (Elaboración propia).

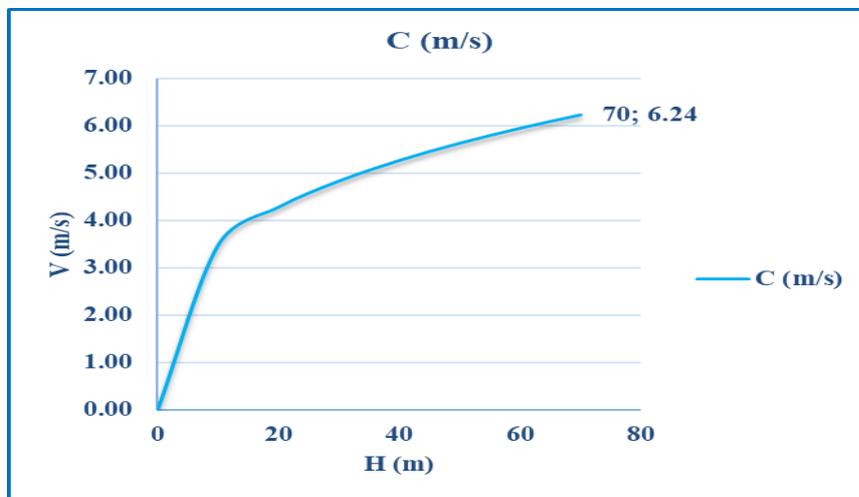


Gráfico N° 25: velocidad del viento a 70m de altura (Elaboración propia).

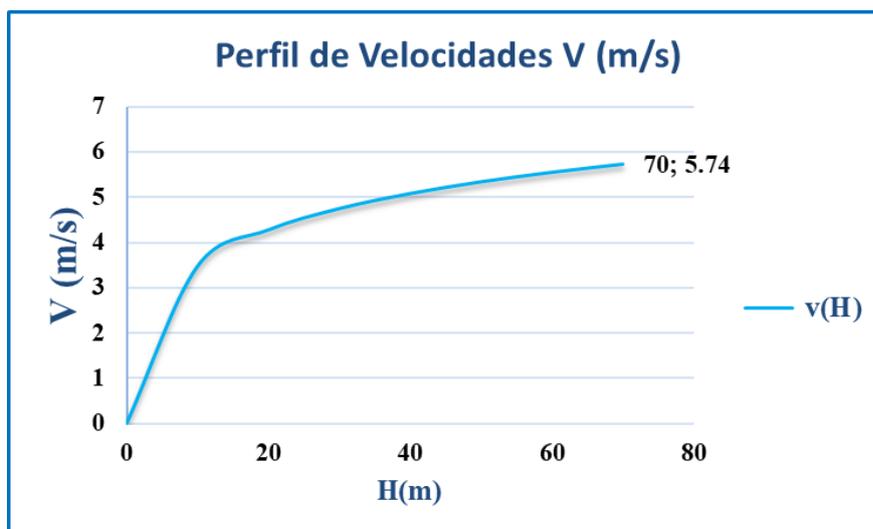


Gráfico N° 26: Perfil de velocidades a la altura de 70m de altura (Elaboración propia).

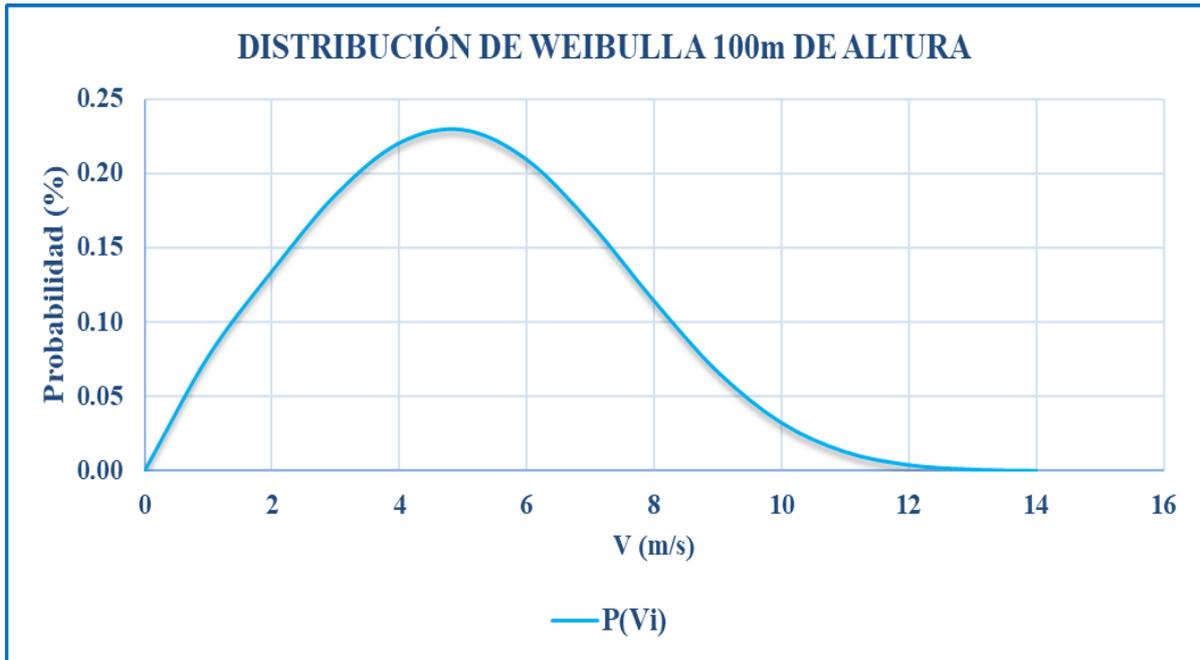


Gráfico N° 27: Distribución de Weibull a una altura de 70m de altura
(Elaboración propia).

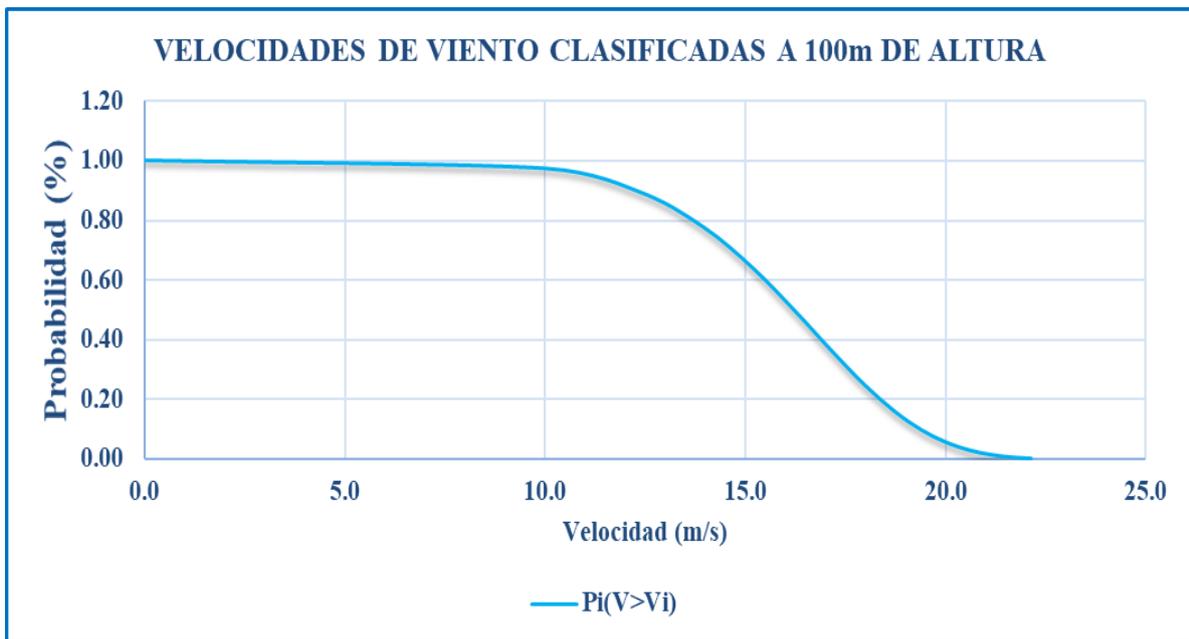


Gráfico N° 28: Velocidades del viento clasificadas a 70m de altura
(Elaboración propia).

4. Selección del Aerogenerador Eólico.

II. SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR EÓLICO.						
II.1 Tipo de aerogenerador seleccionado		Aerogenerador de 3 palas		P	3	
II.2 DISEÑO DEL ROTOR:						
A. Coeficiente de potencia.	C_p	0.47				
B. Densidad del fluido (de la presión atmosférica)	ρ	1.23	kg/m ³	f. Viscosidad del aire.		
C. Velocidad específica del aerogenerador seleccionado	λ	7	m/s	μ	1.8*10 ⁻⁵	kg/ms
D. Velocidad máxima del viento en el mes crítico.	V_o	5	m/s	V_a	5.0	m/s
E. Velocidad nominal a 10m de altura.	V_n	10.0	m/s	V_d	25	m/s
II.3 POTENCIA NOMINAL:						
A. Potencia diaria elegida .	P_n	576	kW-Día			
II.4 Diámetro del rotor:		D=	50.2	50	m	
B. Velocidad de rotación del rotor	N=	26.7	27	r.p.m		
C. Velocidad de giro del rotor.	ω	2.83	rad/s			
D. Radio.	R=	25.1	25	m		

Tabla N° 43: Selección del Aerogenerador Eólico
(Elaboración propia).

5. Dimensionamiento del Aerogenerador Eólico.

III. DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR			
A. Coeficiente de potencia.	C_p	0.47	
B. Velocidad específica del aerogenerador seleccionado	λ	7	m/s
C. Velocidad nominal a 10m de altura.	V_n	10.0	m/s
D. Número de Reynolds	Re	35	

Tabla N° 44: Dimensionamiento del Aerogenerador Eólico
(Elaboración propia).

a. Diámetro del rotor.

III.1 Diámetro del rotor:					
D:	50	R:	25	m	
III.2 Cálculo de la Potencia nominal.			P_n	572	kW
III.3 Rendimiento de la Caja Multiplicadora.					
a. Número de etapas de transmisión.			q:	3	
b. Velocidad nominal a 70m de altura.			V_n	18.0	m/s
c. Rendimiento.			η_m	0.94	

Tabla N° 45: Dimensionamiento del Diámetro del rotor
(Elaboración propia).

b. Rendimiento del aerogenerador.

III.4 Rendimiento del generador.					
a. Potencia de entrada.		P_e	572	kW	
x	1.01	y	0.013		
b. Rendimiento.		η_g	0.99		
c. Rendimiento global del aerogenerador.		η_o	0.93		
d. Potencia nominal de prediseño		P_o	616.60	kW	
e. Potencia de transmisión.		P_t	579.61	kW	
f. Potencia mecánica.		P_m	616.60	MW	
g. Velocidad de rotación del rotor		N	27	r.p.m	
		Máx. N	48.6	r.p.m	
h. Velocidad de giro del rotor.		ω	2.84	rad/s	
		Máx. ω	5.09	rad/s	
i. Potencia del Aerogenerador		P_t	1	MW	

Tabla N° 46: Rendimiento del generador.
(Elaboración propia).

6. Dimensionamiento de las Palas.

IV. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PALAS												
Radio (r _i)	(λ _i)	a _i	h _i	l _i	C _i	Q _i	C _L	u	V	W	Ω	C _p
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
1	0.28	0.43	3.34	34.57	0.06	21.76	362.67	6.16	7.17	12.77	166.27	0.27
5	1.41	0.37	1.20	20.97	0.3	8.80	29.33	15.58	8.46	22.90	2.79	0.54
9	2.55	0.35	1.07	14.56	0.54	4.38	8.11	26.37	9.41	35.73	0.52	0.57
13	3.68	0.34	1.03	11.09	0.78	2.59	3.32	37.47	10.18	50.14	0.18	0.58
17	4.81	0.33	1.02	8.88	1.02	1.69	1.66	48.68	10.81	65.85	0.08	0.59
21	5.94	0.33	1.01	7.47	1.26	1.19	0.94	59.94	11.41	11.58	0.04	0.59
25	7.07	0.33	1.01	6.44	1.5	0.89	0.59	71.23	11.96	71.99	0.03	0.59

Tabla N° 47: Dimensionamiento de las palas instalado a una altura de 70m de atura (Elaboración propia).

7. Curva del Aerogenerador.

V. Curva del Aerogenerador					
V (m/s)	Pi(V>Vi)	Tt=Pi*8760 h/año	P (MW)	E (GWh/Año)	P Útil (MW)
1.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.6	0.08	675.31	0.00	0.00	0.00
3.9	0.13	1176.64	0.02	0.02	0.00
5.2	0.19	1627.99	0.06	0.10	0.00
6.5	0.22	1933.27	0.15	0.28	0.01
7.8	0.23	2010.81	0.27	0.54	0.03
9.0	0.21	1835.52	0.43	0.79	0.07
10.3	0.17	1461.11	0.64	0.94	0.16
11.6	0.11	1002.80	0.90	0.91	0.30
12.9	0.07	584.71	1.21	0.71	0.53
14.2	0.03	284.62	1.57	0.45	0.88
15.4	0.01	113.39	1.99	0.23	1.40
16.7	0.00	36.16	2.46	0.09	2.14
18.0	0.00	9.01	2.99	0.03	3.17

Gráfico N° 29: Curva del aerogenerador a 50m de diámetro del rotor (Elaboración propia).

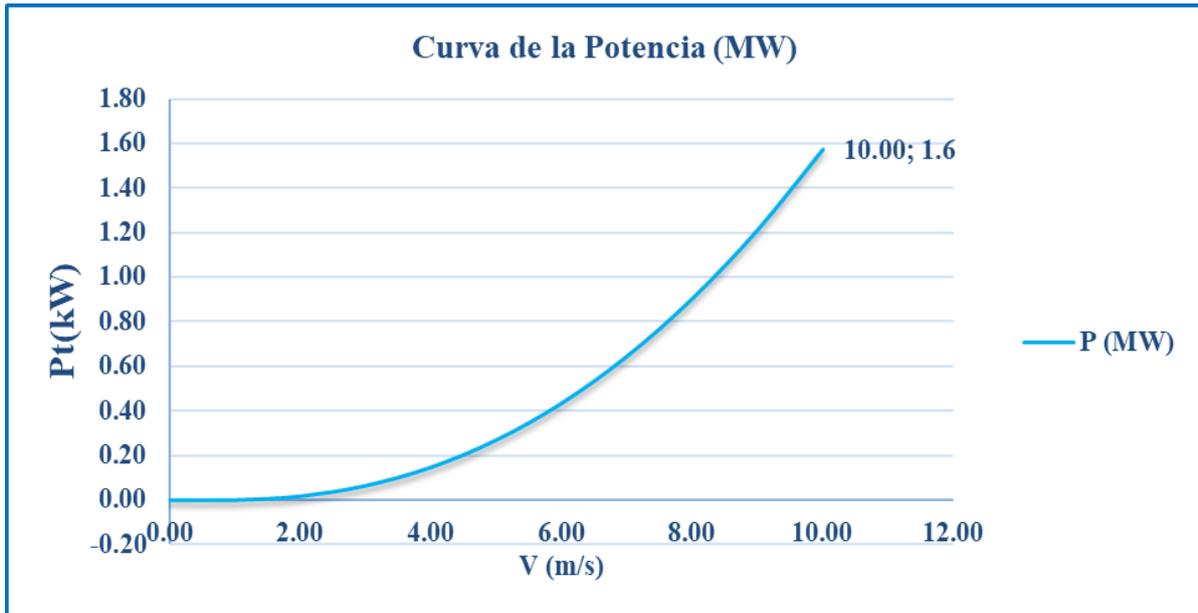
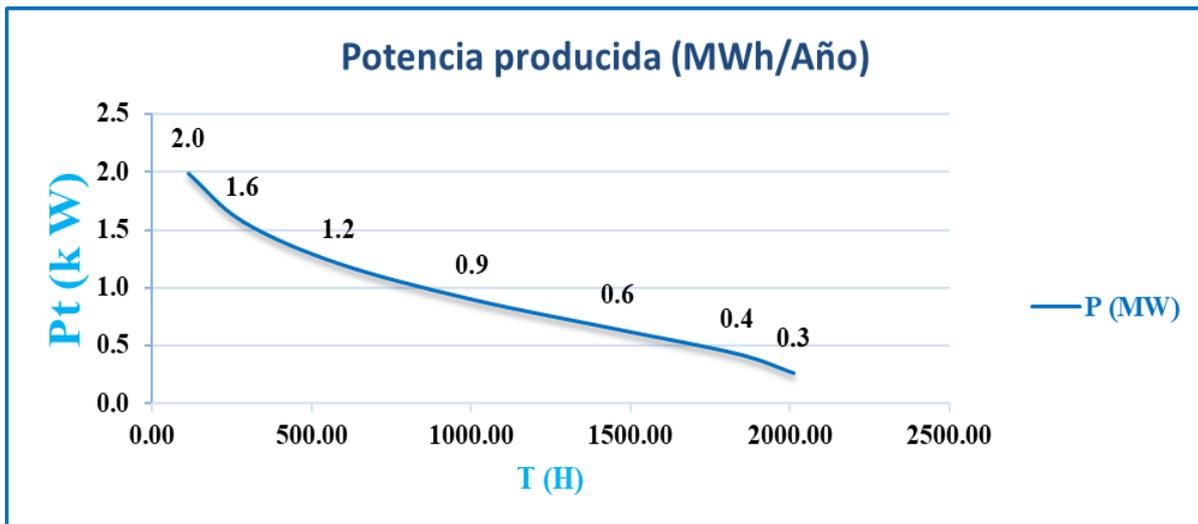


Gráfico N° 30: Curva de Potencia
(Elaboración propia).



Curva de Potencia Suministrada	P_t	1.8	GWh/Año
---------------------------------------	-------	-----	---------

Gráfico N° 31: Curva de Potencia suministrada (GW h/año) a
25m de radio
(Elaboración propia).

8. Curva de la Energía Producida por el sistema Eólico.

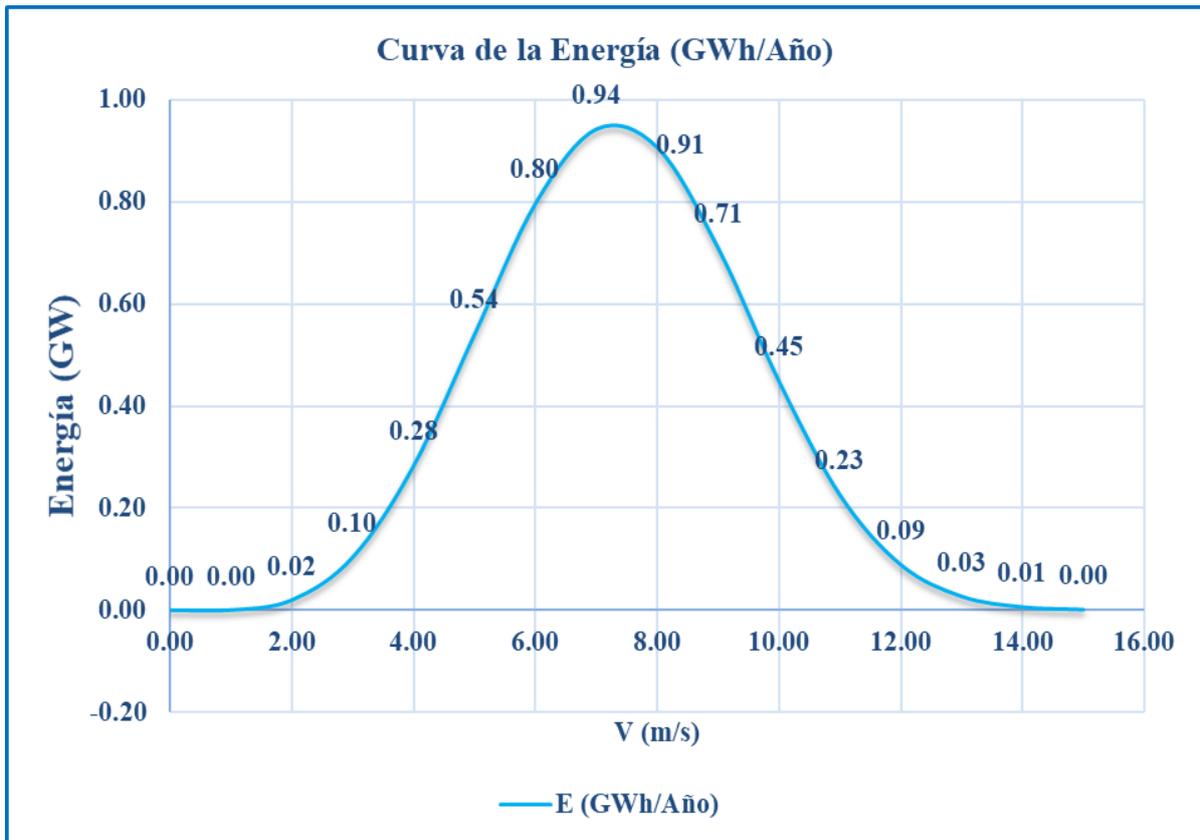


Gráfico N° 32: Curva de la Energía (GWh/año) (Elaboración propia).

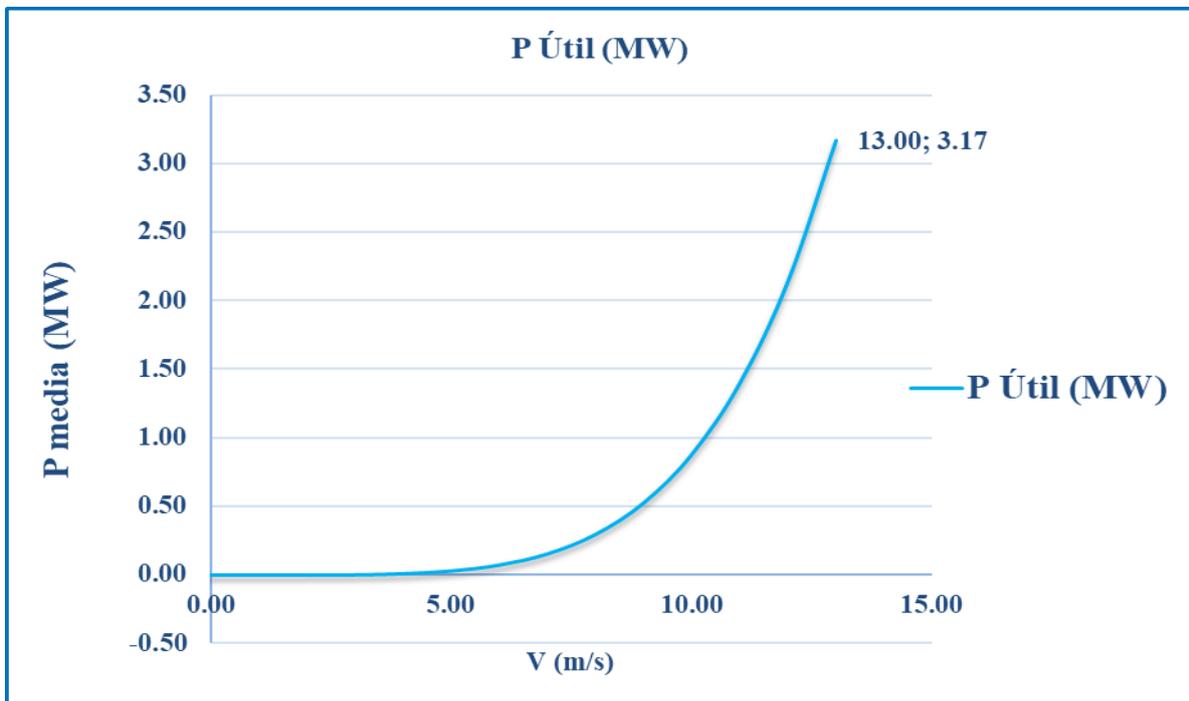


Gráfico N° 33: Curva de la potencia útil- MW (Elaboración propia).

XI. Eficiencia Energética por energía generada.

a. Índice de consumo energético de Energía producida (I.C.E) por la energía Fv/ Máxima demanda de consumo.

ENERGÍA PRODUCIDA POR EL SISTEMA Fv.												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía (kWh/día):	54.63	47.40	43.98	42.78	44.73	56.18	53.45	62.97	66.82	39.54	47.07	47.07
% Energía en kW-h/día:	9%	8%	7%	7%	7%	9%	9%	10%	11%	7%	8%	8%
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO (ICE)/ día												
Consumo de Energía (kWh/día)	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
ICE (kWh/día)	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.2	1.1	1.3	1.4	0.8	1.0	1.0

Tabla N° 48: Energía producida por la Energía Fv (Elaboración propia).

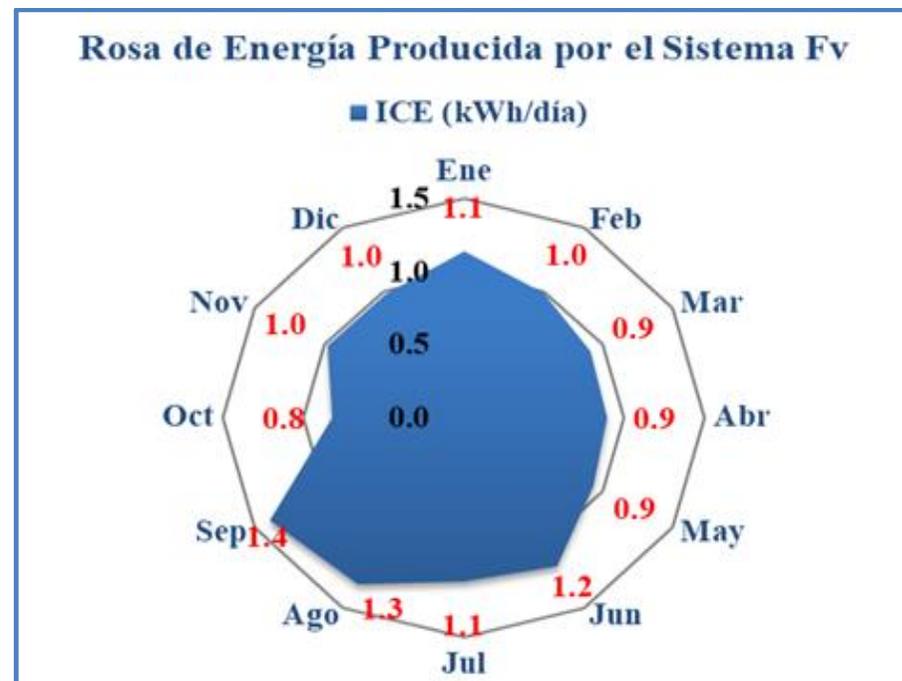
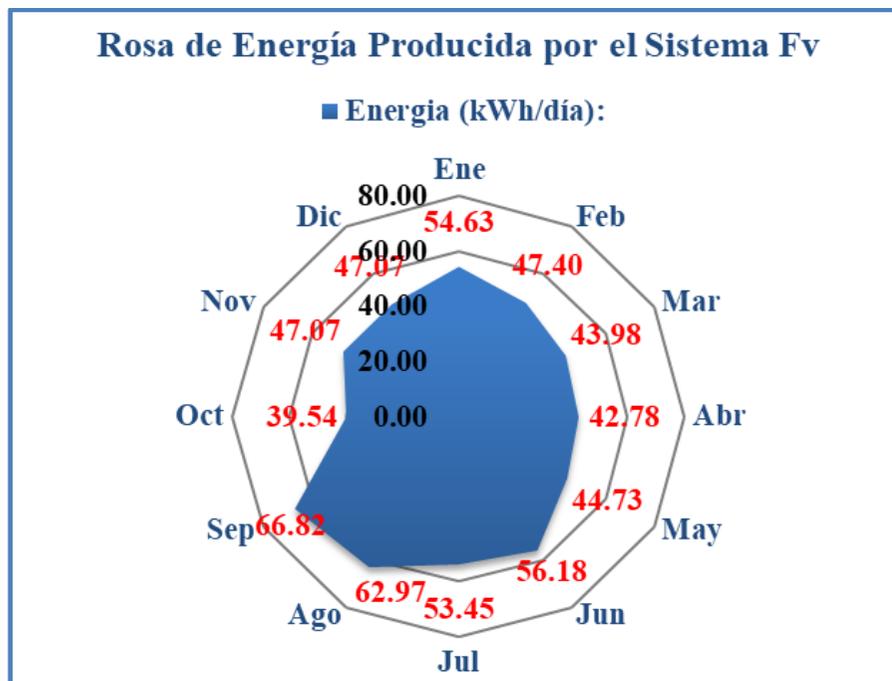


Gráfico N° 34: ICE por energía producida vs Máxima demanda (Elaboración propia).

Gráfico N° 35: Rosa de Energía producida por el sistema Fv (Elaboración propia).

b. Índice de consumo energético de Energía (I.C.E) producida por el parque Eólico / Máxima demanda de consumo.

E producida por parque eólico					
V (m/s)	E (MWh/día)	%	consumo E= (MWh/día)	ICE por energía producida (MWh/día)	Máxima Demanda (MD-GWh/día)
1	0.0	0%	0.58	0.00	0.00
2	0.1	0%	0.58	0.10	0.02
3	0.3	2%	0.58	0.50	0.09
4	0.8	6%	0.58	1.35	0.24
5	1.5	11%	0.58	2.58	0.45
6	2.2	16%	0.58	3.80	0.66
7	2.6	18%	0.58	4.49	0.78
8	2.5	18%	0.58	4.32	0.75
9	1.9	14%	0.58	3.38	0.59
10	1.2	9%	0.58	2.13	0.37
11	0.6	4%	0.58	1.07	0.19
12	0.2	2%	0.58	0.42	0.07
13	0.1	1%	0.58	0.13	0.02
14	0.0	0%	0.58	0.03	0.01

Tabla N° 49: ICE del parque eólico (Elaboración propia).

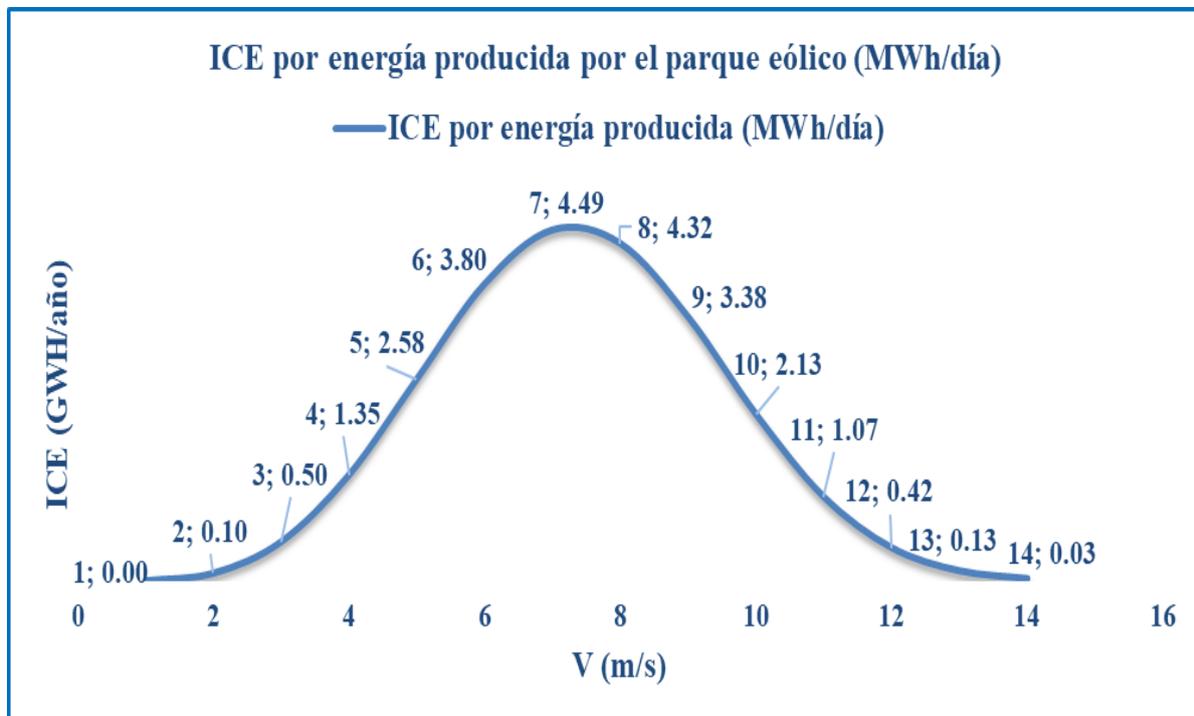


Gráfico N° 35I: ICE producida por el parque Eólico (Elaboración propia).

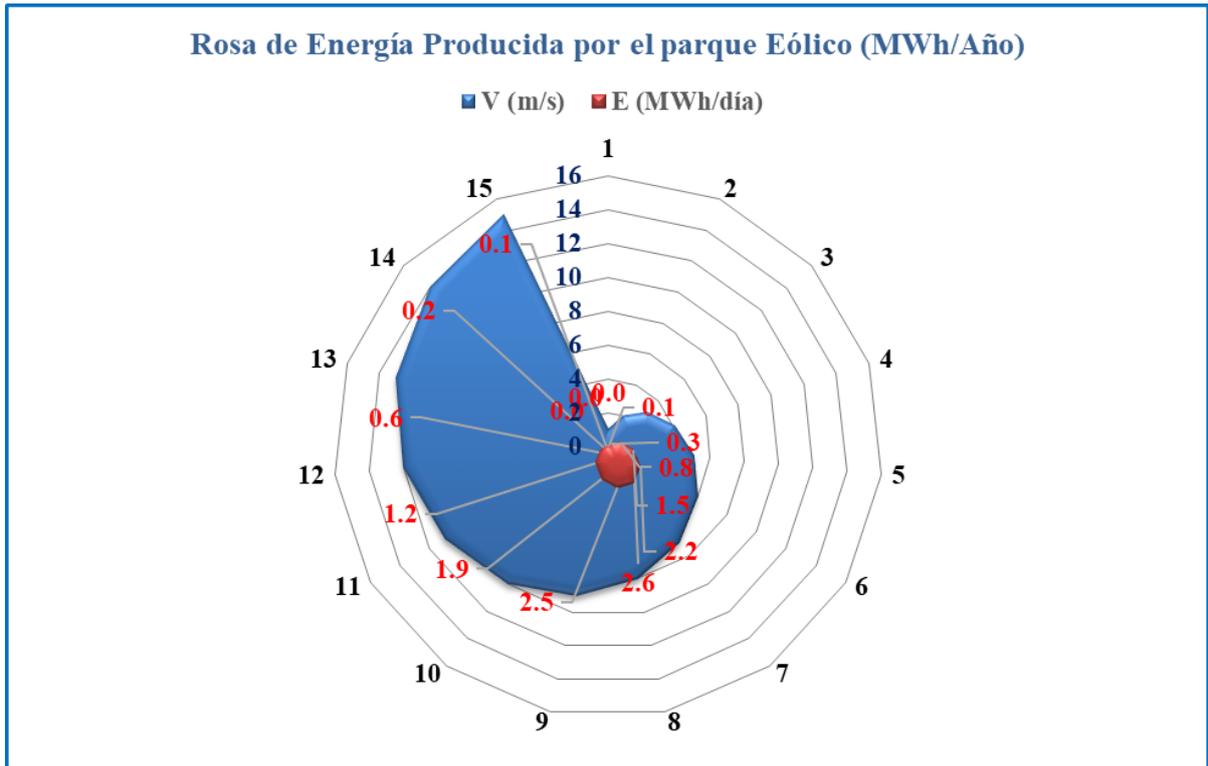


Gráfico N° 36: Rosa de energía generada por el parque Eólico
(Elaboración propia).

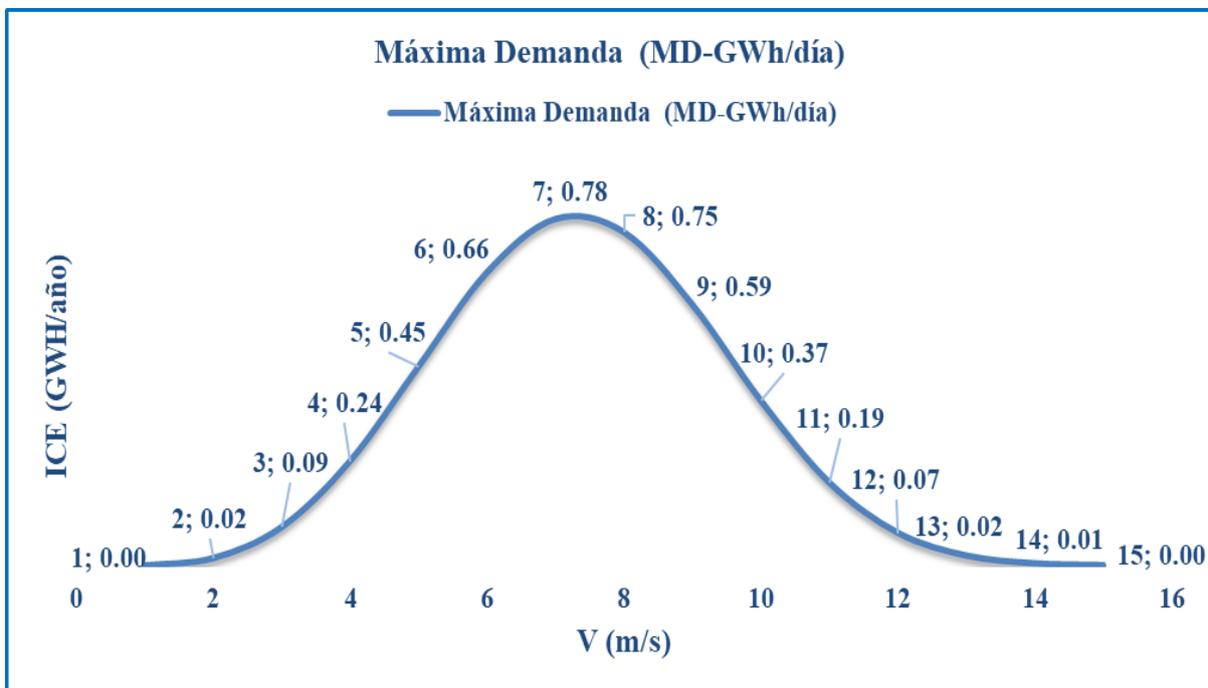


Gráfico N° 37: Máxima demanda de energía por el parque Eólico
(Elaboración propia).

XII. Conclusiones.

1. Dimensionamiento del Aerogenerador proyectado a 20 años de vida útil.

Como conclusión se dispone realizar el dimensionamiento proyectado a 20 años de vida útil, con la finalidad garantizar el mejor consumo de energía con el incremento de la población, suministrar energía a los pueblos cercanos que carecen hoy en día de muchas necesidades; como trabajo y desarrollo sostenible, como también interconectar al sistema interconectado Nacional (SEIN) para mejorar el desarrollo del país.

a. Distribución de Weibull a 130m de altura.

v (m/s)	Altura (H)	C (m/s)	Factor de Forma (K)	(Vi)	P(Vi)	Pi(V>Vi)	v(H)
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
1	10	3.48	2.88	1.00	0.077	0.97	3.48
2	20	4.29	3.07	1.62	0.134	0.82	4.29
3	30	4.84	3.19	2.16	0.186	0.52	4.76
4	40	5.28	3.28	2.64	0.221	0.23	5.09
5	50	5.64	3.35	3.09	0.230	0.06	5.35
6	60	5.96	3.42	3.51	0.210	0.01	5.56
7	70	6.24	3.47	3.90	0.167	0.00	5.74
8	80	6.50	3.52	4.29	0.114	0.00	5.90
9	90	6.73	3.57	4.66	0.067	0.00	6.03
10	100	6.95	3.61	5.01	0.032	0.00	6.16
11	110	7.15	3.65	5.36	0.013	0.00	6.27
12	120	7.34	3.69	5.69	0.004	0.00	6.37
13	130	7.52	3.72	6.02	0.001	0.00	6.46

Tabla N° 50: Distribución de Weibull a 90m de Altura (Elaboración propia).

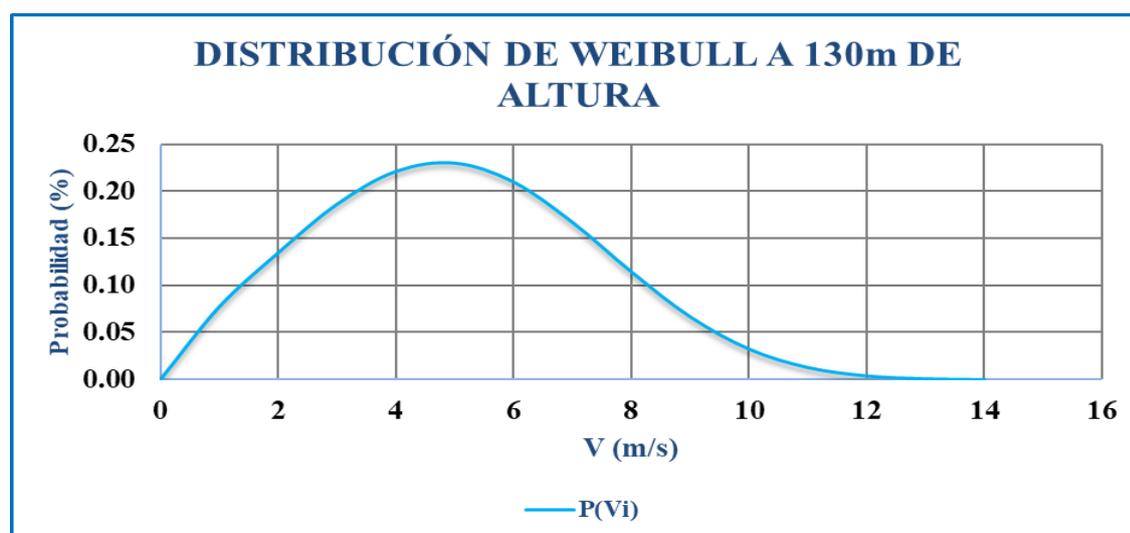


Gráfico N° 43: Distribución de Weibull a 130m. (Elaboración propia).

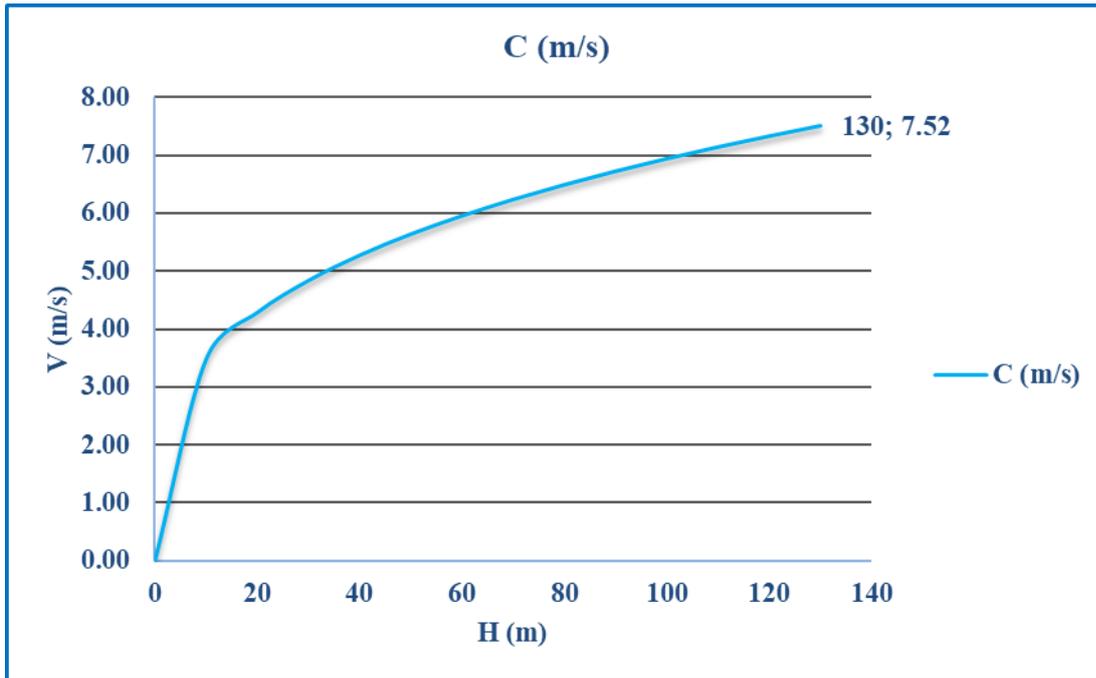


Gráfico N° 38: Distribución de velocidades a 130m.
(Elaboración propia).

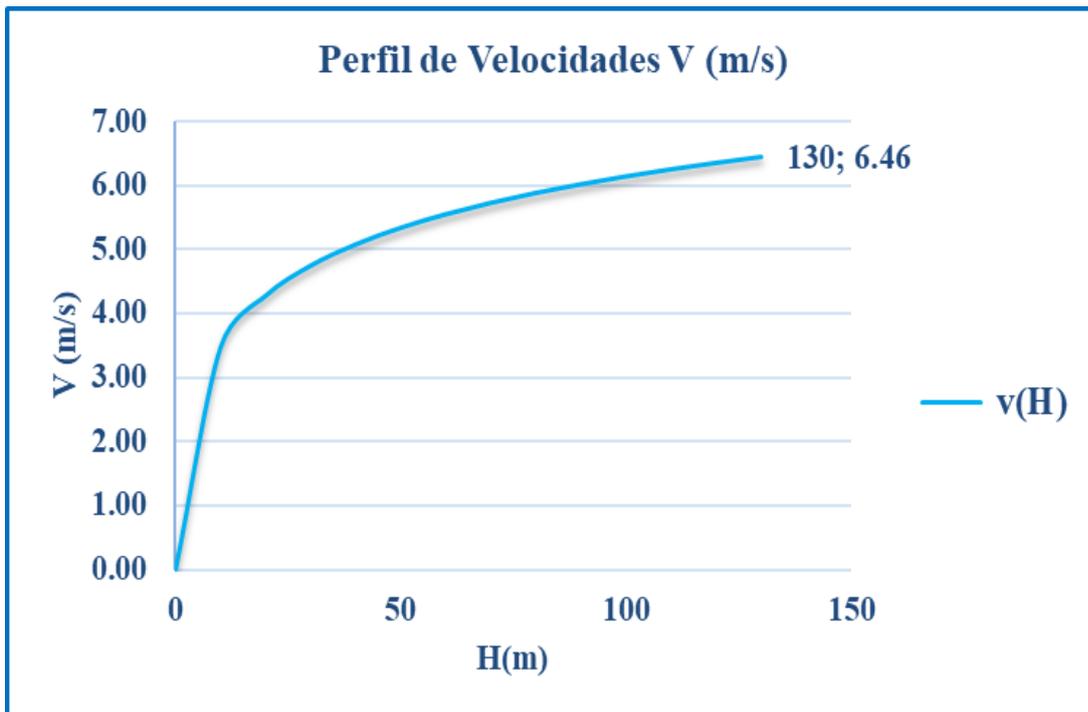


Gráfico N° 39: Perfil de velocidades a 130m.
(Elaboración propia).

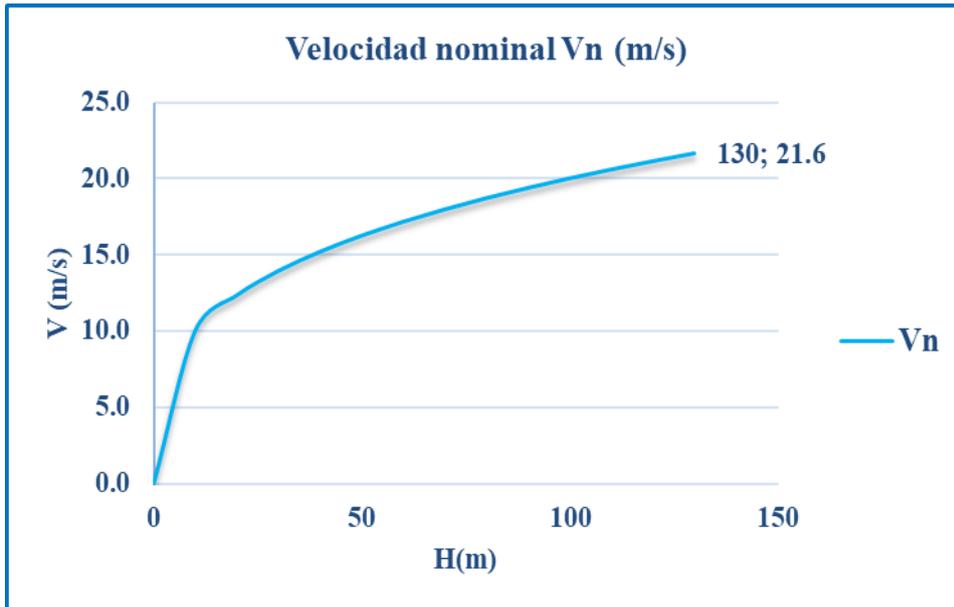


Gráfico N° 40: Velocidad nominal a 130m.
(Elaboración propia).



Gráfico N° 41: Probabilidad de Velocidades clasificadas (Elaboración propia).

b. Dimensionamiento del Aerogenerador.

III. DIMENSIONAMIENTO DEL AEROGENERADOR					
A. Coeficiente de potencia.		C_p	0.48		
B. Velocidad específica del aerogenerador seleccionado		λ	10	m/s	
C. Velocidad nominal a 10m de altura.		V_n	10.0	m/s	
D. Número de Reynolds		Re	40.01		
III.1 Diámetro del rotor:					
D:	80.0	R:	40	m	
III.2 Cálculo de la Potencia nominal.		P_n	1.5	MW	
III.3 Rendimiento de la Caja Multiplicadora.		V_n	22	m/s	
a. Número de etapas de transmisión.		$q:$	3		
b. Rendimiento.		η_m	0.94		
III.4 Rendimiento del generador.					
a. Potencia de entrada.		P_e	1.50	MW	
	x	1	y	0.046	
b. Rendimiento.		η_g	0.96		
c. Rendimiento global del aerogenerador.		η_o	0.90	90%	
d. Potencia nominal de prediseño		P_o	1.66	MW	
e. Potencia de transmisión.		P_t	1.56	MW	
f. Potencia mecánica.		P_m	1.7	MW	
g. Velocidad de rotación del rotor		N	24.0	r.p.m	
h. Velocidad de giro del rotor.		ω	2.5	rad/s	
i. Potencia del Aerogenerador.		P_{ng}	2.8	MW	
j. Velocidad de arranque		V_a	3	m/s	
k. Velocidad de despegue		V_d	25	m/s	

Tabla N° 51: Dimensionamiento del Aerogenerador a 80m de diámetro (Elaboración propia).

c. Dimensionamiento de las Palas.

IV. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PALAS														
Radio (ri)	(λ_i)	ai	hi	li	Ci	Qi	CL	u	V	W	Ω	Cp	Re	Cd
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
5	1.25	0.35	1.25	25.90	0.3	21.76	72.53	114.23	12.13	37.58	5.05	0.53	351884.6	4.1
10	2.51	0.34	1.07	14.80	0.6	8.80	14.67	105.06	12.54	66.80	0.69	0.57	737079.4	1.3
15	3.76	0.33	1.03	10.09	0.9	4.38	4.87	103.18	12.89	100.56	0.21	0.58	1150808.6	0.6
20	5.01	0.33	1.02	7.63	1.2	2.59	2.16	102.50	13.31	138.11	0.09	0.59	1589599.1	0.3
25	6.27	0.33	1.01	6.15	1.5	1.69	1.13	102.18	13.69	175.85	0.05	0.59	2050807.3	0.2
30	7.52	0.33	1.01	5.13	1.8	1.19	0.66	102.00	14.05	217.55	0.03	0.59	2532351.1	0.1
35	8.77	0.33	1.01	4.40	2.1	0.89	0.42	101.90	14.39	261.50	0.02	0.59	3032545.1	0.1
40	10.03	0.33	1.00	3.87	2.4	0.68	0.28	101.83	14.72	339.29	0.01	0.59	3549995.9	0.1

Tabla N° 52: Dimensionamiento de las palas. (Elaboración propia).

En la siguiente tabla podemos observar el dimensionamiento de las palas de acuerdo a 40m radio del rotor, los elementos se especifican en el capítulo V de esta tesis. Las palas de este nuevo aerogenerador son de longitud de 37.5m con la finalidad de generar más energía y mejorar el consumo energético de cada poblador, debido al incremento del número de viviendas proyectado a 20 años de ciclo de vida útil, a diferencia de las palas del aerogenerador; instalado para abastecer la demanda en la provincia y mejorar la productividad económica generado más trabajo.

Concluyo con la instalación de 10 und de aerogeneradores de 3MW.

Al final se especifican en el catálogo según el fabricante.

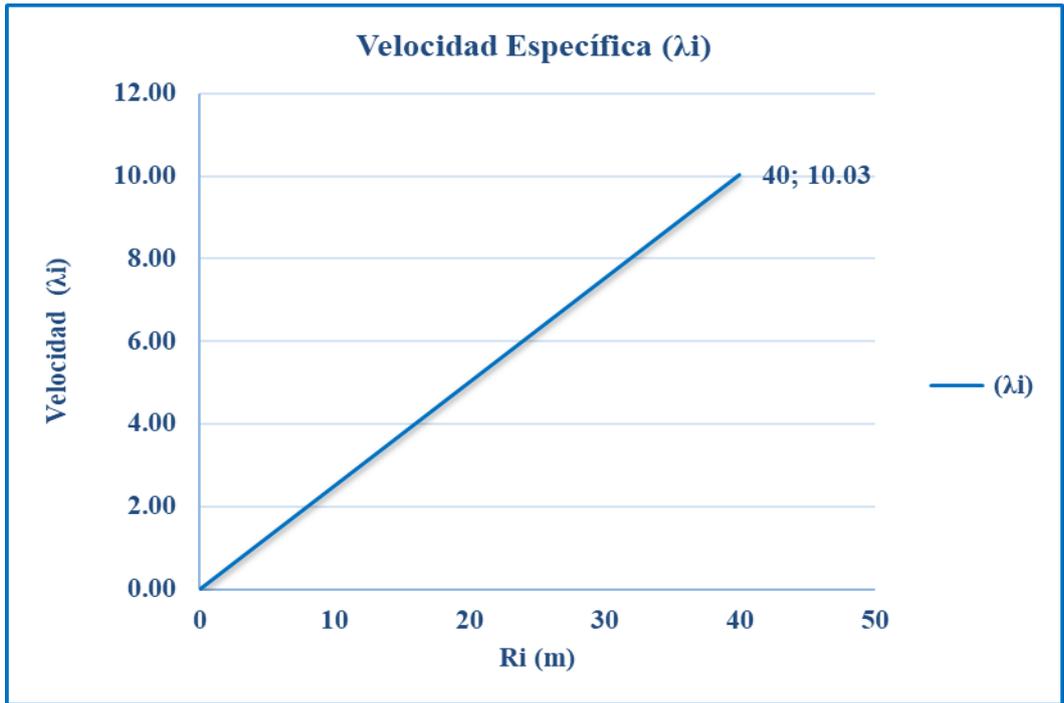


Gráfico N° 42: Velocidad específica. (Elaboración propia).

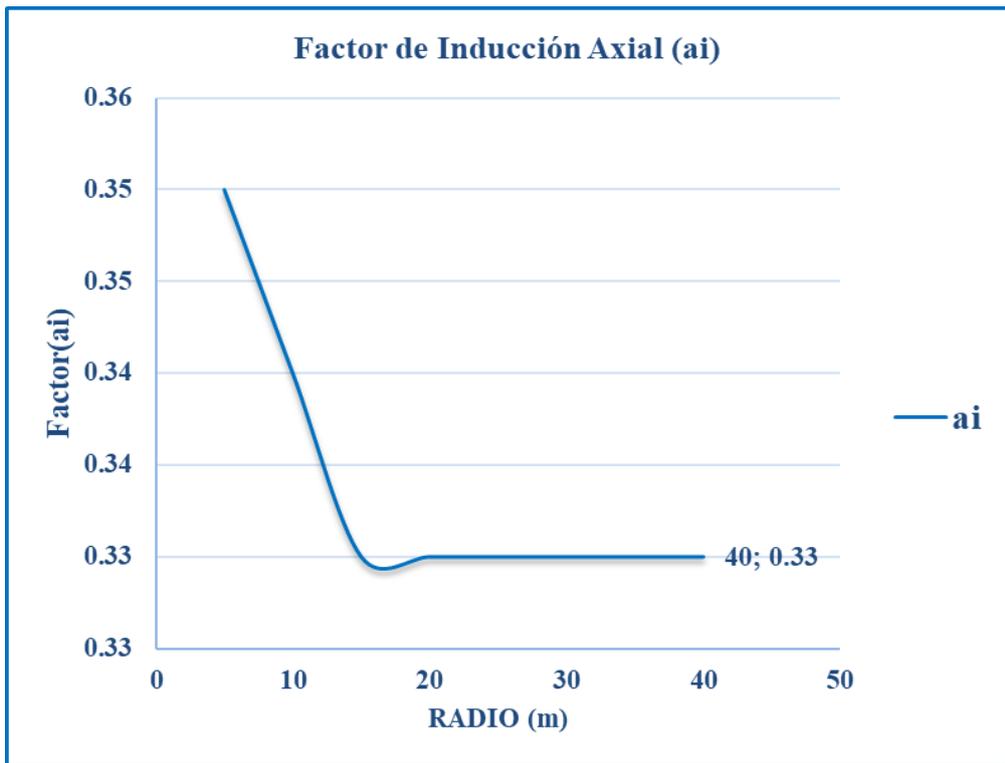


Gráfico N° 47: Factor de inducción axial. (Elaboración propia).

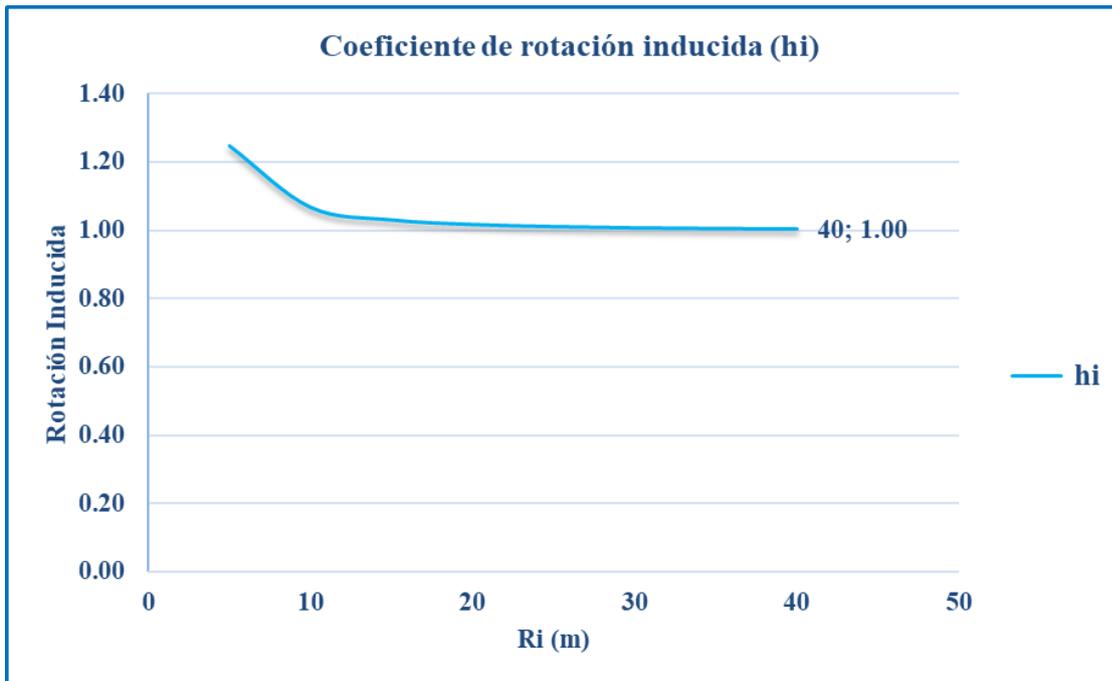


Gráfico N° 43: Coeficiente de rotación inducida.
(Elaboración propia).

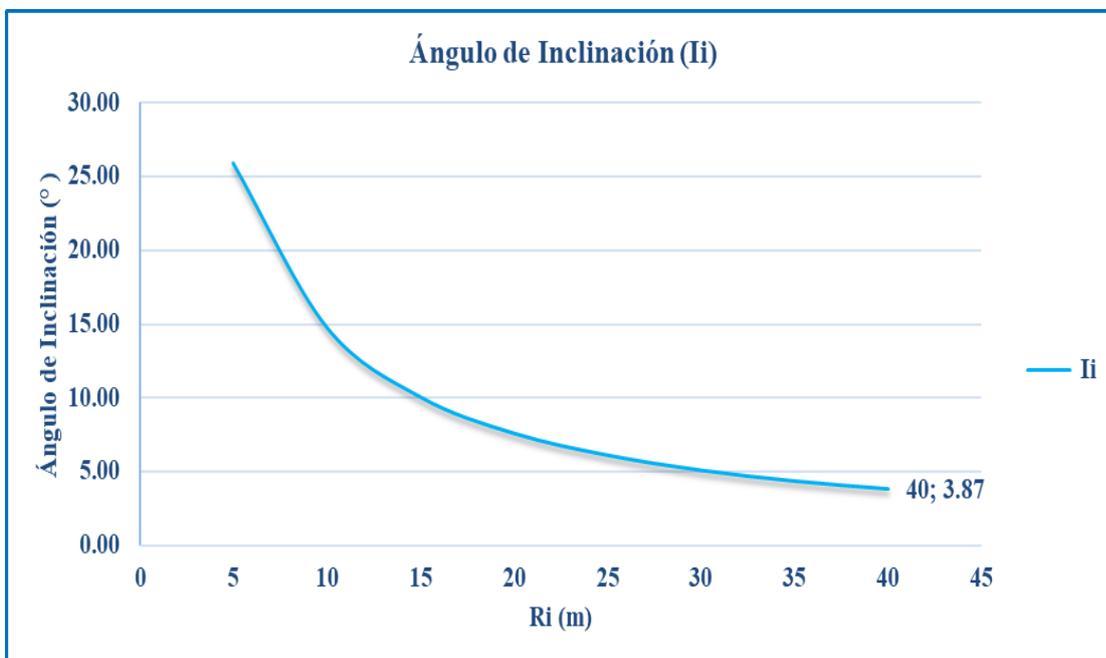


Gráfico N° 44: Ángulo de inclinación. (Elaboración propia).

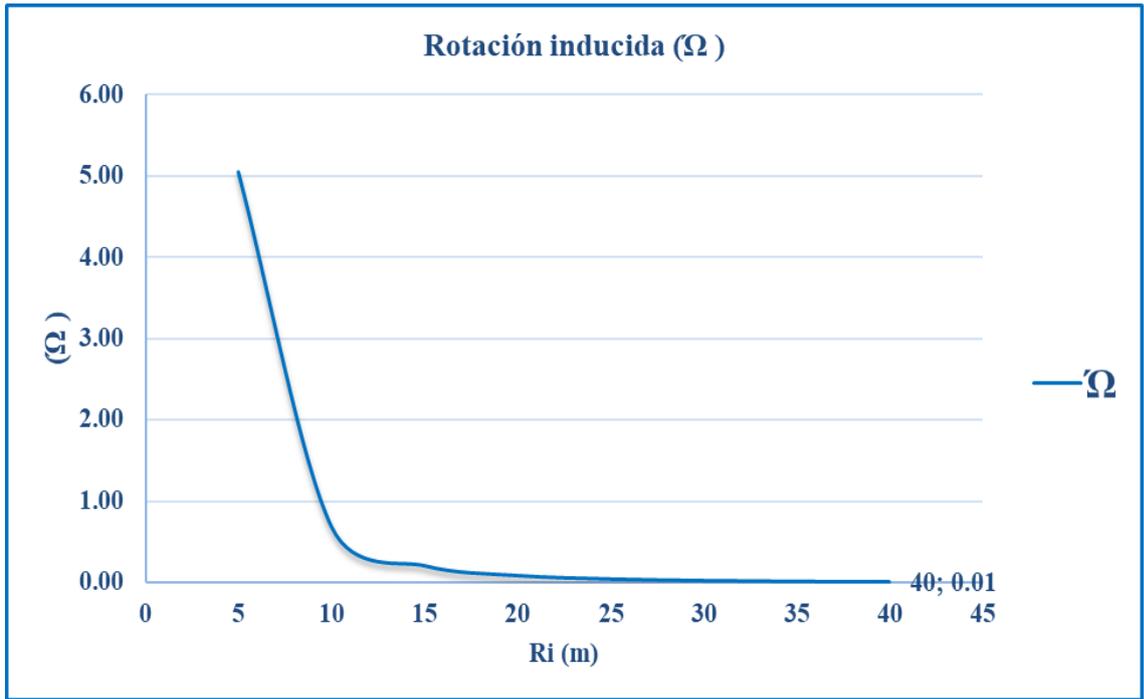


Gráfico N° 50: Rotación inducida. (Elaboración propia).

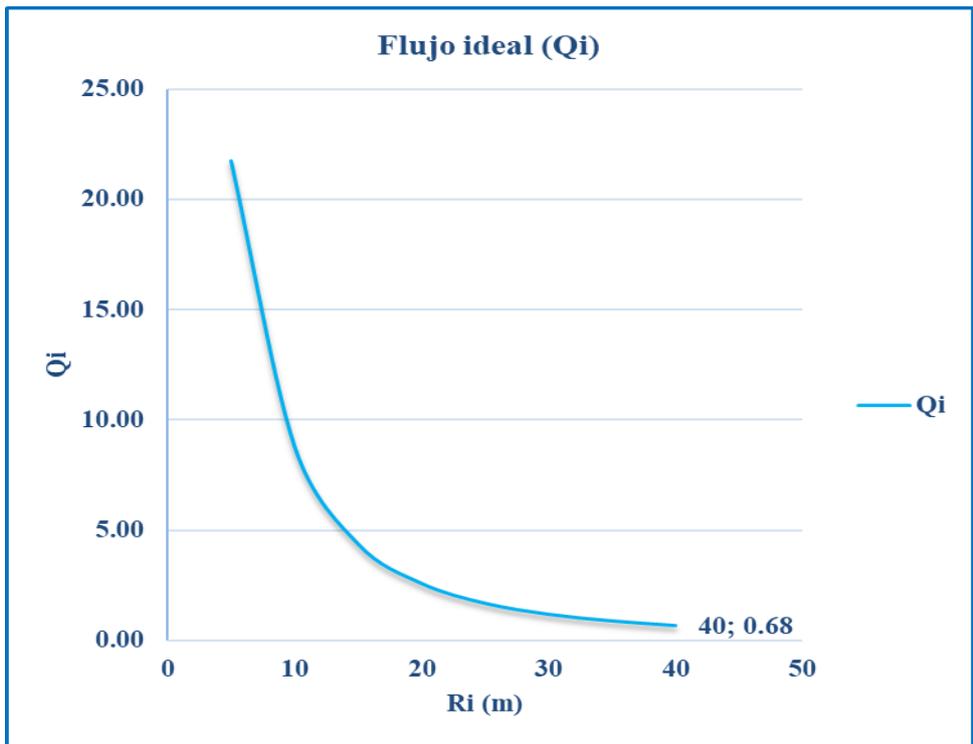


Gráfico N° 45: Flujo ideal. (Elaboración propia).

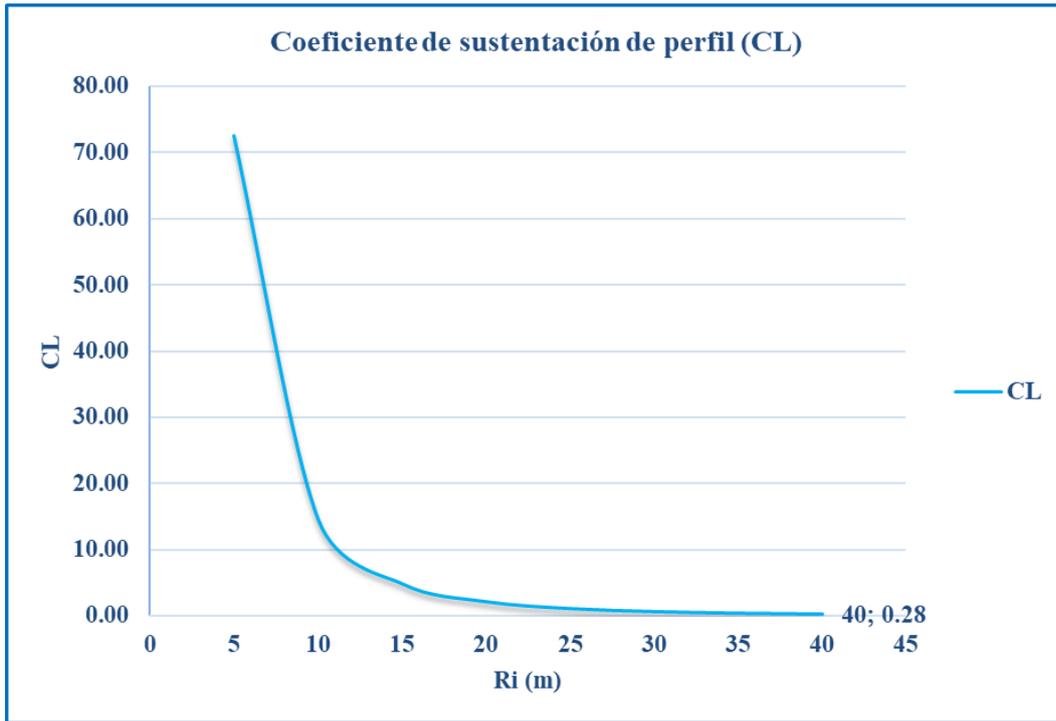


Gráfico N° 46: Coeficiente de sustentación de perfil.
(Elaboración propia).

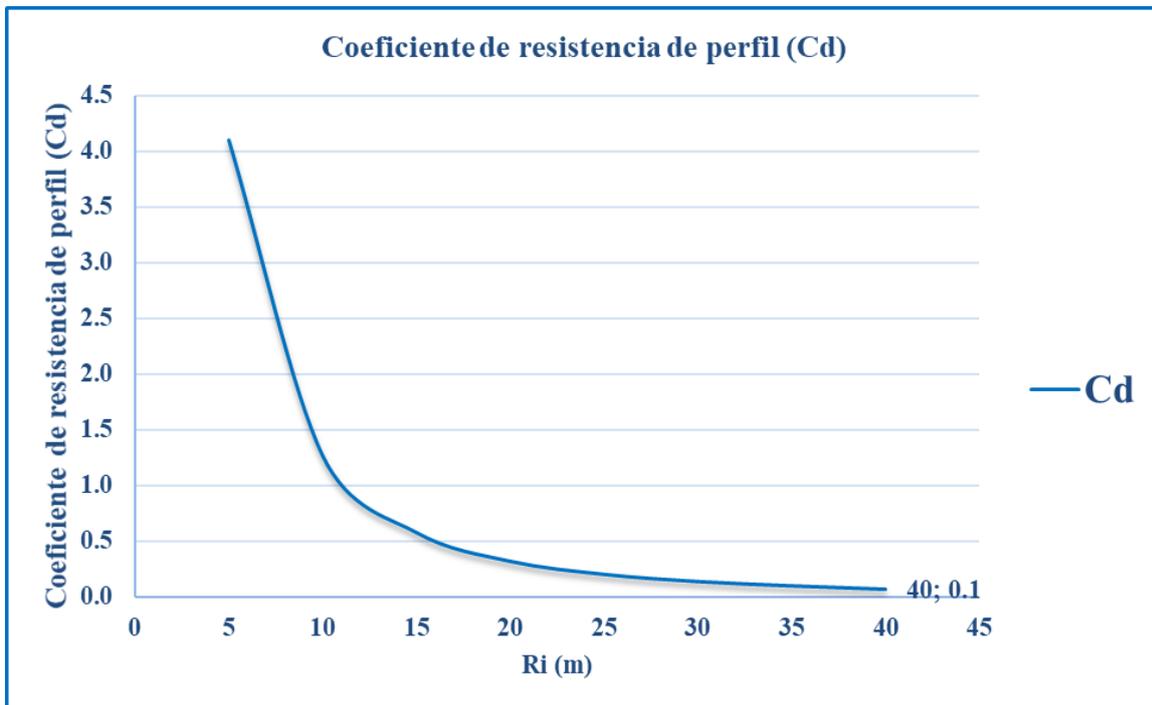


Gráfico N° 47: Coeficiente de resistencia de perfil. (Elaboración propia).

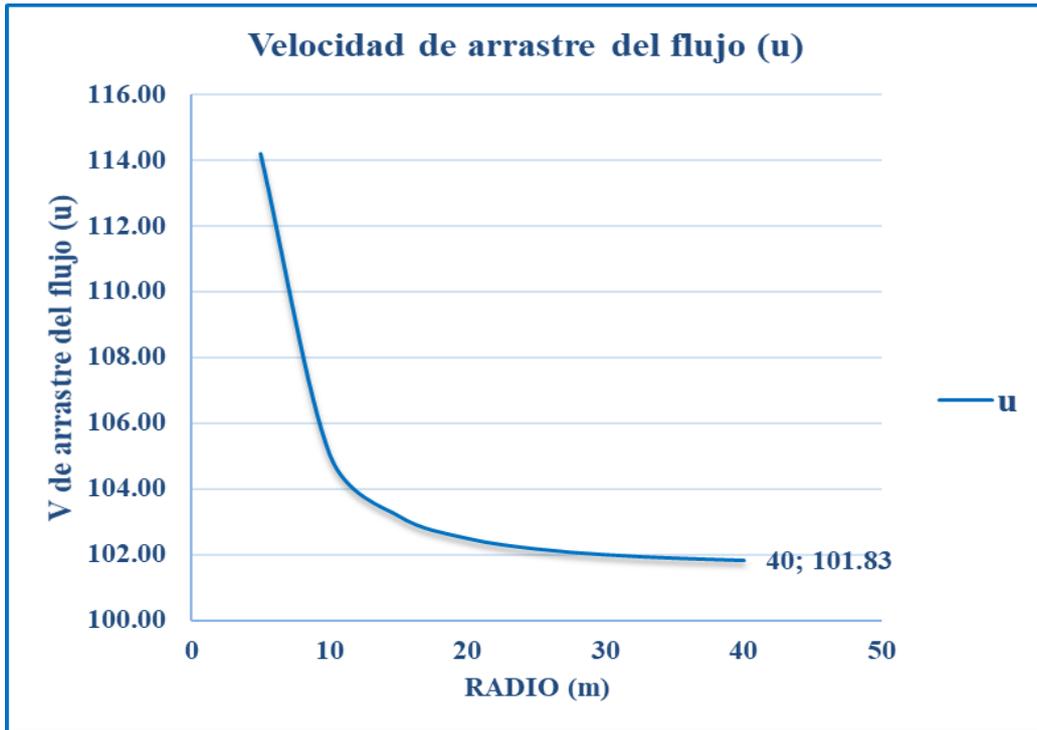


Gráfico N° 48: Velocidad de arrastre del flujo de pala.
(Elaboración propia).

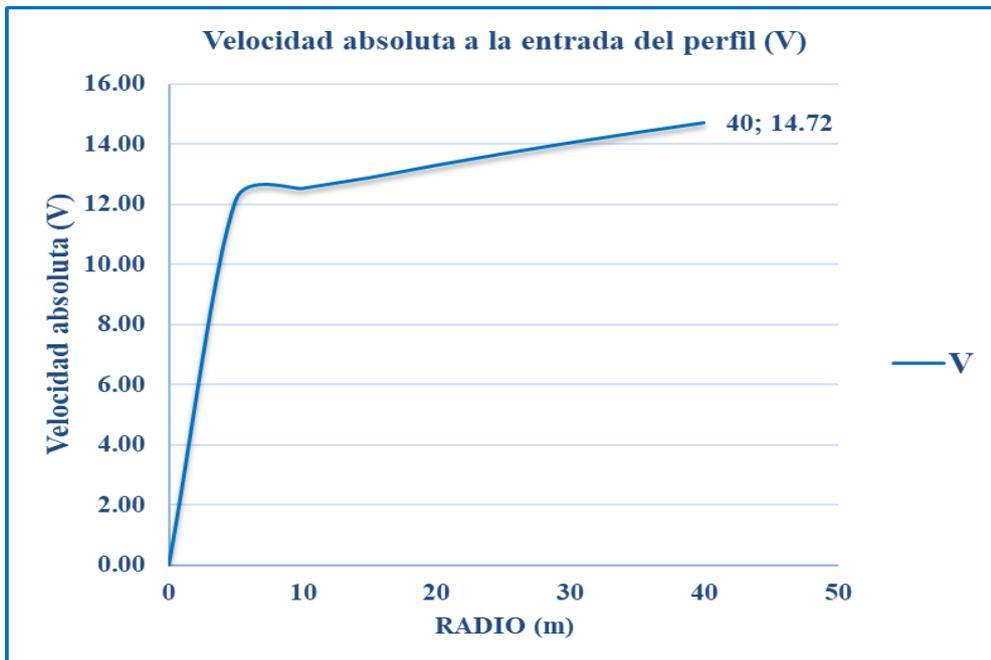


Gráfico N° 49: Velocidad absoluta a la entrada del perfil.
(Elaboración propia).

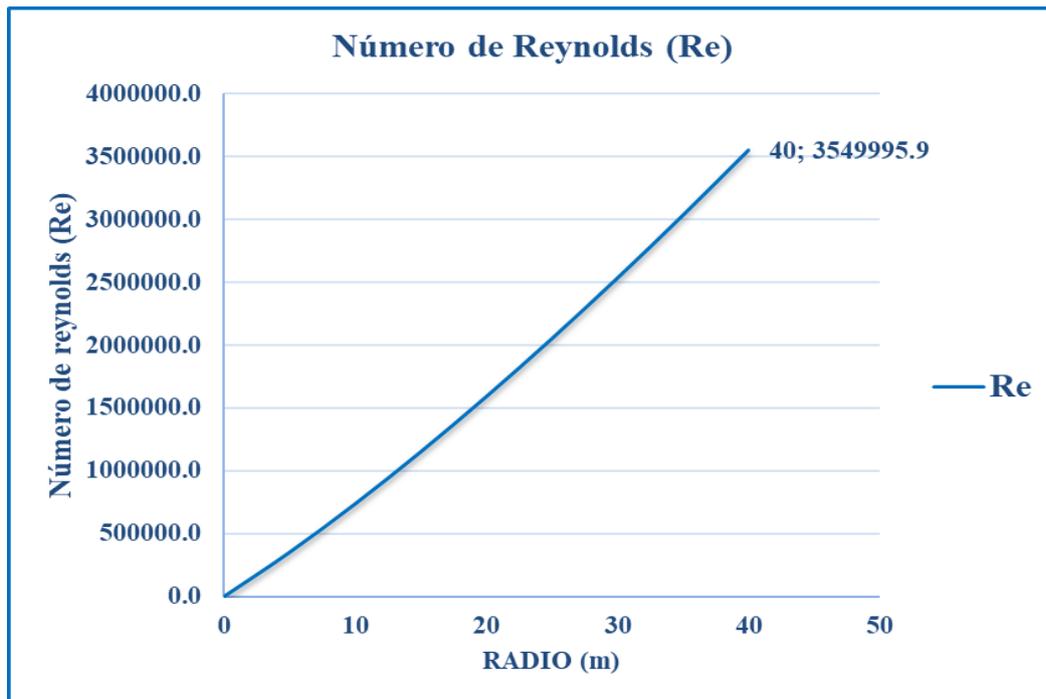


Gráfico N° 50: Número de Reynolds. (Elaboración propia).

2. Curva de la energía producida por el aerogenerador.

V. Energía producida (Curva del aerogenerador)					
V (m/s)	Pi(V>Vi)	Tt=Pi*8760 h/año	P (MW)	E (GWh/Año)	P útil (MW)
17.2	0.000	0.00	0.02	0.00	0.1
18.0	0.077	675.31	0.10	0.07	0.3
18.7	0.134	1176.64	0.24	0.28	0.6
19.4	0.186	1627.99	0.44	0.72	1.0
20.0	0.221	1933.27	0.72	1.38	1.6
20.6	0.230	2010.81	1.06	2.14	2.4
21.1	0.210	1835.52	1.49	2.73	3.4
21.6	0.167	1461.11	1.99	2.91	4.6
22.1	0.114	1002.80	2.58	2.58	6.1
22.6	0.067	584.71	3.25	1.90	7.8
23.0	0.032	284.62	4.01	1.14	9.9
23.5	0.013	113.39	4.86	0.55	12.3
23.9	0.004	36.2	5.80	0.21	15.1

Tabla N° 53: Curva del aerogenerador de 80m de diámetro.
(Elaboración propia).

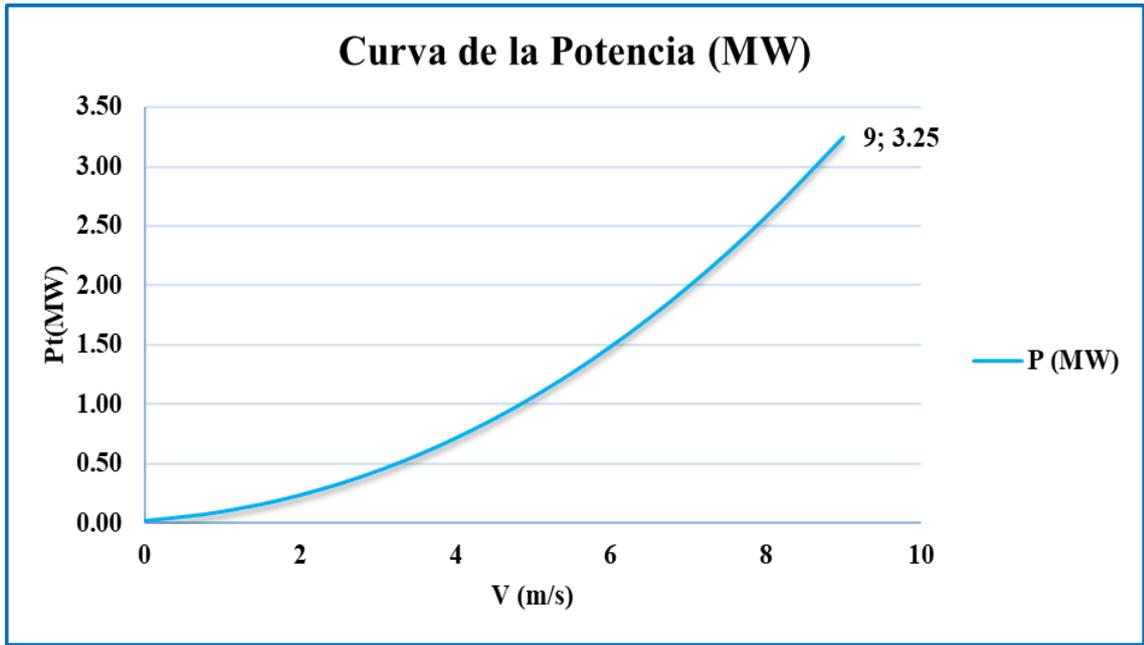
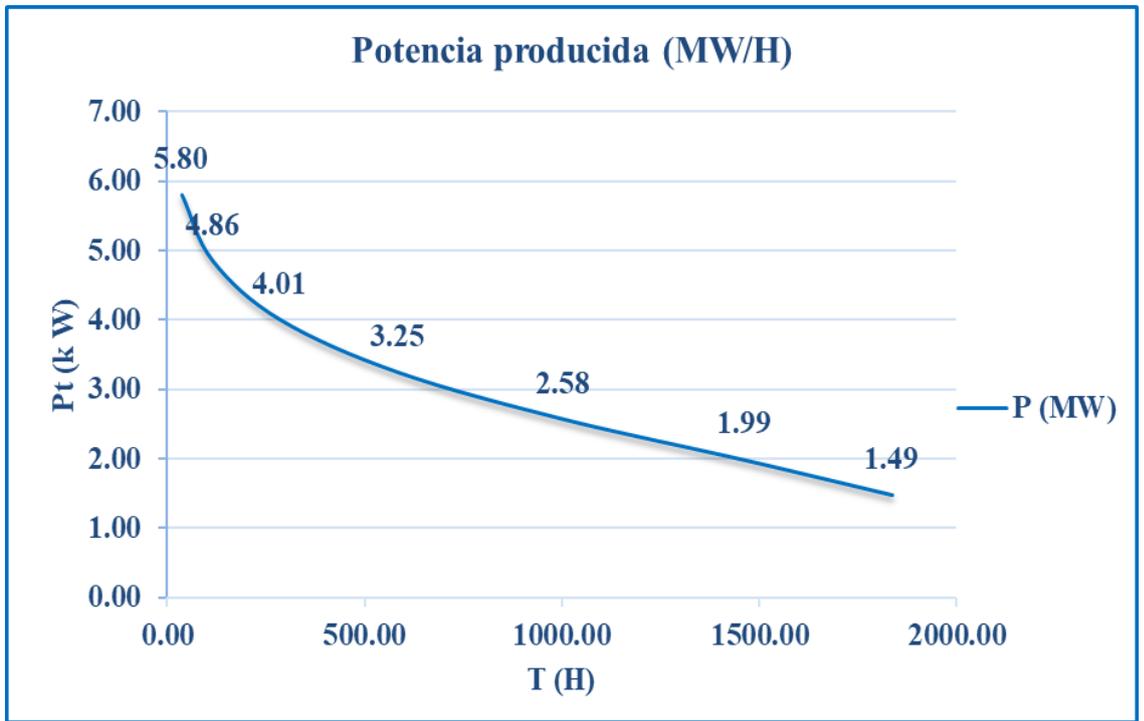


Gráfico N° 51: Curva de la potencia producida por el aerogenerador.
(Elaboración propia).



Curva de Potencia Suministrada	P_t	5.2	GWh/Año
--------------------------------	-------	-----	---------

Gráfico N° 52: Curva de Potencia suministrada al año por el aerogenerador.
(Elaboración propia).

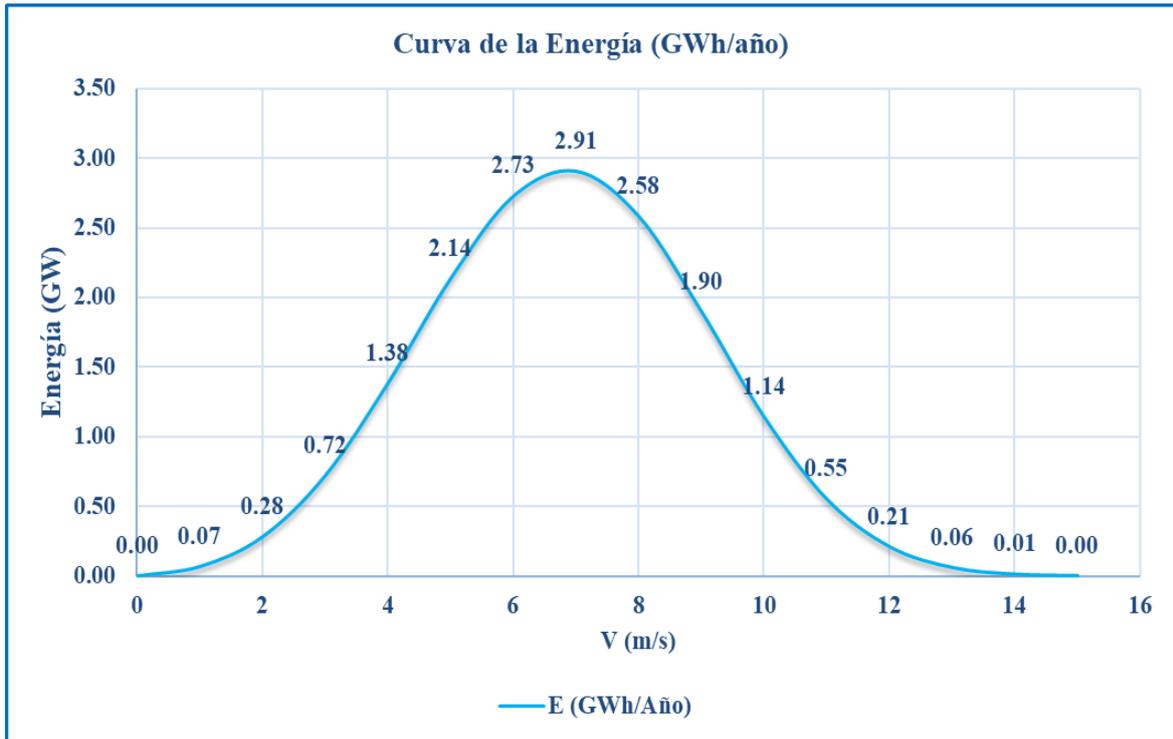


Gráfico N° 53: Curva de la energía producida por el aerogenerador. (Elaboración propia).

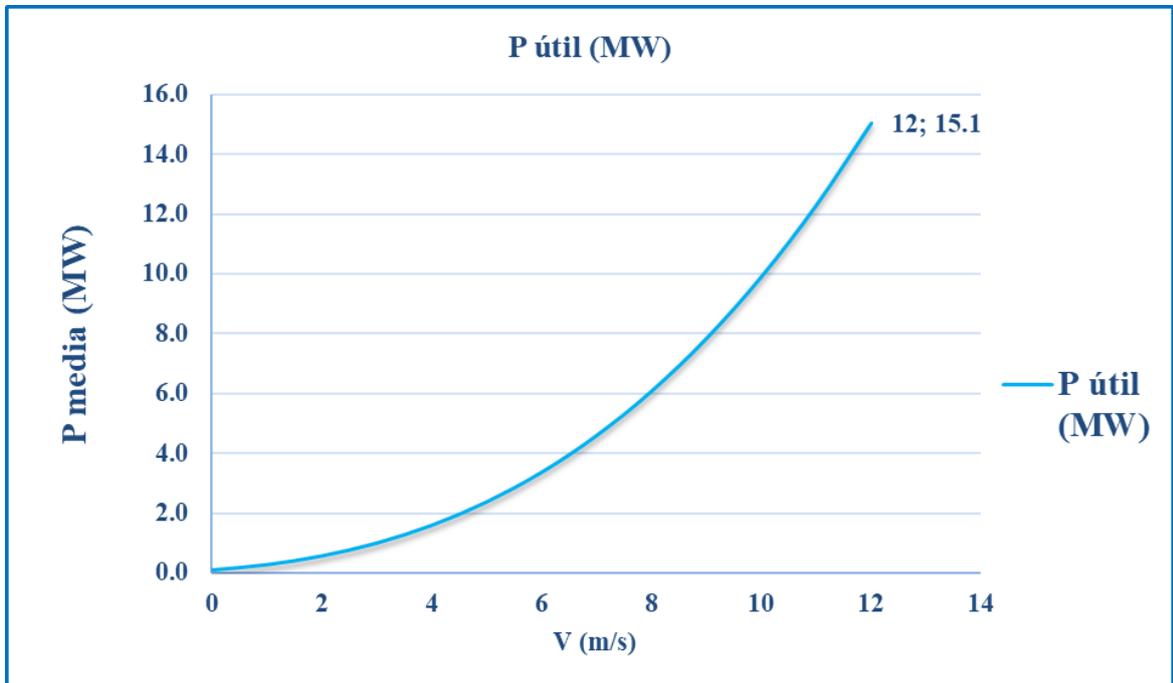


Gráfico N° 54: Curva de la potencia útil. (Elaboración propia).

3. Proyección de vida útil.

En este Ítem se desarrolla la proyección del parque híbrido a 20 años de duración, con la finalidad de promover el desarrollo energético.

- En el ítem 3.1 se detalla la instalación de los 30 paneles: 10 und en paralelo por 03 und en serie.
- En el ítem 3.2 se detalla la instalación de 06 aerogeneradores de 1.MW + 4und de 3MW de potencia total.

3.1. Vida Útil de la energía Fv.

ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO PROYECTADO A 20 AÑOS DE VIDA ÚTIL												
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía (kWh/día):	1693.42	1469.25	1363.52	1326.26	1386.59	1741.56	1657.10	1952.05	2071.43	1225.71	1459.02	1459.02
Pronostico:Consumo de Energía (kWh/día)	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36	127.36
ICE proy. (kWh/día)	13.30	11.54	10.71	10.41	10.89	13.67	13.01	15.33	16.26	9.62	11.46	11.46
Máxima demanda en base al factor de carga anual (MD)-MW/año	769.4	667.5	619.5	602.6	630.0	791.2	752.9	886.9	941.1	556.9	662.9	662.9

Tabla N° 54: Proyección de vida útil. (Elaboración propia).

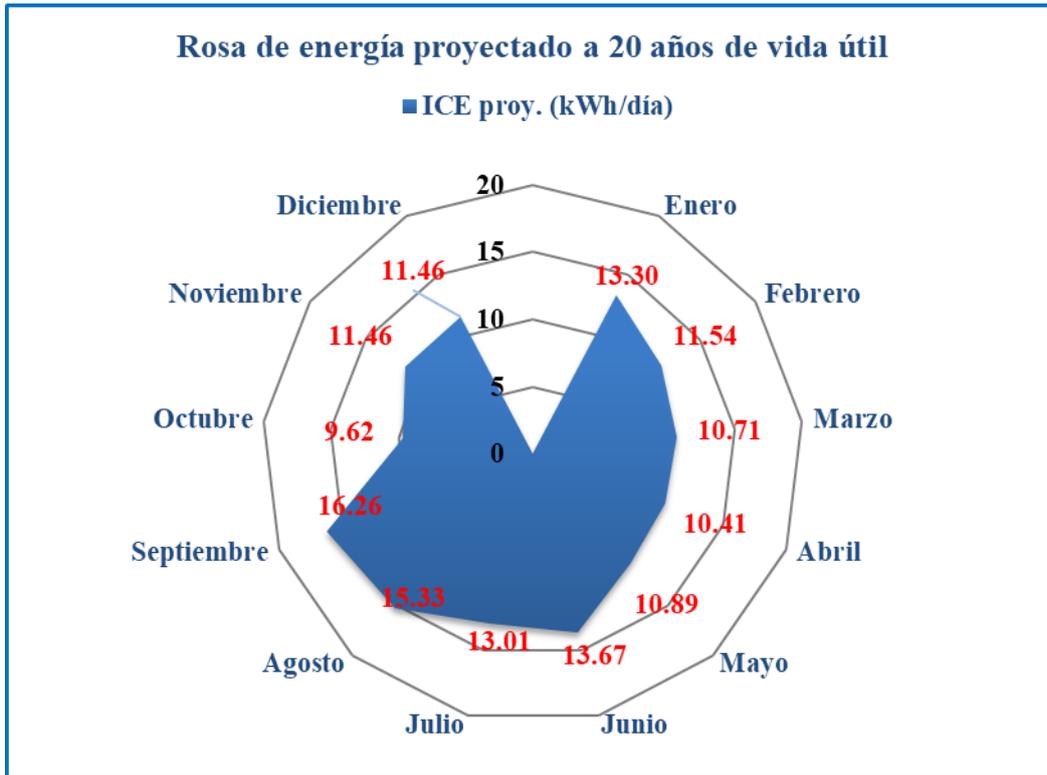


Gráfico N° 55: ICE proy. de vida útil. (Elaboración propia).

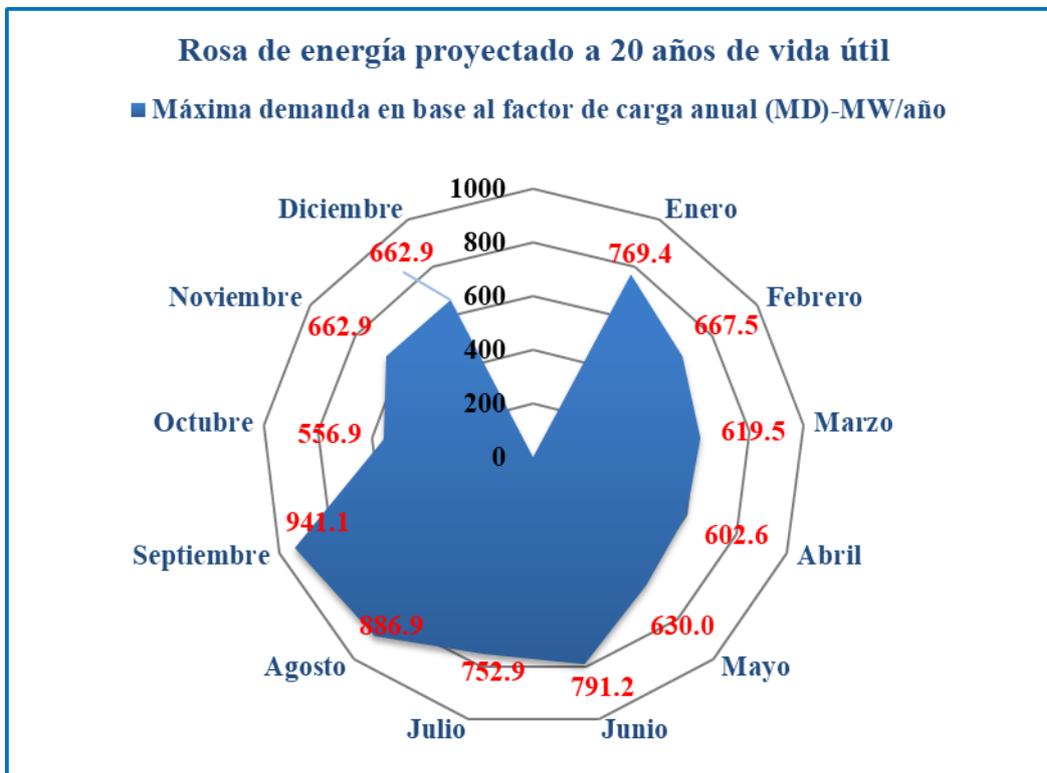


Gráfico N° 56: Máxima demanda de vida útil. (Elaboración propia).

3.2. Vida útil del parque eólico.

E producida por parque eólico					ICE proyectado a 20 años de vida útil del parque eólico		
V (m/s)	E (MWh/día)	%	Consumo de E= (MWh/día)	ICE por energía producida (MWh/día)	Consumo proy. (MWh/día)	ICE proy. (MWh/día)	Máxima Demanda (MD-GWh/año)
17.2	0.0	0%	0.58	0.00	1.53	0.00	0.00
18.0	0.2	0%	0.58	0.32	1.53	0.12	0.06
18.7	0.8	2%	0.58	1.34	1.53	0.50	0.23
19.4	2.0	4%	0.58	3.43	1.53	1.29	0.60
20.0	3.8	8%	0.58	6.58	1.53	2.48	1.15
20.6	5.9	13%	0.58	10.16	1.53	3.83	1.77
21.1	7.5	16%	0.58	12.97	1.53	4.89	2.26
21.6	8.0	17%	0.58	13.82	1.53	5.21	2.41
22.1	7.1	15%	0.58	12.28	1.53	4.63	2.14
22.6	5.2	11%	0.58	9.03	1.53	3.40	1.58
23.0	3.1	7%	0.58	5.42	1.53	2.04	0.95
23.5	1.5	3%	0.58	2.62	1.53	0.99	0.46
23.9	0.6	1%	0.58	1.00	1.53	0.38	0.17
24.3	0.2	0%	0.58	0.29	1.53	0.11	0.05

Tabla N° 55: Vida útil- ICE. (Elaboración propia)

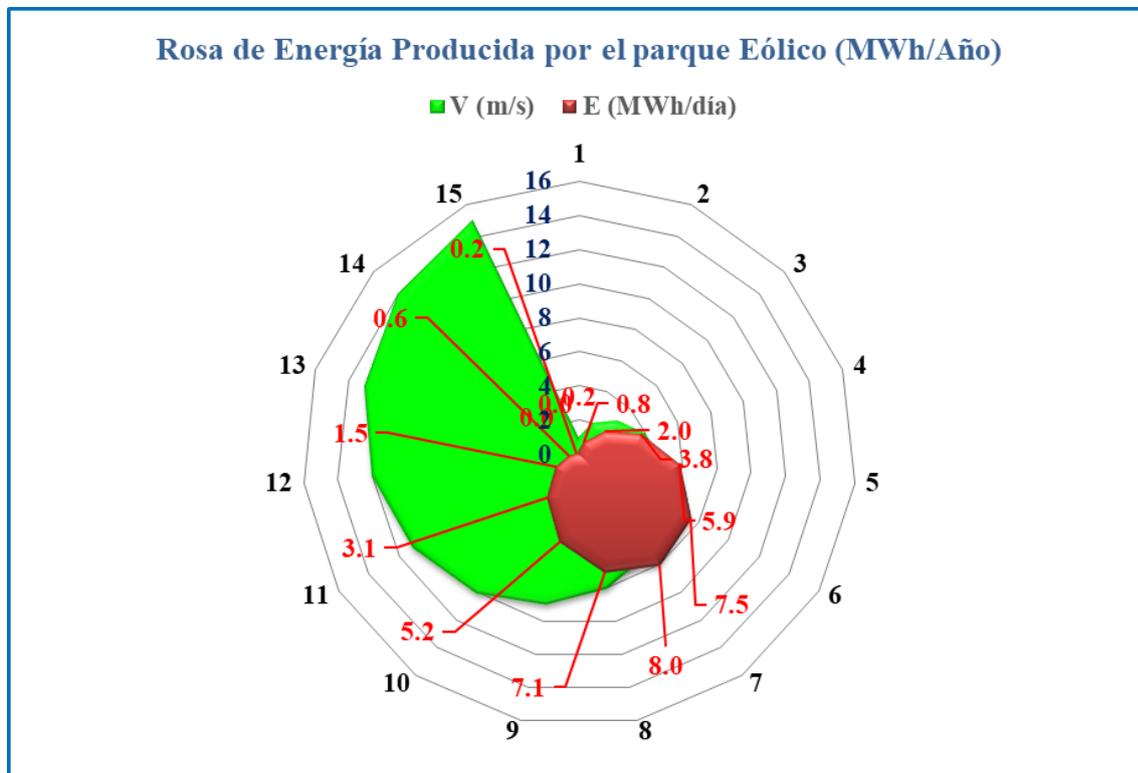


Gráfico N° 57: Rosa de energía. (Elaboración propia)

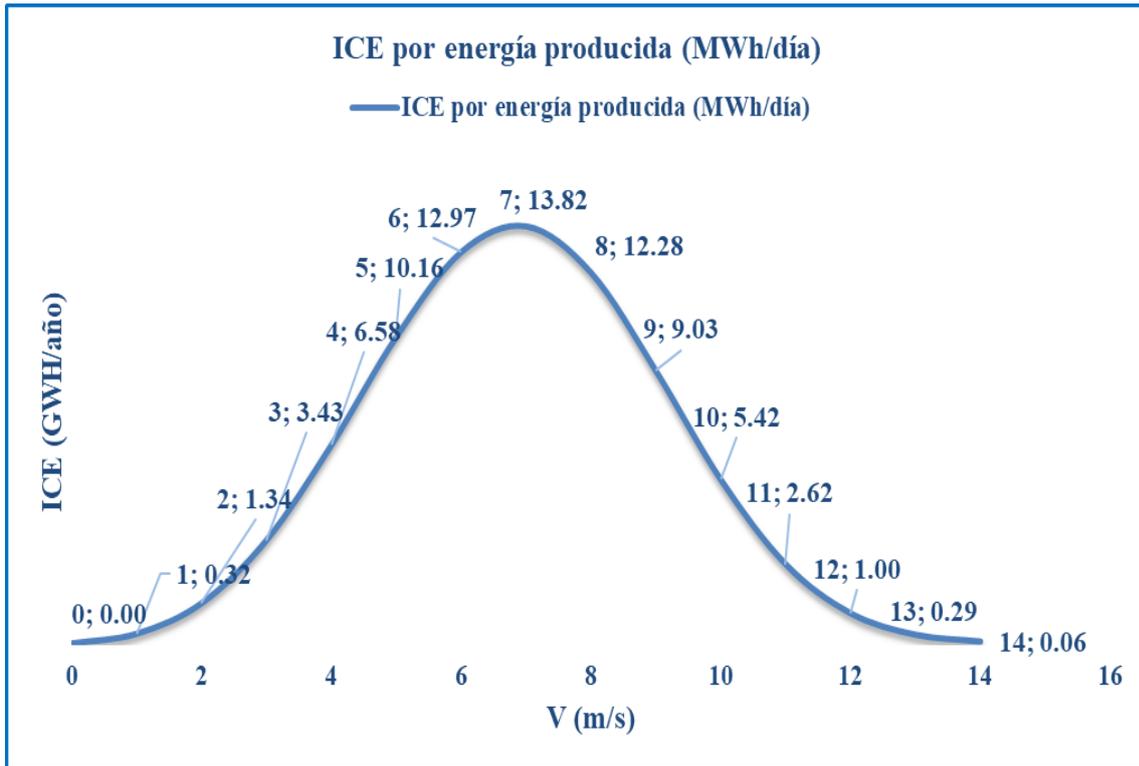


Gráfico N° 58: ICE generado. (Elaboración propia)

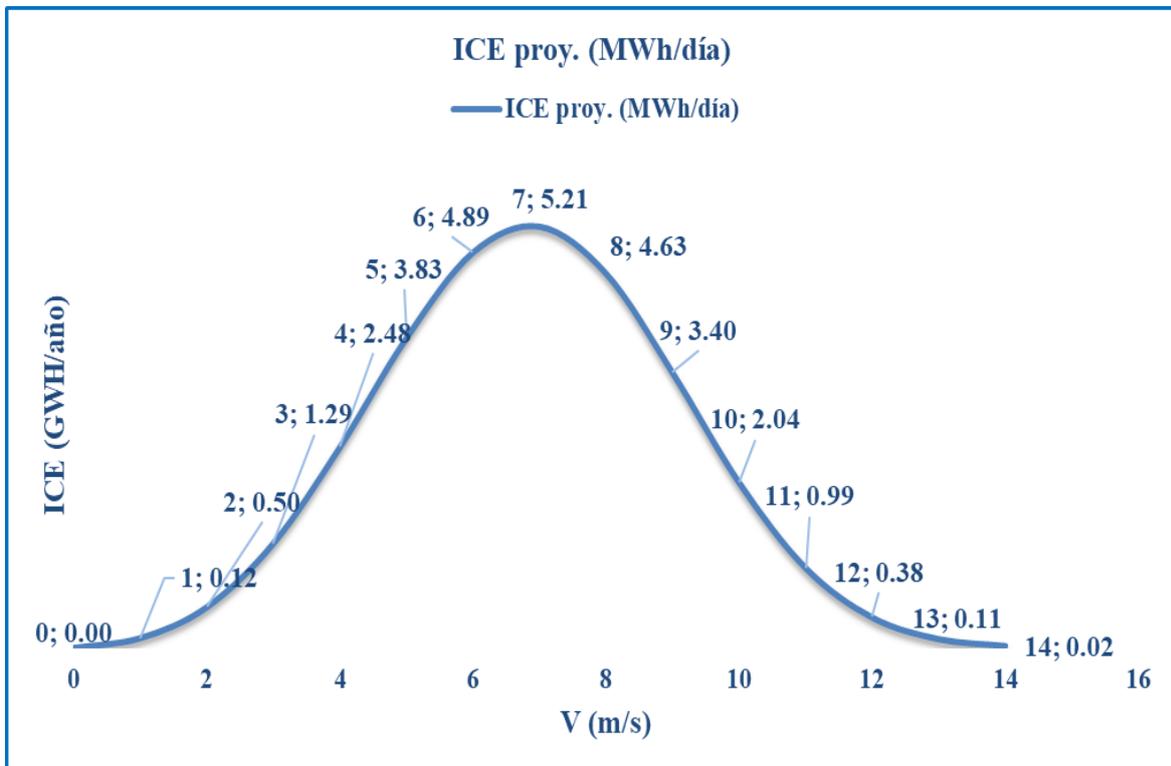


Gráfico N° 59: ICE Proyectado. (Elaboración propia)

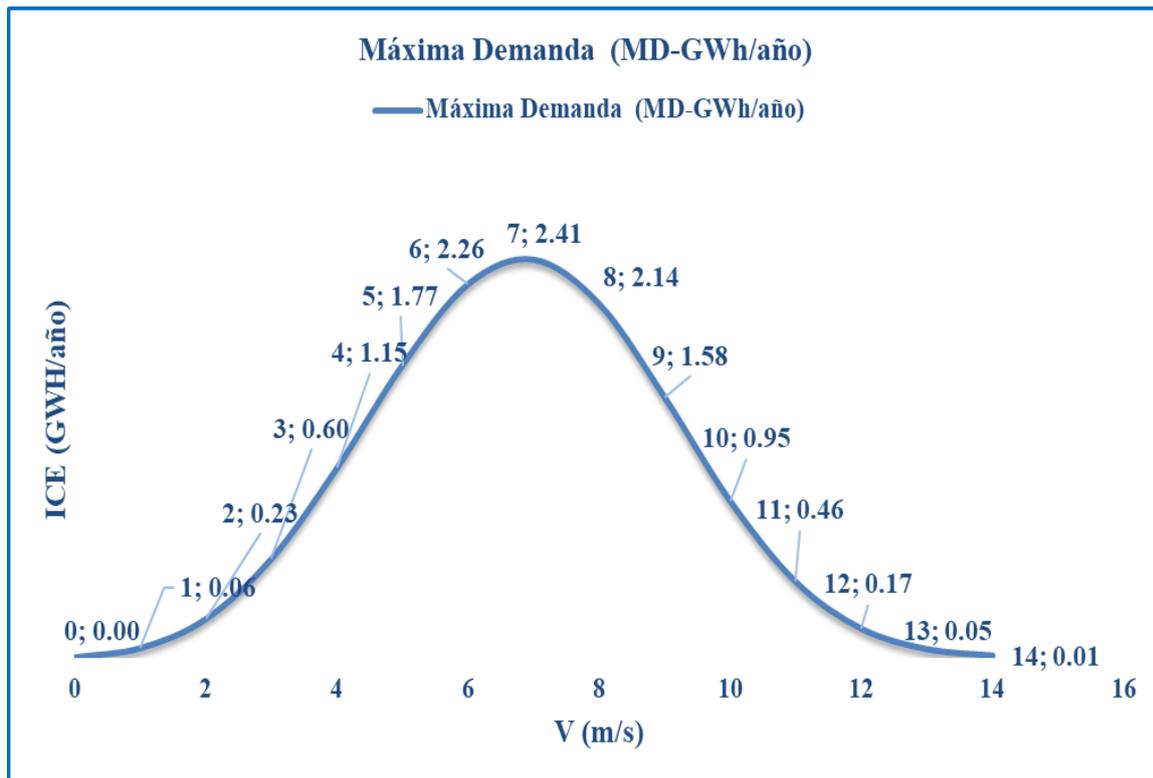


Gráfico N° 60: Máx. demanda (Elaboración propia)

4. Especificaciones del dimensionado.

Especificaciones del aerogenerador de 80m de diámetro.			
Curva de Potencia Suministrada	P_t	5.2	GWh/Año
Potencia del sistema	P_n	1.5	MW
Potencia Nominal del Aerogenerador.	P_{ng}	1.6	MW
Altura de la torre	H	80	M
Diámetro del rotor	D	80	M
Longitud de las palas	L	37	M
Densidad del Aire	ρ	1.23	kg/m ³
Voltaje nominal	U_n	1	kV
Velocidad nominal	V_n	21.6	m/s
Velocidad de arranque	V_a	5.0	m/s
Velocidad de desconexión	V_d	25.1	m/s
Velocidad de rotación	N	24	r.p.m
Número de Aerogeneradores	n°	10	
Potencia nominal del parque eólico	$P_{nparque}$	15.6	MW/Año
Energía total del parque	$E_{tparque}$	51.7	GWh/Año

Tabla N° 56: Especificaciones (Elaboración propia)

5. Especificaciones técnicas del aerogenerador de fábrica.

Especificaciones Técnicas del aerogenerador modelo V1800 (Vestas)-Fabricante			
Parámetros de operación	Especificaciones	Convertidor	Especificaciones
Potencia nominal	1.5MW	Tipo	Convertidor IGBT
Velocidad de encendido	3 m/s	Clase de protección	IP54
Velocidad de Referencia del Viento	11.8 m/s	Rango del factor de potencia de salida	de -0.95 a +0.95
Velocidad de Parada	25 m/s (10 min.)	Voltaje nominal de salida	620/690 V
Resistencia a velocidad de viento (3s)	70 m/s IEC-IA	Corriente nominal de salida	1397/1255 A
Tiempo de Vida Útil	≥ 20 años	Sistema de Orientación	Especificaciones
Temperatura ambiente de operación	-30°C a+40°C	Concepto de diseño	Mando por Motor Eléctrico
Temperatura ambiente de standby	-40°C a+50°C	Movimiento nominal	0.5°/s
Rotor	Especificaciones	Sistema de Orientación	Freno 10 de Retención
Diámetro	82.63 m	Sistema de Freno	Especificaciones
Área de Barrido	5363 m ²	Frenado Aerodinámico	Triple hélice de paso
Rango de velocidad	10.2 19 rpm	Freno Mecánico	Sistema Hidráulico
Número de palas	3	Sistema de Control	Especificaciones
Tipo de Pala	LM34P o Similar	Tipo	PLC
Generador	Especificaciones	Protección contra rayos	Especificaciones
Tipo	Síncrono Multipolar, generador con imán excitado permanente	Diseño Estándar	IEC1024-I, cumple estándar GL
Potencia nominal	1.8 MW	Resistencia a Tierra	≤4Ω
Diseño	Accionamiento Directo	Torre	Especificaciones
Corriente Nominal	660 A	Tipo	Metálica troncocónica
Velocidad de Rotación	19 rpm	Altura de Buje	70 - 80m
Clase de Protección	F/IP23	Dimensiones. y peso	
Densidad de potencia	3.58m/W	Diámetro	4 m
Dimensiones de la góndola	6x3.6x3m ³	Peso de la torre	106-107 Tn
Peso	60 Tn	Peso del Rotor	32 Tn
Masa total	229-239 Tn		

Tabla N° 57: Especificaciones (Catálogo del fabricante).

6. Ubicación del parque eólico solar.



Gráfico N° 61: Ubicación del parque eólico solar (Google maps).

XIII. Metrados y Costos unitarios.

XIV. Presupuesto total.

XV. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN).

XVI. Cálculo de la tasa de retorno (TIR).

XVII. Costo del ciclo de mantenimiento.

XVIII. Planos.

Se encuentran anexados al final impresas de hojas de cálculo en Excel.

XIX. Bibliografía y linografía:

- http://oa.upm.es/44195/1/TFG_JAVIER_DE_LA_PE%C3%91A_CARRASCOSA.pdf.
- http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1032/HUALPA_HUAMANI_MAIMER_SISTEMAS_HIBRIDOS_EOLICO_SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/2823>.
- <https://www.edx.org/course/solar-energy-delftx-et3034x-0>.
- <https://www.edx.org/micromasters/solar-energy-engineering>.
- <https://www.senamhi.gob.pe/>.
- <https://www.inei.gob.pe>.
- José Antonio Carta Gonzales, Roque Calero Pérez (Universidad de las Palmas de la Gran Canaria (ULPGC-2016), Antonio Colmenar Santos, Manuel Alonso Castro Gil (Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)- Madrid-2016. (Centrales de energía solar).
- Atlas Eólico Solar- Perú 2016.
- República del Perú; Manual de Energía Renovable Eólica Edición 2002/ Nueva versión 2010.
- <https://concepto.de/energia-eolica/#ixzz5gu3RjFLZ> 2016 (Libro virtual).
- Potencial Eólico en el Perú (Atlas eólico - OSINERGMIN-2016).
- <https://deltavolt.pe/energia-renovable/eolica>.