

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

*ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA*



**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN  
MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-  
EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015”**

TESIS

**PRESENTADO POR:**

**BERNABE CHAGUA ISIDRO  
CÉSAR ALVARO VALDIVIA QUIRÓZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME – PUNO, 2015”

TESIS PRESENTADA POR:  
BERNABE CHAGUA ISIDRO  
CÉSAR ALVARO VALDIVIA QUIRÓZ



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE**

:   
\_\_\_\_\_

**Mg. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA**

**PRIMER MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_

**ING. LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ**

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
\_\_\_\_\_

**ING. JHIMMY ALBERTH QUISOCALA HERRERA**

**DIRECTOR DE TESIS**

:   
\_\_\_\_\_

**M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA**

ÁREA : ENERGÍAS RENOVABLES  
TEMA : ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA

PUNO – PERÚ  
2017

## AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar nuestros pasos para cumplir una de nuestras metas y permitirnos vivir para seguir adelante en el camino hacia el éxito, así también por habernos dado el regalo más grande en la vida que es la familia.

A nuestros padres y hermanos por ser unas personas únicas en nuestras vidas, por tener la paciencia de enseñarnos con amor y aconsejarnos cada día de nuestras vidas siempre con frases positivas hacia el futuro.

Bernabe Chagua & César Valdivia

## DEDICATORIA

A mi Director de tesis M.Sc. José Manuel Ramos Cutipa por su apoyo y colaboración en la realización de nuestro proyecto de investigación y así mismo por las enseñanzas brindadas.

A nuestros jurados de tesis por la disposición de tiempo para la aprobación de mi proyecto desde el inicio hasta la finalización del mismo.

A nuestra alma mater, la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad Nacional del Altiplano por habernos brindado los conocimientos y valores para nuestra vida profesional.

Bernabe Chagua & César Valdivia

## ÍNDICE

RESUMEN .....	20
ABSTRACT.....	21
INTRODUCCIÓN .....	22
CAPÍTULO I.....	24
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	24
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	24
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	25
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
1.3.1 Objetivo general .....	25
1.3.2 Objetivos específicos .....	26
CAPÍTULO II.....	27
MARCO TEÓRICO .....	27
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.1 Antecedente 1. ....	27
2.1.2 Antecedente 2. ....	28
2.1.3 Antecedente 3. ....	30
2.2 SUSTENTO TEÓRICO .....	32
2.2.1 Energía solar.....	32
2.2.1.1 Energía solar fotovoltaica.....	32
2.2.1.2 El sol como recurso natural y renovable. ....	33
2.2.1.3 Constante solar. ....	35
2.2.1.4 Coordenadas y movimientos de la tierra. ....	37

2.2.1.5	Variaciones de la radiación solar.....	38
2.2.1.6	Horas de pico solar.....	40
2.2.1.7	Principios de conversión fotovoltaica.....	41
2.2.1.8	Declinación.....	41
2.2.1.9	La posición y sistema de seguidores.....	42
2.2.1.10	Los tipos de seguidores y sus beneficios.....	44
2.2.1.11	Ganancia en la captación de radiación solar.....	45
2.2.1.12	Fundamentos de la tecnología fotovoltaica.....	46
2.2.1.13	Principios de conversión fotovoltaica.....	46
2.2.1.14	La célula fotovoltaica y su estructura.....	47
2.2.1.15	Células de silicio cristalino.....	49
2.2.1.16	Componentes de un sistema solar fotovoltaica de generación de energía.....	52
2.2.1.17	Baterías.....	54
2.2.1.18	Reguladores de carga.....	54
2.2.1.19	Convertidores e inversores.....	57
2.2.1.20	Configuración y arreglos fotovoltaicos.....	58
2.2.1.21	El potencial solar en el futuro.....	58
2.2.2	Energía eólica.....	59
2.2.2.1	Reseña histórica sobre la energía eólica.....	59
2.2.2.2	La energía eólica en el Perú.....	63
2.2.2.3	Evolución de información eólica en Perú.....	64
2.2.2.4	El viento como recurso natural y renovable.....	65
2.2.2.5	Formación de vientos globales.....	66
2.2.2.6	Vientos locales.....	67
2.2.2.7	Vientos kafábicos.....	67

2.2.2.8	El efecto de la brisa del mar. ....	68
2.2.2.9	Mecánica del viento. ....	69
2.2.2.10	Efecto de la geografía. ....	70
2.2.2.11	Efectos orográficos y de estelas. ....	71
2.2.2.12	Variación del viento con la altura. ....	73
2.2.2.13	Medición de la velocidad y dirección del viento. ....	74
2.2.2.14	Indicadores vegetativos. ....	74
2.2.2.15	Métodos de medición de la velocidad del viento. ....	75
2.2.2.16	Ley de Betz. ....	77
2.2.2.17	Componentes de un sistema de generación eólica. ....	81
2.2.2.18	Sistemas de protección y control. ....	90
2.2.2.19	El potencial eólico futuro. ....	91
2.2.3	Energía híbrido solar-eólica. ....	93
2.2.3.1	Sistema híbrido. ....	93
2.2.3.2	Componentes de un sistema híbrido solar-eólico. ....	95
2.2.3.3	El potencial energético de un sistema híbrido solar-eólico. ....	96
2.2.3.4	La eficiencia del módulo híbrido. ....	96
2.3	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	97
2.3.1	Hipótesis general. ....	97
2.3.2	Hipótesis específicas. ....	97
2.4	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	97
CAPÍTULO III.....		98
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN .....		98
3.1	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	98

3.1.1	Tipo de investigación.....	98
3.1.2	Diseño de investigación.....	98
3.1.3	Población y muestra de investigación. ....	98
3.1.4	Ubicación y descripción de la población. ....	99
3.2	MATERIAL EXPERIMENTAL.....	101
3.2.1	Cálculos para la selección de componentes del módulo.....	101
3.2.1.1	Cálculo de la demanda de consumo. ....	101
3.2.1.2	Cálculos para el sistema fotovoltaico. ....	103
3.2.1.3	Cálculos para el sistema eólico.....	111
3.2.1.4	Cálculos del Controlador híbrido solar-eólico.....	116
3.2.1.5	Cálculo de capacidad del acumulador del módulo híbrido eólico-solar.....	117
3.2.1.6	Cálculo de selección del inversor del módulo híbrido eólico – solar.....	119
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN .....	121
3.3.1	Técnicas.....	121
3.3.2	Instrumentos. ....	121
3.4	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	124
3.4.1	Recolección de datos. ....	124
3.4.2	Procesamiento de la información. ....	126
3.4.3	Presentación y publicación de resultados. ....	126
3.5	PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....	126
3.6	PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS .....	130
3.7	DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	130
	CAPÍTULO IV .....	131

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 131	
4.1	DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA EFICIENCIA DEL MÓDULO..... 132
4.2	DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EFICIENCIA DEL MÓDULO. .... 142
4.3	ANÁLISIS DEL APORTE DE ENERGÍA POR CADA FUENTE. .... 148
4.4	PRUEBA DE HIPÓTESIS. .... 155
4.5	VELOCIDAD DEL VIENTO Y RADIACIÓN SOLAR EN OTRAS FUENTES ..... 167
4.6	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CON LOS ANTECEDENTES ..... 175
CONCLUSIONES ..... 177	
SUGERENCIAS ..... 179	
BIBLIOGRAFÍA ..... 180	
ANEXOS ..... 183	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fusión nuclear del hidrógeno en el sol.....	34
Figura 2: El meridiano de Greenwich.....	37
Figura 3: Variación de la radiación solar.....	39
Figura 4: Rotación de la tierra en diferentes estaciones. ....	39
Figura 5: Rotación de la tierra en invierno y verano. ....	43
Figura 6: Sistema con seguidor de 1 eje y 2 ejes.....	44
Figura 7: Ganancia en la captación de radiación con seguidor.....	45
Figura 8: Principios de conversión fotovoltaica. ....	47
Figura 9: El proceso de fabricación de la célula fotovoltaica.....	48
Figura 10: Estructura del silicio monocristalino.....	49
Figura 11: Estructura de la celda fotovoltaica. ....	50
Figura 12: Estructura del panel solar.....	53
Figura 13: Regulador de carga.....	56
Figura 14: El viento como recurso natural y renovable.....	66
Figura 15: Formación del viento.....	67
Figura 16: Efecto de la brisa del mar.....	68
Figura 17: Efecto de la geografía.....	70
Figura 18: Influencia de obstáculos.....	71
Figura 19: Efecto orográfico.....	72
Figura 20: Variación del viento con la altura. ....	73
Figura 21: Indicadores vegetativos.....	75
Figura 22: Anemómetro de cazoletas.....	76
Figura 23: Flujo a través de un disco.....	78
Figura 24 : Flujo a través del rotor de un aerogenerador.....	79

Figura 25: Límite de Betz. ....	81
Figura 26: Componentes de la generación eólica. ....	81
Figura 27: Buje de una turbina eólica. ....	84
Figura 28: Regulación por cambio de paso del alabe. ....	87
Figura 29: Aerogenerador. ....	88
Figura 30: Sistemas de orientación. ....	89
Figura 31: Torres y su forma de instalación. ....	89
Figura 32: Sistema híbrido. ....	94
Figura 33: Componentes de un sistema híbrido solar-eólico. ....	95
Figura 34: Fotografía panorámica de Salcedo. ....	99
Figura 35: Fotografía panorámica de Ventilla (Alto Puno). ....	99
Figura 36: Fotografía panorámica de Yanamayo (Antenas). ....	100
Figura 37: Fotografía Panorámica de Llavini (EPIME) ....	100
Figura 38: Irradiación solar promedio anual en el Perú. ....	105
Figura 39: Distribución de fuerzas en la soporte del aerogenerador. ....	114
Figura 40: Fotografía de campo utilizando los instrumentos. ....	121
Figura 41: Solarímetro PCE-SPM 1. ....	123
Figura 42: Promedio de la velocidad del viento. ....	125
Figura 43: Medición de la radiación solar promedio. ....	125
Figura 44: Montaje de Paneles Solares. ....	127
Figura 45: Conexionado de Baterías. ....	128
Figura 46: Conexionado del controlador híbrido. ....	129
Figura 47: Instalación Completa del Módulo Híbrido. ....	129
Figura 48: Comportamiento de la velocidad del viento en Salcedo. ....	133
Figura 49: Comportamiento de la radiación solar en Salcedo. ....	133

Figura 50: Comportamiento de la eficiencia en Salcedo .....	134
Figura 51: Comportamiento de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno). .....	135
Figura 52: Comportamiento de la radiación solar en Ventilla (Alto Puno). .....	135
Figura 53: Comportamiento de la eficiencia en Ventilla (Alto Puno). .....	136
Figura 54: Comportamiento de la velocidad del viento en Yanamayo (antenas). .....	137
Figura 55: Comportamiento de la radiación solar en Yanamayo (antenas). .....	137
Figura 56: Comportamiento de la eficiencia en Yanamayo (antenas). .....	138
Figura 57: Comportamiento de la velocidad del viento en Llavini (EPIME). .....	139
Figura 58: Comportamiento de la radiación solar en Llavini (EPIME). .....	139
Figura 59: Comportamiento de la eficiencia en Llavini (EPIME). .....	140
Figura 60: Mediciones de la velocidad del viento. ....	143
Figura 61: Mediciones de la radiación solar. ....	144
Figura 62: Mediciones de la potencia generada por el módulo. ....	145
Figura 63: Eficiencia del módulo híbrido solar-eólico. ....	146
Figura 64: Eficiencia promedio del módulo híbrido. ....	148
Figura 65: Curva de potencia del aerogenerador para Puno. ....	150
Figura 66: Potencia Generada del módulo. ....	151
Figura 67: Potencia generada del módulo por tipo de energía. ....	152
Figura 68: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Salcedo. ....	153
Figura 69: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Ventilla (Alto Puno)	153
Figura 70: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Yanamayo (Antenas)	
.....	154
Figura 71: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Llavini (EPIME). ...	154
Figura 72: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo. ....	157

Figura 73: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).....	158
Figura 74: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).....	159
Figura 75: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo en Llavini (EPIME). ....	160
Figura 76: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo. ....	161
Figura 77: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).....	162
Figura 78: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).....	162
Figura 79: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Llavini (EPIME). ....	163
Figura 80: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo. ....	164
Figura 81: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).....	165
Figura 82: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).....	165
Figura 83: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Llavini (EPIME).....	166
Figura 84: Análisis de regresión lineal, variable independiente ubicación geográfica (Altitud) y variable dependiente eficiencia del módulo.....	167
Figura 85: Velocidad media anual del viento en Puno. ....	169

Figura 86: Densidad de potencia media anual del viento en Puno. ....	169
Figura 87: Velocidad media del viento en Julio en Puno. ....	170
Figura 88: Velocidad media del viento en Agosto en Puno. ....	170
Figura 89: Esquema de selección de emplazamientos de medida para validación según Vortex. ....	172
Figura 90: Zonas de medida. (Atlas Eólico a 100 m, resolución 1 km). ....	173
Figura 91: Página web de la Nasa. ....	174
Figura 92: Energía solar incidente diaria en Puno. ....	175

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variación de la radiación incidente con la altitud. ....	36
Tabla 2: Influencia de las condiciones climatológicas en la radiación incidente. ....	36
Tabla 3: Rendimiento de diferentes células fotovoltaicas. ....	52
Tabla 4: Potencial eólico en el Perú.....	92
Tabla 5: Operacionalización de variables. ....	97
Tabla 6: Población y muestra de investigación. ....	98
Tabla 7: Cálculo de la demanda de consumo. ....	102
Tabla 8: Inclinación del panel fotovoltaico. ....	103
Tabla 9: Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.....	108
Tabla 10: Especificaciones técnicas del aerogenerador de 400 Watts.....	113
Tabla 11: Datos para cálculo de soporte del aerogenerador. ....	114
Tabla 12: Especificaciones del controlador híbrido. ....	117
Tabla 13: Potencia y la utilización de la tensión para las baterías.....	118
Tabla 14: Especificaciones Técnicas del Inversor de 24V/350Watts.....	120
Tabla 15: Especificaciones técnicas del Solarímetro PCE-SPM 1. ....	122
Tabla 16: Especificaciones Técnicas del Anemómetro Digital. ....	124
Tabla 17: Promedio de los datos de campo. ....	131
Tabla 18: Cálculo de la eficiencia del módulo híbrido. ....	147
Tabla 19: Energía solar disponible en el medio ambiente. ....	148
Tabla 20: Potencia eólica disponible en el medio ambiente. ....	149
Tabla 21: Curva de potencia del aerogenerador para Puno. ....	149
Tabla 22: Datos de campo y cálculo de la eficiencia del módulo híbrido. ....	150
Tabla 23: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Salcedo. ....	155



Tabla 24: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Ventilla (Alto Puno).  
..... 155

Tabla 25: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Yanamayo (antenas).  
..... 156

Tabla 26: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Llavini (EPIME)... 156

Tabla 27: Incidencia de insolación promedio mensual en un superficie horizontal..... 174

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo N° 01: Datos medidos en campo, Salcedo. ....	184
Anexo N° 02: Datos medidos en campo, Ventilla (Alto Puno). ....	186
Anexo N° 03: Datos medidos en campo, Yanamayo (antenas). ....	188
Anexo N° 04: Datos medidos en campo, Llavini (EPIME). ....	190
Anexo N° 05: Guías de laboratorio. ....	192
Anexo N° 06: Manual de usuario del aerogenerador. ....	201
Anexo N° 07: Especificaciones técnicas de la batería. ....	219
Anexo N° 08: Especificaciones técnicas de los paneles solares. ....	221
Anexo N° 09: Atlas eólico y solar del Perú. ....	222

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%	Porcentaje.
°C	Grados centígrados.
ASTM	American Society of Testing Materials.
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
EPIME	Escuela profesinal de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
GTZ	Cooperación Técnica Alemana.
GW.h	Gigawatts hora.
ITINTEC	Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas.
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos por metro cúbico.
Km.	Kilometros.
Km/s	Kilometros por segundo.
Kw	Kilowatts.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
m/s	Metros por segundo.
MEM	Ministerio de energía y minas.
MW	Megawatts.
N	Norte.
R <sup>2</sup>	Coefficiente de correlación de Pearson.

S Sur.

SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

UTM Universal Transverse Mercator.

V Voltios.

W/m<sup>2</sup> Watts por metro cuadrado.

Wh/día Watts hora por día.

Wp Vatios pico.

WWEA Asociación Mundial de Energía Eólica.

$\delta$  Declinación.

$\eta$  Eficiencia.

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo estudiar la eficiencia de un módulo híbrido solar-eólico, teniendo en cuenta la variación de la velocidad del viento, la radiación solar y la ubicación geográfica (altitud) en nuestro departamento de Puno, para lo cual se realizó la búsqueda de información referente a la energía solar y eólica, de igual manera se analizó las sitios para poder realizar las pruebas, los sectores escogidos fueron Salcedo, Ventilla (Alto Puno), Yanamayo (antenas) y Llavini (EPIME), la metodología utilizada fue la toma de datos en campo, para lo cual se utilizó equipos de medición como anemómetro digital marca KAINDL, solarímetro digital PCE-SPM 1 y un multímetro digital. Luego se realizó el montaje del módulo híbrido solar-eólico de potencia nominal igual a 640 Watts, utilizando los instrumentos de medición y el módulo se realizaron las pruebas de campo, obteniendo los siguientes datos, velocidad del viento promedio de 5.10 m/s, radiación solar promedio de 1082.68 W/m<sup>2</sup>, potencia generada promedio de 258.55 Watts, utilizando estos datos se hizo el tratamiento estadístico, haciendo gráficos, cálculos de la eficiencia y haciendo la correlación de variables, llegando a los siguientes resultados. Teniendo los siguientes valores de coeficiente de Pearson, 0.6813 lo cual indica que la velocidad del viento tiene una correlación positiva considerable hacia la eficiencia del módulo esto para el sector de Ventilla (Alto Puno), y 0.864 lo cual indica que la radiación solar tiene una correlación positiva muy fuerte hacia la eficiencia del módulo para el sector de Salcedo, 0.5037 lo cual indica que la ubicación geográfica tiene una correlación positiva media hacia la eficiencia del módulo. Con lo cual se concluye que la velocidad del viento, la radiación solar y la ubicación geográfica influyen en la eficiencia del módulo.

**Palabras Claves:** Híbrido, eficiencia, Coeficiente de correlación, metodología.

## ABSTRACT

The present thesis project aims to study the efficiency of a hybrid solar-wind module, taking into account the variation of wind speed, solar radiation and geographic location (altitude) in our department of Puno, for which (Salerno, Ventilla (Alto Puno), Yanamayo (antennas) and Llavini (EPIME)), the methodology used was the search for information on solar and wind energy, Used was data collection in the field, using measurement equipment such as KAINDL digital anemometer, PCE-SPM 1 digital solarimeter and a digital multimeter. Then the assembly of the hybrid solar-wind module of nominal power equal to 640 Watts, used the instruments of measurement and the module was realized the field tests, obtaining the following data, average wind speed of 5.10 m / s, radiation Solar average of 1082.68 W / m<sup>2</sup>, generated average power of 258.55 Watts, using this data was made the statistical treatment, making graphs, calculations of efficiency and doing the correlation of variables, reaching the following results. Having the following Pearson coefficient values, 0.6813 which indicates that the wind velocity has a significant positive correlation towards the module efficiency for the Ventilla (Alto Puno) sector, and 0.864 which indicates that solar radiation has a Very strong positive correlation towards the module efficiency for the Salcedo sector, 0.5037 which indicates that the geographical location has a mean positive correlation towards the module efficiency. It concludes that wind speed, solar radiation and geographic location influence the efficiency of the module.

**Keywords:** Hybrid, efficiency, correlation coefficient, methodology.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis tiene como título: “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME – PUNO, 2015” el cual consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I comprende el planteamiento, descripción, justificación y formulación del problema que enfoca la necesidad de evaluar la eficiencia de un módulo híbrido solar-eólico en nuestro departamento de Puno, analizando la situación actual de nuestra región en cuanto a proyectos de beneficio social por parte del Ministerio de energía y minas u otras entidades, para el desarrollo con energías renovables.

Capítulo II comprende el marco conceptual del proyecto, primeramente hace una referencia de los antecedentes de investigación desarrolladas en nuestra escuela profesional, tomando para 3 proyectos de investigación para hacer discusión posterior con los resultados obtenidos de esta investigación, también hace referencia histórica de las energías utilizadas en esta investigación, tomando definiciones, el sol como recurso natural y renovable, propiedades del movimiento de la tierra, variación de la radiación solar, sus principios, la posición y sistema de seguidores solares, tipos de paneles solares, su fabricación y componentes de un sistema fotovoltaico. De igual manera de la energía eólica, formación de vientos, el efecto de la geografía con respecto a la velocidad del viento, mecánica del viento, equipos de medición, estimación del recurso eólico, la ley de Betz, el potencial eólico futuro y los componentes de un sistema eólico. También se hace una referencia del sistema híbrido solar-eólico, sus componentes y propiedades.

Capítulo III comprende el diseño metodológico de la investigación, detallando la población y muestra de la investigación, la ubicación y su descripción, el material experimental, haciendo el cálculo de la demanda, realizando los cálculos de los

componentes para el montaje del módulo, detallando las técnicas e instrumentos a utilizar, también haciendo el procedimiento para el desarrollo del experimento, el plan de tratamiento de datos y el diseño estadístico para la prueba de la hipótesis.

Capítulo IV comprende el tratamiento de datos, cálculo de la eficiencia, análisis del comportamiento de la velocidad del viento y la radiación solar, y así ver cómo influye en la eficiencia del módulo, se hace la prueba de la hipótesis utilizando la regresión lineal simple, calculando el coeficiente Pearson para analizar la correlación de variables, por otro lado se analiza la potencia que aporta cada tipo de energía en el módulo, cómo influye la ubicación geográfica del módulo, y se realiza la discusión con los resultados de los antecedentes de la investigación y con datos actuales referente a la velocidad del viento y la radiación solar.

Finalmente se dan las conclusiones con los cuales se da el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación. Asimismo se plantean sugerencias para futuras investigaciones y mejoras al módulo de generación eléctrica híbrida solar-eólica en nuestro departamento de Puno.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad existe bastante interés en el estudio de energías renovables, principalmente en la energía solar y eólica. La generación total de las unidades que forman parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional alcanzó los 3 964 GW.h en el mes de abril del 2017. De este total, las centrales hidráulicas aportaron 2 576 GW.h (14,2% mayor al mes de abril del año 2016) y las centrales térmicas, tuvieron una producción de 1 276 GW.h (20,9% menor al mes de abril 2016). El aporte de las centrales solares y eólicas fue 2,8%. Estas cifras fueron publicadas por el Ministerio de Energía y Minas, con lo cual se demuestra que el uso de ellas ha incrementado. Existe diferentes centros poblados, comunidades y caseríos aislados donde no llegan las redes de distribución de energía eléctrica, donde el MEM mediante su área de la Dirección de Electrificación Rural están encargadas de brindar energía eléctrica, pero en estas localidades las viviendas están muy dispersas y hacen que el presupuesto sea muy elevado, para dar solución a este problema se han utilizado las energías renovables. En nuestro departamento de Puno se viene instalado módulos fotovoltaicos independientes en cada vivienda en diferentes localidades con proyectos del Ministerio, se ha instalado un módulo híbrido Solar-eólico en la Institución Educativa Primaria de la localidad de Chivay en el distrito de Palca Provincia de Lampa el cual suministra con energía renovable a toda la institución, teniendo en cuenta todo estos casos es importante estudiar y conocer la eficiencia del sistema híbrido el cual es tema de nuestra tesis: “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN

ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME – PUNO, 2015”, para ello se harán pruebas en campo recolectando datos y analizándolos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Esta investigación demuestra que con los conocimientos que tenemos es posible dar alternativas tecnológicas a la solución de problemas como: aumento de utilización en energías renovables, reducción de la contaminación ambiental, reducción del calentamiento global, reducción de costos a largo plazo, implementación de sistemas híbridos en la región, reducir la destrucción de bosques mediante la tala de árboles para las represas de las centrales hidroeléctricas, etc. Los mismos que afectan el equilibrio entre el ser humano y la naturaleza, economía nacional, la calidad de vida y el desarrollo de un país.

Con la instalación del módulo de generación híbrida se busca tener una información precisa acerca de la eficiencia del sistema de generación, con esto se logrará reducir los costos de consumo y mantenimiento en los sistemas actuales utilizados en los lugares aislados de redes de distribución convencional como son: Grupos electrógenos, plantas térmicas y otros. Se logrará la utilización de energía limpia y no contaminante.

También se tendrá más conocimiento del tema con desarrollo en prácticas de laboratorio de sistema de generación híbrida solar-eólica.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo general**

Estudiar la eficiencia de manera experimental de un módulo de generación eléctrica híbrida solar-eólica, en la EPIME.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la variación de la radiación solar y velocidad del viento, en la eficiencia del módulo.
- b) Determinar la influencia de la ubicación geográfica en la eficiencia del módulo.
- c) Definir guías de laboratorio para los ensayos con la donación del módulo a la EPIME.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 Antecedente 1.

**Tesis:** “DISEÑO Y MONTAJE DE UN MODELO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO SOLAR Y EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, 2013.

**Autores:** DAVID CAHUI CAHUI - JHON WILINTHON CRUZ BALCONA

El objetivo principal fue el diseño de un módulo híbrido fotovoltaico solar y eólico para la generación de energía eléctrica, con lo cual han logrado hacer el montaje y con ello se han registrado datos de velocidad del viento y la cantidad de radiación solar, para la parte de la generación de viento han utilizado un ventilador trifásico, y así han realizado mediciones durante tres días, para la energía solar han realizado también la medición de la radiación solar en los mismos días, analizando estos parámetros han determinado una velocidad de viento máximo de 5.6 m/s lo cual genera 12,9 Voltios y una corriente de 7,05 A de ello se obtiene una potencia de 91.04 Watts en ese instante de velocidad máxima, también han determinado la cantidad de radiación, y por supuesto la tensión y corriente generada, analizando estos parámetros han llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones: (Cahui Cahui & Cruz Balcona, 2013)

- El promedio de Radiación solar es de 5210W.h/m<sup>2</sup> y la velocidad del viento es de 4.20 m/s con periodo aproximado de 13 horas por día.
- la velocidad del viento máxima que debe soportar un panel fotovoltaico en condiciones extremas es de 120 Km/h (33.33m/s), esto según el reglamento técnico de ensayos de sistemas fotovoltaicos, para las pruebas realizados la velocidad de viento estuvo en el

rango de 1-6m/s, los mismos que no afectan al panel solar. (Cahui Cahui & Cruz Balcona, 2013)

- en el departamento de Puno e uso de aerogeneradores con velocidades de arranque de 3m/s son óptimos debido a que se adaptan perfectamente ya que las velocidades varían de 2 a 6 m/s de tipo horizontal (Barlovento).
- Según los resultados obtenidos tanto de la velocidad del viento (5.6 m/s), y la radiación solar (1790 W/m<sup>2</sup>) se concluye que en el departamento de Puno Contamos con este potencial energético por lo tanto la instalación de este sistema fotovoltaico es factible. (Cahui Cahui & Cruz Balcona, 2013)

En sus Recomendaciones tenemos:

- Se recomienda la correcta orientación del panel fotovoltaico, así debe ser la inclinación correspondiente que este debe tener al plano horizontal en el lugar que se encuentre con el fin de obtener mayor captación de radiación solar durante todo el año, el panel se debe inclinar a 15° orientado al norte.
- Para una mayor eficiencia del aerogenerador se recomienda instalar a una altura mínima de 10 m sobre el nivel de la superficie terrestre dado que a mayor altura mayor es la velocidad del viento.
- Realizar el estudio de os recursos renovables como son la eólica y solar, las cuales son de gran importancia para dar el primer paso para dimensionar de manera adecuada y hacer confiable al sistema. (Cahui Cahui & Cruz Balcona, 2013)

### **2.1.2 Antecedente 2.**

**Tesis:** “ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CON ENERGÍA SOLAR PARA LAS COMUNIDADES DE VILACOLLO Y CHASQUI DEL DISTRITO DE PILCUYO, PROVINCIA DE EL COLLAO”, 2014.

**Autores:** ELMER PARI PERCCA - WILDER TEÓFILO AGUILAR CALCINA

Su objetivo principal fue Desarrollar el “Estudio Y Diseño Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable Con Energía Solar Para Las Comunidades De Vilacollo Y Chasqui Del Distrito De Pilcuyo, Provincia De El Collao”, Calcular la potencia de las bombas de agua y del sistema fotovoltaico necesarios para bombeo de agua subterráneo, calcular la capacidad de los tanques de almacenamiento y selección de las tuberías del sistema de bombeo de agua según demanda de los habitantes (Vilacollo y Chasqui). (Pari Percca & Aguilar Calcina, 2014)

Llegando a las siguientes conclusiones:

- Al hacer el estudio y diseño del sistema de abastecimiento de agua potable con energía solar para las comunidades de Vilacollo y Chasqui del distrito de Pilcuyo, Provincia de el Collao, se determinó el dimensionamiento de la potencia de la Bomba, la Potencia del conjunto motor-bomba y la potencia del sistema fotovoltaico, dimensionar el tipo de tubería de impulsión con el diámetro que requiere el sistema considerando todos los efectos, sobrecargas y sobrepresiones que está sujeto la tubería en los puntos más críticos y además determinar la capacidad de almacenamiento del reservorio considerando el tipo de energía a usar para el proyecto. (Pari Percca & Aguilar Calcina, 2014)
- Con respecto a la disposición de los paneles solares es necesaria la correcta orientación y así mismo la inclinación de los paneles que debe tener respecto al plano horizontal en el lugar en que se encuentra con el fin de obtener mayor captación de la radiación solar durante todo el año. El panel se debe inclinar 20°-25° orientado al norte.
- Implementar este tipo de sistemas de bombeo que se utiliza la energía fotovoltaica son sostenibles en el tiempo para la población rural de las características de nuestra región que en su economía son precarias y que no tienen los medios económicos suficientes

para mantener y pagar el consumo de energía suministrada de una red pública en el tiempo utilizados en un sistema de bombeo de agua.

- Los resultados obtenidos a través de los cálculos (caudal máximo diario, altura Dinámica, potencia de la bomba) son como base para la elección del tipo de bomba a usar teniendo en cuenta la curva característica de la bomba, que dan a lugar a una buena definición y elección del tipo de la bomba con las características que requiere el sistema de bombeo en estudio.

Datos de radiación solar en la región de Puno y específicamente del lugar en estudio y diseño. El cual son obtenidas de SENAMHI y además obteniendo resultados en las pruebas con instrumentos como Pirómetro en la zona del proyecto teniendo como resultado un promedio de 900W/m<sup>2</sup> a 1000W/m<sup>2</sup>. (Pari Percca & Aguilar Calcina, 2014)

### **2.1.3 Antecedente 3.**

**Tesis:** “ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE ELECTRIFICACIÓN A TRAVÉS DE SISTEMAS HÍBRIDOS (EÓLICO-SOLAR) EN LA ISLA TAQUILE”, 2011.

**Autor:** CHAVEZ VALLEJO LUIS HORACIO

El Objetivo Principal fue analizar la viabilidad y factibilidad técnica, económica y social del desarrollo de un proyecto de producción de energía mediante sistemas híbridos eólico-solar, para la electrificación de localidades aisladas y rurales como la población de la isla Taquile, situada en el Lago Titicaca (Perú), estudio de la ampliación de la frontera eléctrica, con tecnologías adecuadas que minimicen costos de inversión, como un medio para acelerar el desarrollo socio-económico y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las localidades aisladas y rurales de Perú. Determinar el diseño de la tecnología adecuada (sistema híbrido: Eólica-solar) que permita generar mayor valor agregado, proponer las políticas que permitan orientar las inversiones hacia zonas con menor

cobertura eléctrica y las de mayor índice de pobreza, con el fin de acelerar su desarrollo.

(Chavez Vallejo, 2011)

De esta manera llegando a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- A lo largo del estudio se ha podido obtener una visión completa de la estructura técnica de un proceso de instalación, la generación de energía disponible y su viabilidad económica.
- Se ha puesto especial énfasis en los elementos más importantes del sistema de generación híbrida como son el tipo de panel fotovoltaico, los aerogeneradores, inversor y centro transformador a elegir por sus características técnicas y adaptables a la dimensión de la instalación.
- Las municipalidades distritales de Amantani-Taquile tiene planeado que la electrificación de la Isla, entre en operación en el año 2012. El tiempo estimado para la ejecución de obras civiles y montaje electromecánico es de cuatro meses. Donde la ejecución del proyecto tiene un periodo considerado de corta maduración; por tanto, el beneficio del suministro eléctrico, se va a obtener en el corto plazo.
- El presente proyecto se ubica en una región rural aislada-zona del Lago Titicaca y netamente turística, lo que constituye que la inversión a efectuarse va a contribuir al desarrollo y descentralización de algunos beneficios.
- Se recomienda dar viabilidad del presente Perfil por la OPI de la Municipalidad de Amantani – Taquile. (Chavez Vallejo, 2011)

De esta manera se resume los antecedentes del Proyecto de Tesis, analizando los proyectos desarrollados anteriormente se tiene que:

- El Primer Proyecto se desarrolló de manera experimental, para la generación de Viento utilizaron un ventilador trifásico, lo cual da un dato erróneo para la obtención de la verdadera velocidad del viento en la región, y mediante ese dato han realizado sus

análisis respectivos, obteniendo datos incorrectos, en nuestro caso se medirá la velocidad del viento en los ensayos que se realizarán en campo y se tendrá un análisis correcto también se utilizaran los datos del SENAMHI para hacer las proyecciones para todas las temporadas y tener datos exactos de eficiencia para cada temporada del año, de igual manera se hará el análisis para la energía solar eólica. Con estos ensayos se demostrarán los objetivos planteados.

- El segundo proyecto utilizó datos del SENAMHI para los cálculos y diseños realizados en bombeo con energía solar, esto beneficiando a las comunidades proyectadas, de este proyecto se tomarán algunos datos para compararlos con nuestros parámetros obtenidos, también nos apoyaremos en sus conclusiones para hacer un análisis con las nuestras.
- En el tercero proyecto se desarrolló todo el recurso existente para aprovechar la energía que puede proporcionar, haciendo diseños, cálculos, y llegando a la conclusión que es factible utilizar este tipo de energía, nos apoyaremos en sus conclusiones y datos utilizados.

Con nuestro proyecto de tesis podremos definir, utilizar e incrementar nuestros conocimientos en la utilización de energías renovables, se agregarán conclusiones y recomendaciones al utilizar las energías renovables y se tendrán más conocimiento en estos. (Chavez Vallejo, 2011)

## **2.2 SUSTENTO TEÓRICO**

### **2.2.1 Energía solar.**

#### **2.2.1.1 Energía solar fotovoltaica.**

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuesto por módulos fotovoltaicos conectados

entre sí que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares o fotovoltaicas. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador forma una superficie plana que tiene que ser expuesta a la luz del sol para producir energía eléctrica. La inclinación y la orientación adecuadas de dicha superficie son fundamentales para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctrica. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

Para conseguir este objetivo es necesario conocer un conjunto de conceptos básicos y la terminología utilizada para describir el movimiento de la tierra alrededor del sol, definir una posición sobre la superficie de la tierra y cuantificar la cantidad de energía solar recibida en una superficie situada en un lugar determinado. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

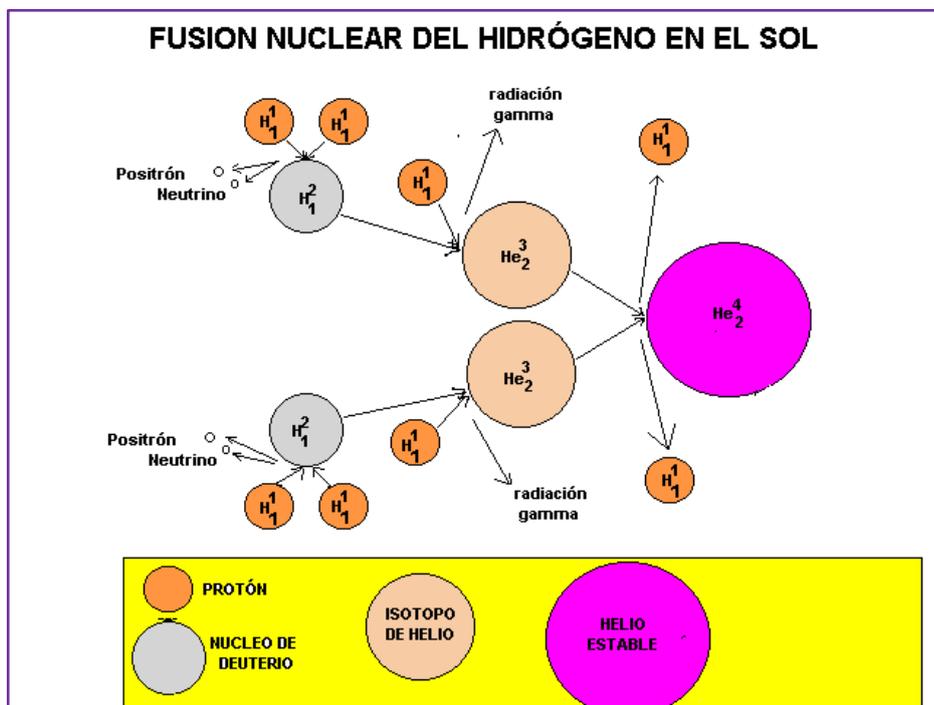
#### **2.2.1.2 El sol como recurso natural y renovable.**

El sol es la estrella más próxima a la tierra, tiene un radio de unos 700.000 km y una masa de  $2 \cdot 10^{30}$  kg/m<sup>3</sup>, unas 330.000 veces de la tierra. A su alrededor giran los planetas del sistema solar, aunque él concentra el 99% de la masa del mismo. Su densidad es de  $1.41 \cdot 10^{30}$  kg/m<sup>3</sup>. La temperatura de su superficie ronda los 6000°C, aunque es algo menor en las manchas solares (alrededor de los 4800°C). Las manchas solares tienen una gran influencia en nuestro clima. Cerca del centro la temperatura es más de 15.000.000°C y la densidad es unas 120 veces mayor que en la superficie. En esta zona se alcanzan presiones de 250.000 millones de atmósferas. Los gases del núcleo están comprimidos hasta una densidad 150 veces la del agua. (Sanchez Maza, 2011)

La fuente de toda energía del sol se encuentra en el núcleo. Debido a las condiciones extremas de presión y temperatura en su interior, tienen lugar reacciones nucleares de fusión. En estas, cuatro átomos de hidrógeno se combinan para convertirse

en un átomo de helio. La masa del átomo de helio es 0.7 % menor que la masa de cuatro átomos de hidrógeno. Esa masa que falta es lo que se convierte en energía que, en forma de rayos gamma, se expande desde el núcleo hacia la superficie en los primeros 500.000 km de espesor de la esfera solar por radiación, ahí alcanza la zona en que el transporte es ya por convección y que permite a los fotones, después de un largo viaje de miles de años alcanzar la superficie solar (Sanchez Maza, 2011, p.11).

Figura 1: Fusión nuclear del hidrógeno en el sol.



Fuente: <http://www.google.com.pe/url?sa=i&rct=j&q>

El sol se encuentra a 149,5 millones de kilómetros y su luz tarda 8,3 minutos en llegar a la superficie terrestre, a una velocidad de 300 000 km/s. La radiación solar llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas, que se desplazan por el espacio en todas las direcciones, ya que éstas no necesitan un medio físico para su propagación. Este efecto se denomina radiación y hace referencia a un fenómeno físico vibratorio que se representa en forma de ondas. (Sanchez Maza, 2011, p.13)

La radiación solar no resulta un producto homogéneo, más bien está constituido por un conjunto de radiaciones con distintas propiedades físicas que producen resultados distintos según sea su estructura. Como expresiones de lo que se conoce como radiación, se tiene la luz y el calor. La caracterización de la radiación solar incidente en la tierra no resulta un problema sencillo de resolver, debido a estas razones principalmente:

- a) La radiación solar es aleatoria, lo que hace imposible determinarla en forma definitiva o exacta.
- b) El movimiento relativo sol-tierra está regido por ecuaciones muy complejas que permiten determinar en todo momento la posición relativa del sol con respecto a cualquier punto de la superficie de la tierra.

La radiación en el sol es de  $63.450.720 \text{ W/m}^2$ . Si suponemos que el Sol emite en todas direcciones y construimos una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir, que tenga un radio de la distancia de 149,6 millones de Km. Podremos determinar cuál es la radiación en este punto. Este valor de la radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocido como constante solar. (Sanchez Maza, 2011)

### **2.2.1.3 Constante solar.**

Sánchez Maza, (2011) Afirma que Para medir la cantidad de energía solar a la frontera exterior que delimita la atmósfera, se establece la constante solar. Es la misma cantidad de energía que recibiría la superficie de la Tierra si no tuviera atmósfera (p.16)

La constante solar nos sirve para establecer el valor correspondiente a la energía que incide perpendicularmente en  $1\text{m}^2$  de la parte exterior de la atmósfera.

Se llama constante solar a la radiación solar (flujo o densidad de potencia de la radiación solar) recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los

rayos solares. Su valor es de  $1.353 \text{ W/m}^2$ , y varía  $\pm 3\%$  durante el año por ser la órbita terrestre elíptica.

La radiación solar incide sobre la superficie de la tierra después de atravesar la atmósfera, en la que se debilita por efecto de reflexión, difusión y absorción de la materia atmosférica. La atmósfera sobre una absorbe parte de la radiación solar. En unas condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos del sol cayendo casi perpendiculares, las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior, como mucho, alcanzan la superficie. El resto se refleja en la atmósfera y se dirige al espacio exterior. Las nubes son en gran parte las responsables de ello.

Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por el ozono y otros gases en la parte alta de la atmósfera. El vapor de agua y otros componentes atmosféricos absorben en mayor o menor medida la luz visible e infrarroja. (Sanchez Maza, 2011, p.17)

Tabla 1: Variación de la radiación incidente con la altitud.

<b>Variación de la radiación incidente con la altitud</b>					
Altitud sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)	0	900	1500	2250	3000
Intensidad de la radiación (W/m <sup>2</sup> )	950	1050	1100	1150	1190

Fuente: Sánchez Maza, Miguel Ángel

Tabla 2: Influencia de las condiciones climatológicas en la radiación incidente.

<b>Influencia de las condiciones climatológicas en la radiación incidente</b>		
Condiciones climatológicas	Radiación global (W/m <sup>2</sup> )	Porcentaje de difusa (%)
Cielo despejado	750 - 1000	10 - 20
Cielo parcialmente nuboso	200 - 500	20 - 90

Fuente: Sánchez Maza, Miguel Ángel

#### 2.2.1.4 Coordenadas y movimientos de la tierra.

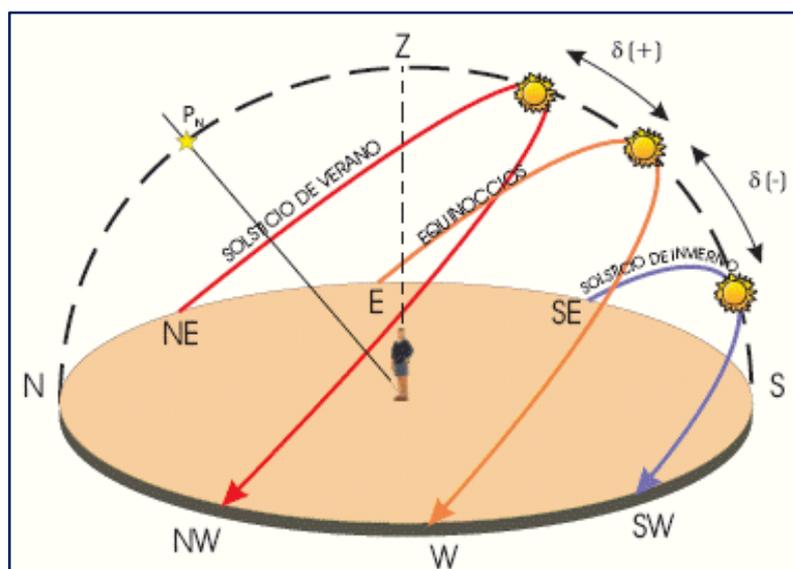
Mediante las coordenadas geográficas, latitud y longitud podemos definir con precisión una posición cualquiera de la superficie terrestre. Se expresan en grados sexagesimales y se dan con referencia al ecuador y al meridiano de Greenwich.

El ecuador es la circunferencia definida sobre la superficie terrestre por un plano perpendicular al eje de rotación de la tierra que la divide en dos partes, el hemisferio norte y el hemisferio sur.

El meridiano de Greenwich es la circunferencia imaginaria que une los polos y pasa por Greenwich (distrito de Londres donde estaba el Greenwich Royal Observatory).

Las circunferencias definidas sobre la superficie terrestre por planos perpendiculares al eje de rotación de la tierra y por tanto paralelas al ecuador se denominan paralelos. Las semicircunferencias definidas por los círculos máximos de la esfera terrestre que pasan por los polos se denominan meridianos. (Sanchez Maza, 2011)

Figura 2: El meridiano de Greenwich.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

- **Latitud ( $\phi$ ).**

La latitud ( $\phi$ ) es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto.

La latitud del ecuador es, por definición, de  $0^\circ$ . Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud. Los puntos que se encuentran al norte del ecuador reciben la denominación Norte (N) y los que se encuentran al sur del ecuador reciben la denominación sur (S). Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y se define como positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur. Los polos Norte y Sur tienen latitud  $90^\circ\text{N}$  (+90) y  $90^\circ\text{S}$  (-90) respectivamente. (Sanchez Maza, 2011)

- **Longitud.**

La longitud es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. El meridiano de Greenwich divide a la tierra en dos hemisferios llamados Este (oriental) y oeste (Occidental). Al meridiano de Greenwich, por ser el meridiano de referencia, le corresponde la longitud cero. También se denomina meridiano cero o meridiano base. (Sanchez Maza, 2011)

La longitud se mide de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  y se define como positiva hacia el oeste (hemisferio occidental) y negativa hacia el este (hemisferio oriental).

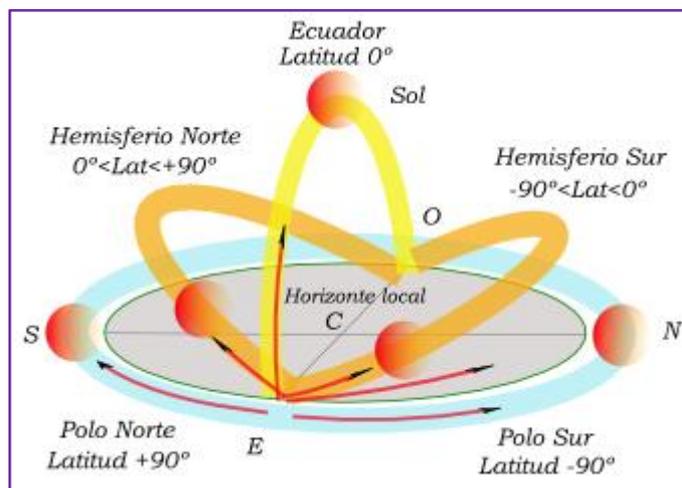
#### **2.2.1.5 Variaciones de la radiación solar.**

La composición del sol varía diariamente desde el amanecer hasta el ocaso. Si se observan las posiciones del sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio sur, se verá como el sol sale por el este, se desplaza en dirección norte y se pone por el oeste. En realidad, es la tierra la que cada día hace una rotación completa alrededor de su eje, y eso crea en el observador la sensación de permanente estático,

mientras que el universo gira a su alrededor. Por tanto, aunque es la Tierra la que gira, nos hemos acostumbrado a decir que es el sol el cada día realiza este recorrido, aunque este es, como sabemos, un movimiento aparente.

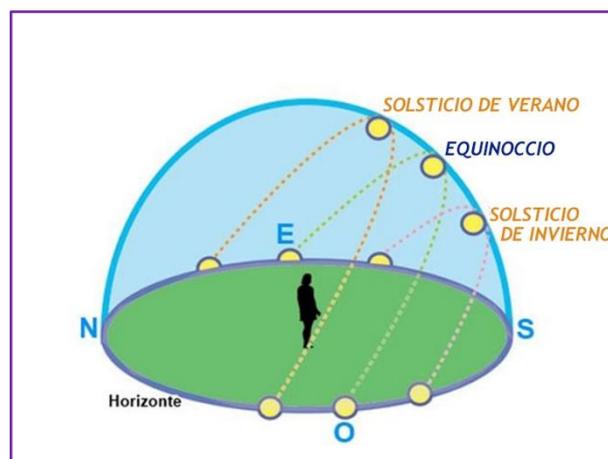
La tierra tiene dos tipos de movimientos: el de rotación que ya hemos visto, y el de traslación alrededor del sol, siguiendo una trayectoria elíptica, que da lugar a las estaciones del año. (Sanchez Maza, 2011, p.21)

Figura 3: Variación de la radiación solar.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Figura 4: Rotación de la tierra en diferentes estaciones.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Por lo visto en este punto, podemos decir que para que un captador solar pudiera estar en todo momento correctamente orientado, debería estar dispuesto un mecanismo de anclaje que le permitiera girar sobre su eje horizontal y sobre el vertical.

La inclinación de los captadores se establece en función de la latitud y de la aplicación. Así se pueden darse diferentes casos:

- Para la utilización principalmente en invierno:  $20^\circ$  mayor que la latitud.
- Para la utilización principalmente en primavera y verano:  $10^\circ$  menor que la latitud.
- Para la utilización uniforme a lo largo de todo el año:  $10^\circ$  mayor que la latitud.

Ligeras variaciones respecto al ángulo de inclinación óptimo no afectaran prácticamente al rendimiento energético del sistema captador. (Sanchez Maza, 2011, p.22)

#### **2.2.1.6 Horas de pico solar.**

Es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de superficie captadora, obtiene de modo constante 1000 W de energía. Los módulos fotovoltaicos se caracterizan bajo unas condiciones determinadas que son tomadas como referencia y que se denominan Condiciones estándar de medida. Estas son:

- 1 KW/m<sup>2</sup> de radiación solar.
- 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas.
- Incidencia normal.

Si se requiere evaluar la energía que el panel fotovoltaico puede producir diariamente, habría que conocer cuantas horas diarias con una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> equivalen a la radiación total diaria (la correspondiente a la inclinación del panel fotovoltaico). Este concepto se denomina Horas Pico Solar.

La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en  $W_p$  (Vatios pico). A esta potencia se le denomina potencia nominal del módulo.

La energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal por el número de horas pico, dado que no todas las horas del sol son horas de intensidad considerada como pico (esto es  $1000 \text{ W/m}^2$ ). El número de horas pico de un día concreto obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día entre  $1000 \text{ W/m}^2$ . (Sanchez Maza, 2011, p,24,25)

#### **2.2.1.7 Principios de conversión fotovoltaica.**

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco.

Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias. (Sanchez Maza, 2011, p.37)

#### **2.2.1.8 Declinación.**

La declinación ( $\delta$ ) es el ángulo que forma el plano del ecuador de la tierra con la línea situada en el plano de la eclíptica, que une los centros del sol y de la tierra. Este

Ángulo varia a lo largo de la órbita de la tierra alrededor del sol, alcanzando valores máximos en los solsticios de verano (declinación máxima positiva,  $\delta=23.45^\circ$ ) e invierno (declinación máxima negativa,  $\delta=-23.45^\circ$ ) y valores nulos en los equinoccios (declinación nula,  $\delta=0^\circ$ ). Aunque la declinación varia se puede suponer que permanece constante a lo largo de un día.

La expresión de la declinación para un determinado día se calcula con la siguiente expresión. (Sanchez Maza, 2011)

$$\delta=23.45*\text{sen}\left(360*\frac{284+\delta_n}{365}\right) \quad \dots(\text{Ec. 1})$$

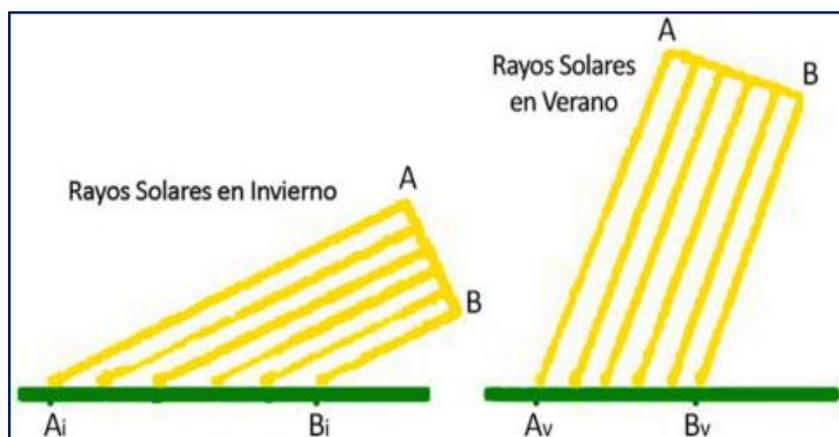
### **2.2.1.9 La posición y sistema de seguidores.**

Antes de entrar a desarrollar los objetivos y el funcionamiento de los seguidores solares, es imprescindible explicar los movimientos del sol y entender cómo éstos afectan de forma directa a la producción de energía solar.

Los movimientos de rotación y de traslación son los responsables de las estaciones del año, la sucesión de los días y noches y de las diferencias de temperatura entre distintos puntos del planeta. La radiación solar depende de estos movimientos y variará en función de la latitud y del momento del año.

La posición del sol, que afecta directamente al ángulo de incidencia de los rayos del sol, viene determinada por el ángulo de altura y el acimutal. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

Figura 5: Rotación de la tierra en invierno y verano.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Esta imagen, refleja la incidencia de los rayos del sol en las estaciones de invierno y de verano, ambas al medio día y sobre una superficie horizontal. Como vemos, en invierno la inclinación es máxima y el poder energético de los rayos de sol es mínimo. Además, debido al movimiento de rotación, el sol permanece en un punto muy bajo del horizonte y está visible muy pocas horas al día.

Contrariamente, en verano, el sol sigue una órbita que provoca que el sol se sitúe en un punto muy alto del cielo y que permanezca visible durante más horas del día. Así, los rayos de sol inciden de una forma más perpendicular y con un rendimiento energético mucho mayor.

Este efecto se acentúa a medida que nos alejamos de la línea del Ecuador. Es decir, en regiones cercanas a los círculos polares, los días son muy largos en verano y muy cortos en invierno, mientras que en otras zonas más cercanas al Ecuador, hay mucha menos variación entre la noche y el día.

Así pues, las trayectorias solares diarias y anuales de una ubicación varían en función de la latitud y afectan directamente al ángulo de incidencia de radiación, el cual es un punto clave a la hora de producir energía solar: a mayor ángulo, mayor producción. Por ello es fundamental saber cuál es la orientación e inclinación exacta de nuestra

ubicación, para poder orientar los paneles de nuestra instalación de forma que nos permita aprovechar al máximo la energía solar. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

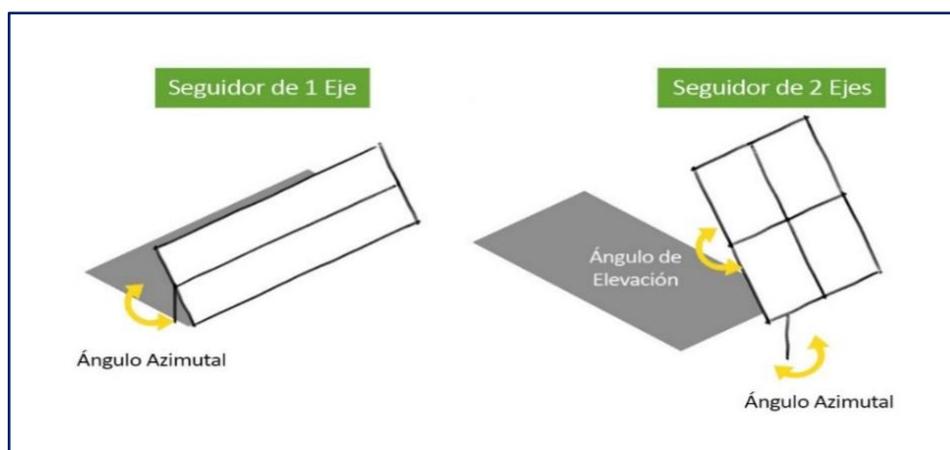
### 2.2.1.10 Los tipos de seguidores y sus beneficios.

Los seguidores solares se componen de una parte fija y de otra móvil, con el objetivo de seguir el movimiento del sol y de orientar el área de los módulos de forma perpendicular al sol. De este modo, se puede aumentar la captación de radiación solar y consecuentemente la energía suministrada por la instalación.

Existen dos tipos de seguidores según el tipo de movimiento que realicen y según su algoritmo de seguimiento:

- Seguidores de un eje: la rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, que puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Así, estos seguidores se mueven a lo largo del azimut de este a oeste durante el día.
- Seguidores de dos ejes: además de moverse a lo largo del azimut, también siguen el ángulo de elevación del sol, consiguiendo así un seguimiento total. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

Figura 6: Sistema con seguidor de 1 eje y 2 ejes.



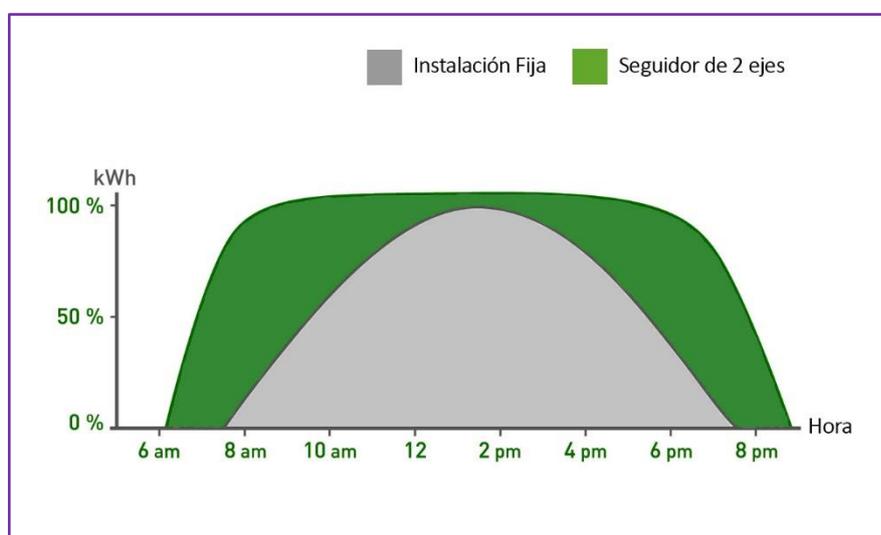
Fuente: [www.valldoreix-gp.com](http://www.valldoreix-gp.com)

Gracias a estos movimientos, se puede aumentar la producción de electricidad con respecto a instalaciones fijas hasta un 30% con seguidores de un eje y hasta un 40% con seguidores de dos ejes. (Castejón Oliva & Santamaría Herranz)

### 2.2.1.11 Ganancia en la captación de radiación solar.

Llegados a este punto queda claro que gracias al movimiento de los seguidores solares se incrementa notablemente la cantidad de radiación recibida por el panel y consecuentemente la energía producida. En la siguiente gráfica podemos verlo mejor.

Figura 7: Ganancia en la captación de radiación con seguidor.



Fuente: [www.valldoreix-gp.com](http://www.valldoreix-gp.com)

Esta imagen muestra la energía producida a lo largo de un día con una instalación fotovoltaica fija y con una instalación con seguidores solares, en este caso de 2 ejes. La curva oscura es el resultado obtenido en la instalación estática y la curva amarilla el resultado de la instalación con seguidores. Ambas instalaciones usan los mismos paneles.

Como podemos observar, los paneles instalados con seguidores solares, han recibido más radiación solar, y por tanto, han producido más energía a lo largo del día. El rendimiento ha aumentado alrededor de un 40% respecto a la instalación fija. (Sanchez Maza, 2011)

### **2.2.1.12 Fundamentos de la tecnología fotovoltaica.**

Con las nociones básicas introducidas hasta el momento, podemos comenzar a describir cuál es la estructura y el funcionamiento básico de una célula solar. También nos ocuparemos brevemente de señalar cuáles son sus parámetros característicos de funcionamiento.

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico, que consiste en la conversión la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tiene la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. (Sanchez Maza, 2011)

### **2.2.1.13 Principios de conversión fotovoltaica.**

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco.

Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias. (Sanchez Maza, 2011)

La acumulación de cargas en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se puede medir externamente. La unidad de medición es el voltio. Este voltaje foto generado es lo que se conoce como efecto fotovoltaico.

Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente foto generada o fotovoltaica. (Sanchez Maza, 2011, p.37)

Figura 8: Principios de conversión fotovoltaica.



Fuente: (Sanchez Maza, 2011)

#### 2.2.1.14 La célula fotovoltaica y su estructura.

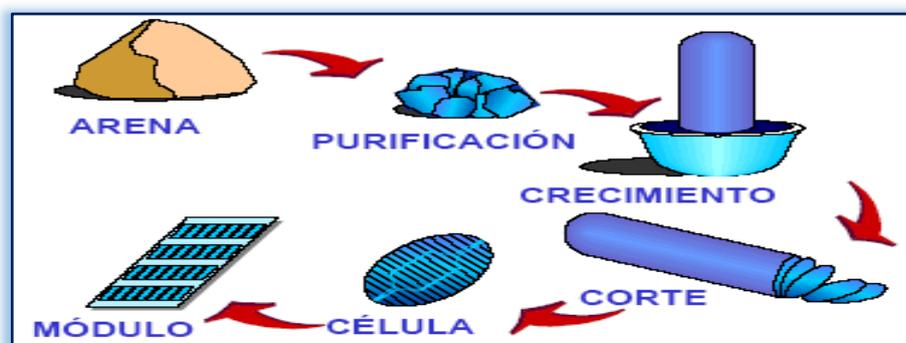
Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las células solares. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que

pueda llegar a las decenas de cm<sup>2</sup>. La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. En un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO<sub>2</sub>). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0.25 y los 0.35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm<sup>2</sup>. El proceso de fabricación varía según las cualidades que se requieran obtener (rendimiento, flexibilidad, economía): a más pureza, más altos son los costos, para una calidad que no va a suponer un incremento sustancial del rendimiento. (Sanchez Maza, 2011, p.40)

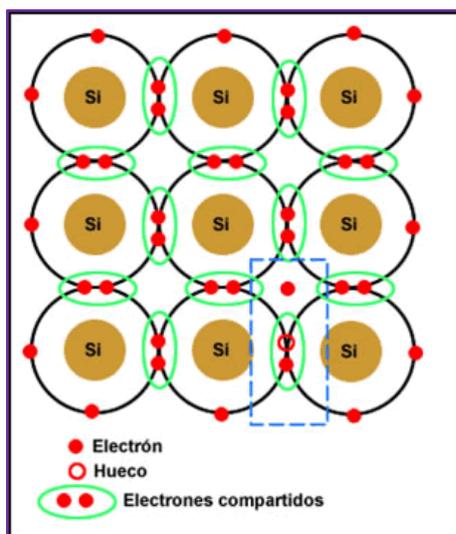
Figura 9: El proceso de fabricación de la célula fotovoltaica.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Las celdas solares de silicio pueden construirse de cristales monocristalinos, policristalinos o de silicio amorfo. La diferencia entre ellas radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina: es la estructura cristalina la que hace que tengan características diferentes. (Sanchez Maza, 2011, p.41)

Figura 10: Estructura del silicio monocristalino.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de la luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo. (Sanchez Maza, 2011, p.42)

#### 2.2.1.15 Células de silicio cristalino.

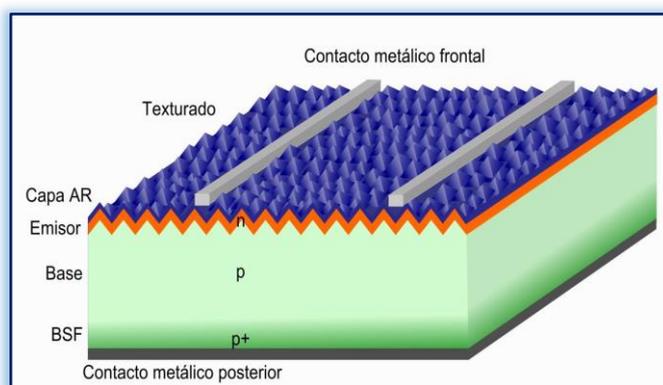
- **Silicio monocristalino.**

Sanchez Maza, (2011) afirma que las planchas mono cristalinas son de una pureza elevada y una estructura cristalina casi perfecta, ya que se han obtenido en un largo, sofisticado y delicado proceso de elaboración. (p.43)

Las células de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se funde en un crisol a una temperatura de unos 1400 °C, junto con una pequeña proporción de boro (material menos electronegativo que el silicio). Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un “cristal germen” de silicio, que se va haciendo crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma, tras unas 8 horas de

elaboración, se obtiene un monocristal dopado, con cierta carencia de electrones (tipo p), que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Esta forma de obtención recibe el nombre de método Czochralski. (Sanchez Maza, 2011, p.44)

Figura 11: Estructura de la celda fotovoltaica.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Este es un proceso muy costoso y que requiere mucha energía, aunque se obtiene el cristal más eficaz, con rendimientos aproximados del 15 a 18 %. Se distinguen por su color azul homogéneo o negro. Los módulos fabricados con este material tienen tal calidad, que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años. (Sanchez Maza, 2011, p.45)

- **Silicio policristalino.**

Las células de silicio policristalino se obtienen de manera similar, salvo por que se parte de planchas policristalinas, que son más baratas. Estas planchas son obtenidas por un proceso de moldeo a partir de pasta de silicio formada por múltiples pequeños cristales de silicio, la cual es fundida y vertida en un molde donde se deja asentar lentamente, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales. Entonces se rebana en planchas de menor espesor que las monocristalinas (solo algunas micras). Su composición a partir de pequeños cristales elementales hace que su color no sea uniforme, sino que presenten diferentes tonalidades de azul. Esta forma de obtención

hace que sean más baratas que las planchas monocristalinas, pero no tan eficientes. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina llegando hasta el 12 o 14%. Aunque su rendimiento es algo inferior a las monocristalinas, su menor costo ha contribuido enormemente a aumentar su uso.

La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel fotovoltaico, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (eficiencia de empaque). (Sanchez Maza, 2011, p.46)

- **Silicio amorfo.**

El silicio amorfo pertenece al grupo de tecnologías de lámina delgada. El silicio amorfo es silicio en una forma no cristalina, con defectos en sus enlaces atómicos. Sin embargo, si el silicio amorfo se deposita de tal manera que contenga una pequeña cantidad de hidrogeno, permitiendo así a los electrones moverse a través del silicio. A la vez, el hidrogeno hace posible que el dopaje proporcione materiales tipo p o tipo n. en cualquier caso, en las regiones p o n obtenidas, la vida media de los portadores de carga es reducida.

Las células amorfas son utilizadas allí donde se busca una alternativa más económica o cuando se requiere muy poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes, calculadoras, luces de emergencia). También se utilizan allí donde se prevé un fuerte calentamiento de los módulos. Sin embargo, el rendimiento es más de dos veces inferior al de silicio cristalino (sobre un 10%) y requiere por tanto mayor superficie para conseguir la misma potencia. (Sanchez Maza, 2011, p.49)

Tabla 3: Rendimiento de diferentes células fotovoltaicas.

Células	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
Monocristalino	24%	15 -18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con fosforo.
Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye en número de fases de cristalización.
amorfo	16%	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Sánchez Maza.

**2.2.1.16 Componentes de un sistema solar fotovoltaica de generación de energía.**

Los módulos o paneles solares son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico, y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales. Son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y carecen de soporte mecánico; por eso, una vez fabricadas, deben ser ensambladas de la manera adecuada para constituir una estructura única, rígida y hermética: el panel fotovoltaico.

En el conjunto del panel fotovoltaico, las celdas o células solares deben ser iguales. Están conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que

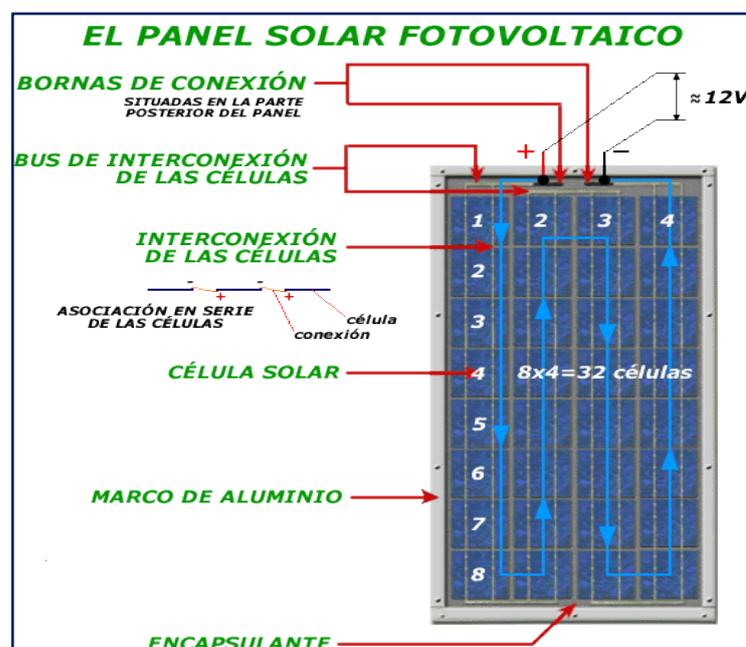
la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta juntarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. (Sanchez Maza, 2011, p.59)

- **Estructura de los paneles solares.**

Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura de “sándwich”, donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidas.

Los paneles solares están formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior y marco metálico. Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores. (Sanchez Maza, 2011, p.60)

Figura 12: Estructura del panel solar.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

### 2.2.1.17 Baterías.

Las baterías, sirven para acumular la energía que los paneles generan diariamente y así poderla usar en horas donde la energía consumida es superior a la generada, como sucede de noche. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos. Además, el acumulador proporciona un voltaje estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa, que pueda ser lo más adecuado para el funcionamiento de los aparatos eléctricos. (Sanchez Maza, 2011, pág. 73)

Al acumulador que ha de ser usado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo.
- Fácil transporte e instalación.
- Baja auto descarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

### 2.2.1.18 Reguladores de carga.

Teniendo en cuenta que la energía solar es variable y estacional, es de suma importancia disponer de un elemento que permita controlar la relación que establecen batería y sistema generador. Supongamos que el consumo es fijo durante todos los días del año. Cuando se calcula el número de módulos solares necesarios, se hace tomando como base la radiación invernal para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, ya que esa es la peor época.

El regulador o controlador de carga, es el equipo que se encarga de gestionar el consumo directo de las placas, las baterías, y la carga de estas evitando sobrecargas o descargas profundas, alargando así su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores se instalan entre el sistema generador y las baterías, tomando de estas la energía para su funcionamiento.

Existe una amplia gama de reguladores, los más simples son más económicos y los más complejos disponen de más funciones, como la visualización de datos por pantalla LCD o la conexión a sistemas informáticos. Los reguladores actuales introducen microcontroladores que analizan el estado de carga de las baterías, su temperatura o la tensión, y aplican esa información a la unidad de control del regulador para modificar las condiciones de carga. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado. (Sanchez Maza, 2011, p.85)

Figura 13: Regulador de carga.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Las prestaciones más habituales de los reguladores de carga que se usan en instalaciones solares autónomas son las siguientes:

- Protección contra sobrecarga del acumulador: esta es la función básica del acumulador, ya que así se evita que la batería se caliente, que pierda agua del electrolito y que las placas se oxiden.
- Alarma por batería baja: consiste en indicadores sonoros y/o luminosos que indican que el acumulador está siendo descargado. A partir de este momento, el usuario tiene la posibilidad de reducir su consumo, evitando una descarga muy perjudicial y excesiva del acumulador.
- Desconexión por baja batería: esta función hace que el regulador corte el suministro de corriente eléctrica para consumo si el nivel de carga del acumulador es demasiado bajo, y por tanto, existe peligro de una descarga profunda, lo que originaría problemas de sulfatación. (Sanchez Maza, 2011, p.87)

### 2.2.1.19 Convertidores e inversores.

**Convertidores:** Mediante el uso de convertidores CC/CA, la descarga de batería se consigue, para el equipo que usa el convertidor, a una tensión totalmente estable que favorecerá el perfecto funcionamiento de este, sobre todo si se trata de algún equipo electrónico de precisión.

En un convertidor CC/CA la corriente continua es transformada a corriente alterna mediante el uso de un inversor, y una vez que este cambio está realizado, se eleva o reduce el voltaje mediante un transformador hasta el valor adecuado, para volver a convertirla a corriente continua. De esta forma se consigue la tensión adecuada, con la ventaja del aislamiento galvánico que produce el transformador. Todos estos procesos conllevan una cierta pérdida de rendimiento que debe ser tenida en cuenta para evitar que los cálculos en el consumo no resulten suficientes. (Sanchez Maza, 2011, p.91)

**Inversores:** Los inversores son convertidores CC/CA que permiten transformar la corriente continua de 12, 24 o 48 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 220 V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica tradicional. Esto permite usar los aparatos eléctricos convencionales diseñados para funcionar con este tipo de corriente, en vez de otros (difíciles de encontrar y más caros debido a la escasa distribución que tienen) que funcionen en CC. Además, si el sistema fotovoltaico está conectado a una red pública de distribución de energía eléctrica, también debe suministrarle corriente alterna. (Sanchez Maza, 2011, p.93)

#### **Tipos de inversores:**

- Inversores de conmutación natural.
- Inversores de conmutación forzada.

De salida escalonada.

De modulación de anchura de impulsos.

### **2.2.1.20 Configuración y arreglos fotovoltaicos.**

En correspondencia con su arquitectura y utilización, las instalaciones solares fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos: sistemas aislados (sistemas autónomos sin conexión a la red eléctrica) y sistemas conectados a la red eléctrica. También encontramos sistemas híbridos, en los que se emplea más de un medio para obtener energía dependiendo de las condiciones que se den en ese momento. (Sanchez Maza, 2011, pág. 132)

### **2.2.1.21 El potencial solar en el futuro.**

La tendencia predominante en la evolución de las energías limpias en el mundo indica que la tecnología que tendrá un mayor desarrollo en el futuro será la solar fotovoltaica, que presenta una trayectoria en constante crecimiento como consecuencia de la rápida reducción de los costos, que han disminuido hasta un 80% en los últimos años. En este contexto, un informe de investigación publicado recientemente por el Instituto Becquerel, cuya misión es acelerar la penetración de la energía solar fotovoltaica como una corriente principal fuente de electricidad, es especialmente revelador y ayuda a identificar los mercados fotovoltaicos con un futuro más prometedor y que actualmente permanecen ocultos y se pasan por alto porque suelen estar agrupados en gráficos y tablas bajo el término 'Resto del Mundo'.

Y algunos países ya se han dado cuenta. Mientras Sudáfrica marca el paso, se anuncian proyectos a lo largo de todo el continente a medida que más países buscan liberar su máximo potencial solar.

A finales de abril, Mauritania lanzó lo que se describe como la planta solar fotovoltaica más grande de África hasta el momento, una instalación de 15 megavatios (MW) diseñada para proveer 10% de la capacidad de energía del país, de acuerdo con sus

desarrolladores. A principios de mayo, Marruecos comenzó la primera fase de construcción de una planta de 160 megavatios de energía solar, cerca de Ouarzazate, que forma parte de los esfuerzos del país para producir 2000 megavatios de energía solar para 2020.

Y más tarde este año, la compañía británica Blue Energy anunció sus planes para construir el proyecto Nzema, en Ghana, una instalación de 155 megavatios.

Esperan que la construcción de este proyecto de 400 millones de dólares comience en el primer trimestre del próximo año, para que la planta comience con su operación a finales del 2015. (Sanchez Maza, 2011)

## **2.2.2 Energía eólica.**

### **2.2.2.1 Reseña histórica sobre la energía eólica.**

Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para la realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica ha sido desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV o V milenio antes de J.C. (Salgado, 2011)

Los molinos de viento existían ya en la más remota antigüedad. En China hay referencias de la existencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizadas para el bombeo de agua, maquinas conocidas como panémonas, precursoras de los molinos Persas.

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia y Francia. Según algunos autores, se debe a los cruzados la introducción de la tecnología eólica en Occidente, si bien otros opinan que Europa desarrolla su propia tecnología, claramente distinta de la oriental, ya que en Europa se

impone fundamentalmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.

En 1724 Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón, en 1883 aparece el pequeño múltipala americano diseñado por Steward Perry, este molino de unos 3 metros de diámetro utilizado para bombeo, ha sido el más vendido de la historia, llegándose a fabricar más de seis millones de unidades, de la que existen varios miles en funcionamiento. Como precursor de los actuales aerogeneradores, es necesario citar la Aero turbina danesa de Lacourt (1892), máquina capaz de desarrollar entre 5 y 25 kW. (Salgado, 2011)

En el año 1910 Dinamarca tenía instalada una potencia eólica de 200 MW.

En los años 20 se empiezan a aplicar a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos que se habían diseñado para las alas y hélices de los aviones. En 1927, el holandés A.J. Dekker construye el primer rotor provisto de palas con sección aerodinámica, capaz de alcanzar velocidades en punta de la pala, cuatro o cinco veces superiores la del viento incidente.

Betz demostró en su famoso artículo “Die Windmuhlen im lichte neverer Forschung”, (Berlín 1927), que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que, en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento. Por lo tanto, los nuevos rotores debían funcionar con elevadas velocidades de rotación para conseguir rendimientos más elevados. (Salgado, 2011)

La teoría demostró también que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían incluso construirse con una sola pala sin que disminuyera su rendimiento aerodinámico significativamente. (Salgado, 2011)

A pesar de los esfuerzos realizados y de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuaran declinando hasta el final de la primera guerra. (Salgado, 2011)

Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, que se abandonaban una vez se superaba la crisis. (Salgado, 2011)

La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo, las turbinas eólicas continuaron desarrollándose por dos caminos diferentes. Por un lado, hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, capaces de generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas, a las que todavía no habían llegado las redes de electrificación.

Por otro, y a la sombra de una industria aeronáutica en pleno desarrollo, hacia el diseño y construcción de grandes plantas eólicas capaces de generar electricidad a gran escala. Este apoyo a los recursos energéticos autóctonos, que inmediatamente después de la guerra, se mantuvo durante la década siguiente, como consecuencia de la política proteccionista adoptada por los países occidentales tras la crisis de 1929. (Salgado, 2011)

Durante este periodo fueron innumerables los trabajos realizados sobre plantas eólicas de gran potencia en Europa y EE.UU., centrando los programas eólicos su interés en aspectos diferentes como, la evaluación de los recursos disponibles, obtención y

tratamiento de datos meteorológicos, elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos, y el cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia, a la vez que intento crear incentivos que motivasen a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas turbinas con funcionamiento autónomo, que permitiesen cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas. (Salgado, 2011)

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, y como consecuencia del periodo de escasez que siguió, los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir los emplazamientos más adecuados donde deberían instalarse las grandes plantas eólicas que se proyectaban. (Salgado, 2011)

El segundo periodo de desarrollo de la energía eólica comienza en los años cincuenta y se prolonga hasta mediados de los sesenta en que, una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar sus precios competitivos con los combustibles fósiles convencionales, por lo que el bajo precio del petróleo, hasta 1973, cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica; a esta etapa siguió otra de precios del petróleo altos que se prolongó hasta 1986 y que favoreció el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, capaz de producir electricidad a precios competitivos. En esta época, las redes de electrificación empezaban a ser lo suficientemente extensas como para cubrir la mayor parte de las zonas rurales, por lo que también disminuyeron las ventajas de los aerogeneradores de baja potencia utilizados en zonas aisladas. (Salgado, 2011)

El número de aerogeneradores instalados a finales de 1991 era superior a los 21 000, según datos de la agencia internacional de la energía, con un total de potencia de 2 200 MW, equivalente a dos centrales nucleares de gran potencia, de los cuales la mitad estaban instaladas en los parques eólicos de California. A finales de 1991 la potencia de

origen eólico instalada en la red eléctrica danesa ascendía a 410 MW con una producción de energía equivalente al 2,3% del consumo del país. En Alemania la potencia instalada era de 100 MW y estaba previsto alcanzar los 250 MW en breve plazo. Holanda contaba con 80 MW de potencia instalada y 100 más en construcción. El Programa eólico holandés tiene previsto alcanzar los 1 000 MW hacia el año 2000 y los 2 000 MW en el 2010. (Salgado, 2011)

España tenía en fase de realización varios proyectos que completarían los 50 MW hacia finales de 1992. El plan de energías renovables, dentro del plan Energético Nacional 1992-2000 alcanzó los 100 MW a finales de 1995.

Cada kWh eólico permitiría ahorrar un kilogramo de CO<sub>2</sub>, entre otras sustancias contaminantes. La eólica es la manera más económica de reducir las emisiones contaminantes y avanzar hacia la sostenibilidad. (Salgado, 2011)

#### **2.2.2.2 La energía eólica en el Perú.**

La costa peruana cuenta con una importante potencial eólico, que llega a alcanzar en algunos lugares velocidades promedio de 8 metros por segundo (m/s), como en Malabrigo, San Juan de Marcona y Paracas; así mismo, se reconocen en la mayor parte de la costa promedios anuales de 6 m/s. estos valores son más que suficientes para garantizar la rentabilidad de proyectos de esta naturaleza (centro de conservación de Energía y del ambiente, 2006).

En el país, se ha instalado un aerogenerador asíncrono trifásico de 250 kW en la localidad de Malabrigo (La Libertad), el cual fue puesto en funcionamiento en 1996, con una eficiencia de 36%; y un aerogenerador de inducción de 450 kW en San Juna de Marcona (Ica). Dentro del proyecto del bosque eólico de Malabrigo, de 40 MW, se ha determinado realizar los estudios para una primera etapa de 10 MW. Esta potencia se ha definido debido a la línea de subtransmisión existente (Paiján – Malabrigo, 34,5 kW, 17

km). Ante esta realidad, el uso de la energía eólica es una alternativa de generación de electricidad para su interconexión con el Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (Sinac), que ha incrementado la oferta de energía para los grandes centros de consumo alimentados por él. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

### **2.2.2.3 Evolución de información eólica en Perú.**

La energía eólica se encuentra a lo largo de la costa y algunos valles interandinos, con valores que fluctúan entre 2.5 y 8 m/s. según la Organización Mundial de Meteorología, el Perú posee 28 de los 32 climas oficiales del mundo apropiados para esta actividad de generación de energía. Las primeras mediciones de potencial eólico con fines energéticos fueron efectuadas por Electricidad de Perú (Electroperú), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú (SENAMHI) y la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC). En 1983 la organización Latinoamericana de Energía (OLADE) presentó un mapa eólico preliminar de Perú, basado en mediciones realizadas en 48 estaciones distribuidas por todo el País.

Otras evaluaciones han sido realizadas, sobre todo para aplicaciones de bombeo eólico, por instituciones como el Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas (ITINTEC) y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en los departamentos de Piura y Lambayeque. Sin Embargo, se conocen otras regiones donde podría existir un potencial latente de viento, pero las mediciones efectuadas hacen que la información sea suficiente para determinar la factibilidad de instalar un bosque eólico, y, en algunos casos, incluso la instalación de una sola unidad de aerogeneración. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

#### 2.2.2.4 El viento como recurso natural y renovable.

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

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

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los  $30^\circ$  de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área

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

Figura 14: El viento como recurso natural y renovable.



Fuente: (Hualpa Huamani, 2006)

En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas y altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento suba desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur. En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío. (Hualpa Huamani, 2006, pág. 2)

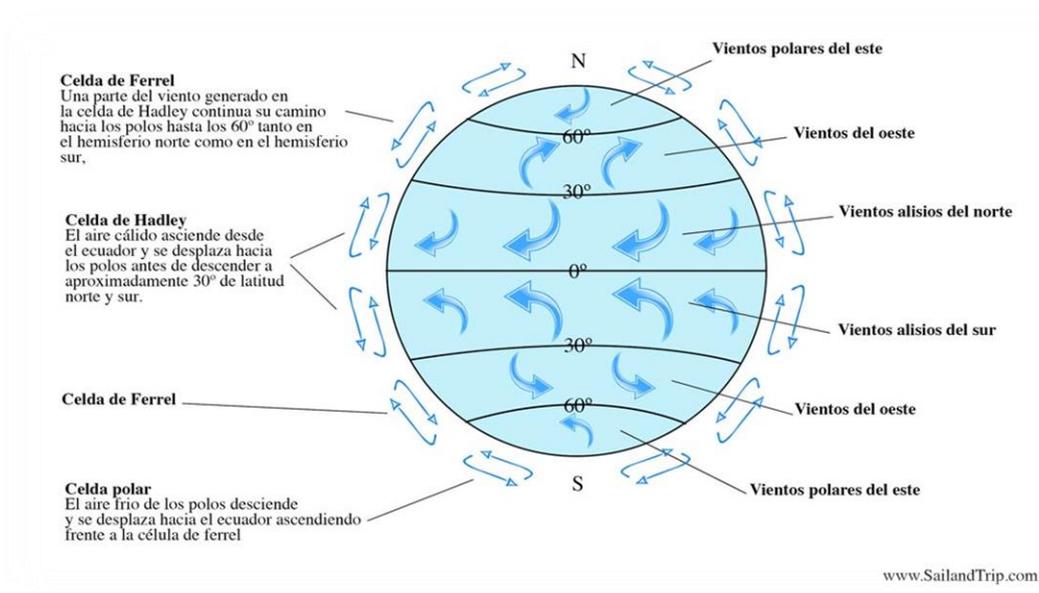
#### **2.2.2.5 Formación de vientos globales.**

Debido a la curvatura de la tierra y su rotación alrededor de un eje inclinado, la cantidad de energía solar que alcanza la superficie de la tierra varía en distintos sitios. En adición a esto, la cantidad de irradiación varía con las estaciones, la superficie de la tierra absorbe esta energía calorífica radiada y re-radiada hacia la atmósfera en longitudes de ondas grandes.

La atmósfera se calienta principalmente debido a la liberación del calor latente del vapor de agua combinado con la mezcla turbulenta vertical, esto sucede principalmente en las regiones tropicales donde la temperatura y niveles de vapor son altos. Para mantener un equilibrio de calor, este es transportado de las latitudes cercanas al ecuador

a las latitudes cercanas al polo. Los sistemas de viento de gran escala actúan como medio de transporte para este calor y ayudan a mantener el equilibrio del mismo; a este fenómeno se le conoce como circulación de Hadley. (Enríquez Harper, 2011, pág. 198)

Figura 15: Formación del viento.



Fuente: [www.solar/trip.com](http://www.solar/trip.com)

### 2.2.2.6 Vientos locales.

Hay una gran interacción de los llamados vientos de gran escala y los vientos locales, tal como kafábicos en las regiones montañosas o la brisa del mar en áreas costeras. Las características topográficas locales, tales como: las ciudades, los bosques, las montañas y valles, afectan la magnitud y dirección de estos vientos locales. A continuación, se analiza en forma breve la influencia de los vientos locales sobre aquellos vientos de gran escala. (Enríquez Harper, 2011, pág. 199)

### 2.2.2.7 Vientos kafábicos.

Los vientos que soplan bajando la montaña desde cualquier superficie topográfica inclinada, tal como las montañas o lomas, se conocen como: vientos kafábicos. Hay dos tipos de estos: Vientos que son más calientes que los circundantes y que se conocen como

Foehn y vientos que son más fríos como los del mar adriático; sin embargo, el termino viento kafábicos se asocia por lo general con vientos fríos.

Estos se forman debido al enfriamiento del aire en la punta de las montañas o glaciares, dando como resultado un aire de alta densidad, debido a esto, el aire se tiende a mover hacia abajo. La velocidad de estos vientos es por lo general baja, de 3 a 4 m/s. (Enríquez Harper, 2011, pág. 199)

#### 2.2.2.8 El efecto de la brisa del mar.

Este es causado por la diferencia en el calentamiento y enfriamiento de las superficies con la tierra y la masa del mar. Y se forma de la siguiente manera:

Figura 16: Efecto de la brisa del mar.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

Las masas de la tierra y el mar se calientan con distinto índice o tasa de calentamiento. La tierra se calienta y enfría rápidamente, en cambio, al mar le toma mucho tiempo para enfriarse una vez que se ha calentado; entonces es térmicamente más estable.

Durante el día la masa de la tierra se calienta más rápidamente, dando como resultado el calentamiento del aire sobre la tierra. Este aire calentado se expande, se hace

más ligero y se mueve hacia arriba, por lo tanto, se forma una zona de baja presión, y el aire frío y denso sobre el mar forma una zona de alta presión; esta diferencia en la presión produce que el aire proveniente de la zona de alta presión, que es frío y denso, se mueva a través de la zona de baja presión, reemplazando el aire ligero calentando sobre el terreno.

La velocidad de esta brisa del mar varía entre 5 y 8 m/s, y en ocasiones puede alcanzar hasta 10 m/s. (Enríquez Harper, 2011, pág. 199)

### **2.2.2.9 Mecánica del viento.**

Antes de estudiar la dinámica del flujo de viento, es conveniente ver la diferencia entre la velocidad del viento y potencia del viento.

#### **Velocidad del viento.**

La velocidad del viento es el índice o tasa con la cual el flujo del aire ha pasado sobre la superficie de la tierra, la velocidad del viento puede ser bastante variable y está determinada por un número de factores que se analizarán más adelante.

#### **Potencia del viento.**

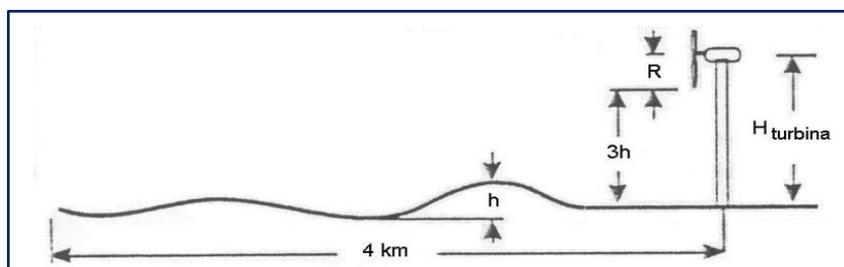
La potencia del viento es la medida disponible en el viento, es una función del cubo (Tercera Potencia) de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento se duplica, la potencia en el viento se incrementa por un factor de 8, es decir  $2^3$ , esta relación significa que las pequeñas diferencias en la velocidad del viento llevan a grandes diferencias en la potencia, aunque un menor cambio considerable en la potencia del viento. Por esta razón, un estudio cuidadoso y preciso del viento se debe llevar a cabo antes de diseñar un sistema de energía del viento. (Enríquez Harper, 2011, pág. 206)

### 2.2.2.10 Efecto de la geografía.

Las características geográficas del lugar de instalación pueden afectar severamente el comportamiento del viento y todo el proyecto puede depender de sólo este factor. Los terrenos pueden clasificarse en planos y terrenos no planos, esta es la clasificación básica para los terrenos. Los terrenos planos son aquellos que poseen pequeñas irregularidades como por ejemplo arbustos, etc. Los terrenos no planos son aquellos con grandes irregularidades ya sean elevaciones o depresiones como por ejemplo colinas, valles, cañones, picos, etc. Para poder clasificar adecuadamente un terreno como plano se requieren ciertos criterios:

Las diferencias de elevación entre el lugar de instalación y el terreno circundante no deben ser mayores de 60 m en un área circular de 11,5 km de diámetro con centro en la turbina. (Hualpa Huamani, 2006)

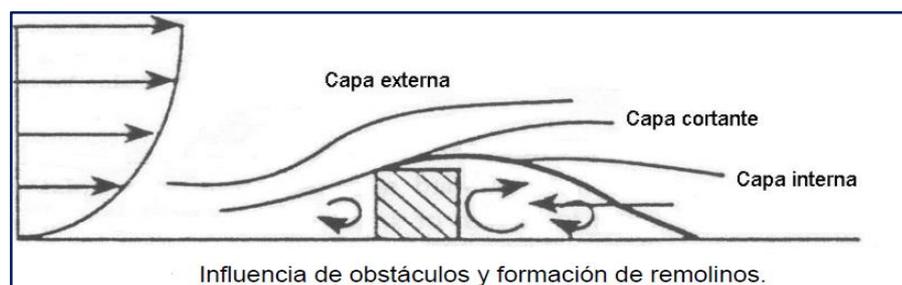
Figura 17: Efecto de la geografía.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

La forma más sencilla de representar estos obstáculos es con un bloque rectangular y considerar el flujo en dos dimensiones. Este tipo de flujo, como se muestra en la figura se produce una turbulencia y el decremento en la potencia ha sido cuantificado en base a numerosos estudios. En el ejemplo de la Figura se muestra este efecto debido a una construcción de altura, es evidente que a una distancia igual  $15h$  corriente abajo el efecto de la pérdida de potencia ya no es importante. (Hualpa Huamani, 2006, pág. 5)

Figura 18: Influencia de obstáculos.

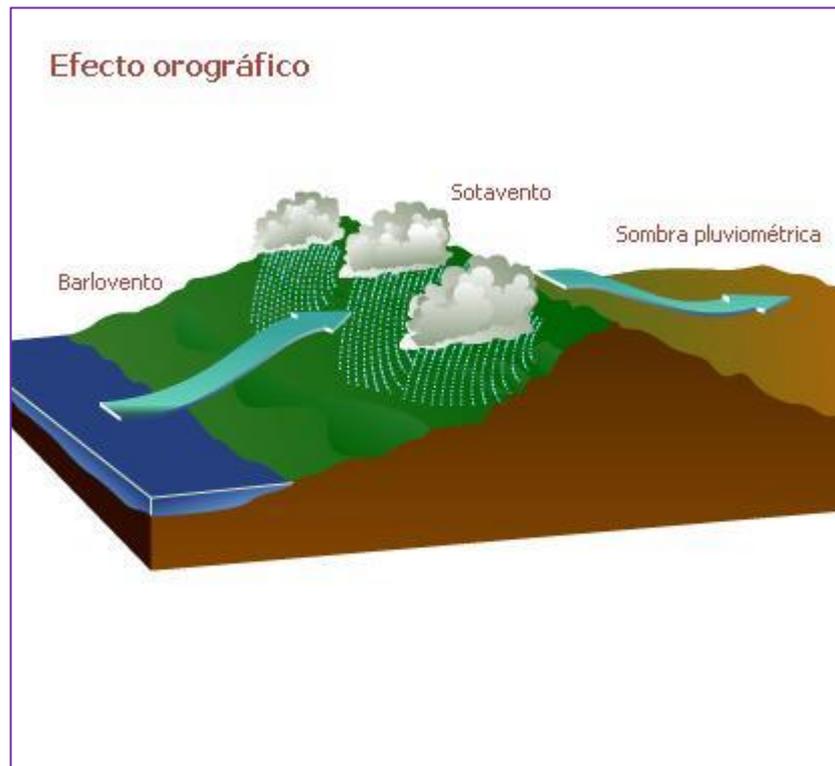


Fuente: (Hualpa Huamani, 2006)

### 2.2.2.11 Efectos orográficos y de estelas.

Cuando se quiere instalar bien una aeroturbina aislada a un parque eólico, se busca fundamentalmente que la energía obtenida sea máxima y que las cargas turbulentas, que deben soportar las máquinas acortando su vida, sean lo menores posible. Es de esperar que en distancias del orden de la meso-escala, unos 100 km, y de la macro-escala, unos 1000 km, exista un suficiente número de estaciones meteorológicas para tener, en una primera aproximación, datos generales y de muchos años sobre el viento en esa región, en cambio, es casi seguro que nos va a faltar el conocimiento detallado en la micro-escala, distancias de unos 10 km, de cómo los diferentes obstáculos, colinas, configuraciones orográficas o la propia presencia de otras aeroturbinas afectarían localmente al viento. Un efecto acelerador típico del terreno se muestra en la figura. Existen otros factores de interés en la selección de emplazamientos eólicos, tales como la facilidad de conexión para llevar a cabo la obra civil, la proximidad de los usuarios para pequeñas instalaciones, etc. (Juana Sardón, Francisco Garcia, Santos Garcia , Herrero Garcia, & Crespo Martinez, 2003)

Figura 19: Efecto orográfico.



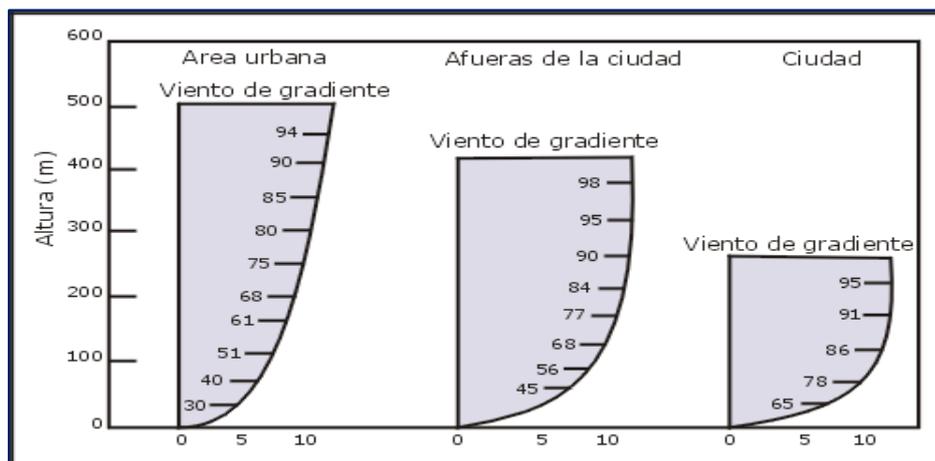
Fuente: (Hualpa Huamani, 2006)

Hay modelos de simulación numérica del flujo sobre terreno complejo, de diferente grado de dificultad y aplicabilidad, algunos de uso muy extendido, y otros más complicados, sobre los que se investiga activamente. También se recurre, aunque con menos frecuencia a la simulación física, que utiliza modelos a escala en el túnel aerodinámico. También hay otros métodos alternativos para hacer esta estimación, como la deformación de las plantas, la configuración geomorfológica del terreno, etc. Como consecuencia de estos modelos y estudios, se llega generalmente a la necesidad de la instalación local de anemómetros nuevos en sitios que el modelo ha indicado como más idóneos o representativos. (Juana Sardón, Francisco Garcia, Santos Garcia , Herrero Garcia, & Crespo Martinez, 2003, pág. 155)

### 2.2.2.12 Variación del viento con la altura.

Aun en terreno llano el viento varía con la altura sobre el suelo, según se muestra en la figura:

Figura 20: Variación del viento con la altura.



Fuente: Tuner, 1970.

El estudio de dicha variación es de gran importancia por las siguientes razones:

A mayor altura hay mayor velocidad de viento, y por tanto la potencia producida aunque por otra parte, al ser más alta la torre mayor es su coste. Es por tanto necesario optimizar el sistema, teniendo en cuenta estos dos efectos. Este es una de las razones por las que modernamente se tiende a hacer máquinas más grandes y de más potencia, y consecuentemente más altas.

Cada pala al girar se encuentra con viento variable, por lo que se generan cargas alternativas.

Por la misma razón se generan pares alternativos que dan lugar a fluctuaciones de la energía eléctrica generada. (Juana Sardón, Francisco Garcia, Santos Garcia , Herrero Garcia, & Crespo Martinez, 2003, pág. 153)

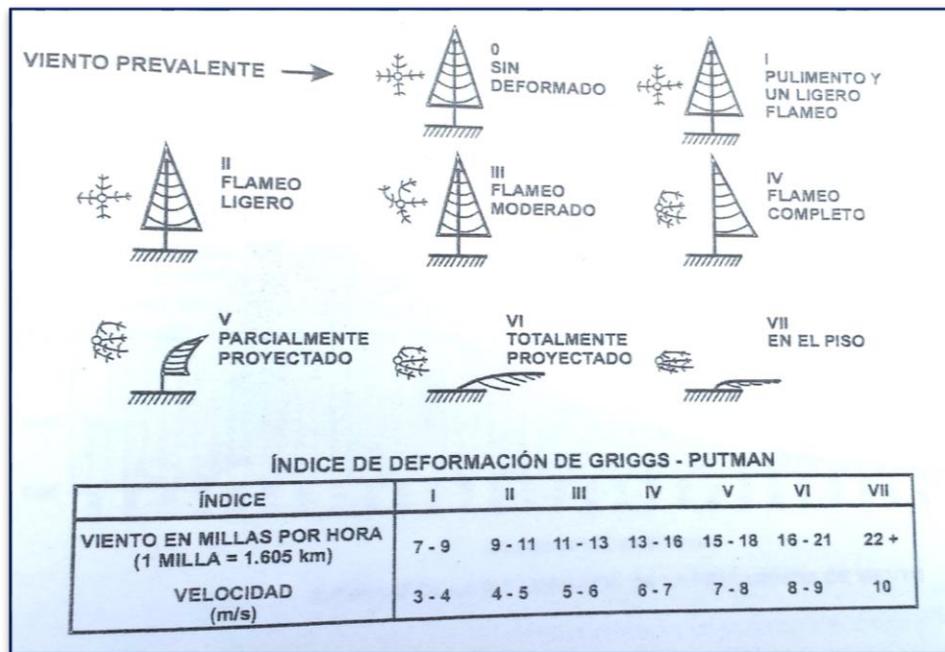
### **2.2.2.13 Medición de la velocidad y dirección del viento.**

La velocidad del viento en la vecindad de la flora y la fauna determina el índice del calor correctivo y el transporte de masa entre estos organismos y su medio ambiente. Los objetivos básicos de la medición de la velocidad del viento son para determinar si la localización es adecuada para la instalación de un molino de viento y también para estimar la potencia de salida de un sistema de conversión de la energía. Hay muchas formas para medir la velocidad del viento, algunos métodos comunes se basan en la observación del efecto del viento sobre el crecimiento de las plantas en la zona y mediciones en sitio usando equipos de monitoreo del viento.

### **2.2.2.14 Indicadores vegetativos.**

Los árboles en la vecindad del sitio, bajo consideración, puede ser un indicador un poco rústico de la dirección y velocidad del viento. Si los árboles están permanentemente deformados, se puede suponer que el viento es alto en el área y se pueden tener severas deformaciones en el tronco, lo cual ocurre a velocidades de 24 a 30 km/h. el efecto de rasurado y ondeo de las copas de los árboles se puede observar en localidades con velocidades de viento del orden de 10 a 15 km/h. sin embargo, la ausencia de deformaciones no necesariamente implica que el recurso del viento es débil. Algunas especies de árboles son más sensibles al viento que otras, por lo que la deformación de los árboles no se puede usar como una herramienta primaria en la selección del sitio para turbinas de viento. Para una información más precisa acerca de la velocidad del viento en una localidad dada, se debe usar medición de velocidad de viento con instrumentos. (Enríquez Harper, 2011, pág. 219)

Figura 21: Indicadores vegetativos.



Fuente: Enríquez Harper

**2.2.2.15 Métodos de medición de la velocidad del viento.**

Los instrumentos de medición de la velocidad del viento se conocen como anemómetros. La dirección del viento se mide ya sea usando un equipo de medición para condiciones climatológicas (menguante de tiempo) o por medio del anemómetro mismo. Adicionalmente, un monitoreo apropiado también requiere que la medición de la temperatura del aire y la presión atmosférica se deban tomar, ya que esta información es importante para la determinación de la diversidad de energía que está afectada por fluctuaciones comunes en la presión barométrica. Hay varios tipos de anemómetros, los más comúnmente usados son los siguientes: (Enríquez Harper, 2011)

**Anemómetros de rotación.**

Los diseños actuales de este tipo de instrumento tienen tres cazoletas montadas sobre un pequeño eje. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento.

Para medir el ritmo de rotación de las cazoletas, se pueden emplear contadores mecánicos, variaciones de voltaje, o interruptores fotoeléctricos.

También son utilizados, aunque menos, los anemómetros de hélice. El viento hace girar la hélice acoplada a un eje que genera una señal dependiente de este giro, de manera similar a como lo hace el anemómetro de cazoletas. Si sólo se dispone de un anemómetro, éste se acopla a una veleta para orientarse automáticamente hacia el viento. También se pueden mantener fijos siguiendo dos o tres ejes cartesianos, empleando dos o tres anemómetros, obteniendo en este caso las componentes del vector. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Figura 22: Anemómetro de cazoletas.



(Consortio Vortex (MINEM), 2016)

### **Anemómetros de plato de presión.**

Un anemómetro de plato de presión tiene un plato colgado suspendido sobre un marco, registra la fuerza del viento contra una bola o plato. Se puede usar papel gráfico para una escala, el anemómetro se mantiene a nivel con el plato encarado la dirección del viento y se estima la deflexión promedio del plato. La intensidad de la velocidad del viento se mide por la extensión a la cual el ángulo del plato se deriva de la posición perfectamente perpendicular que tomó durante las condiciones prevalentes del viento. Un anemómetro de plato no es preciso y tiene una baja sensibilidad a velocidades a velocidades bajas. (Enríquez Harper, 2011, pág. 220)

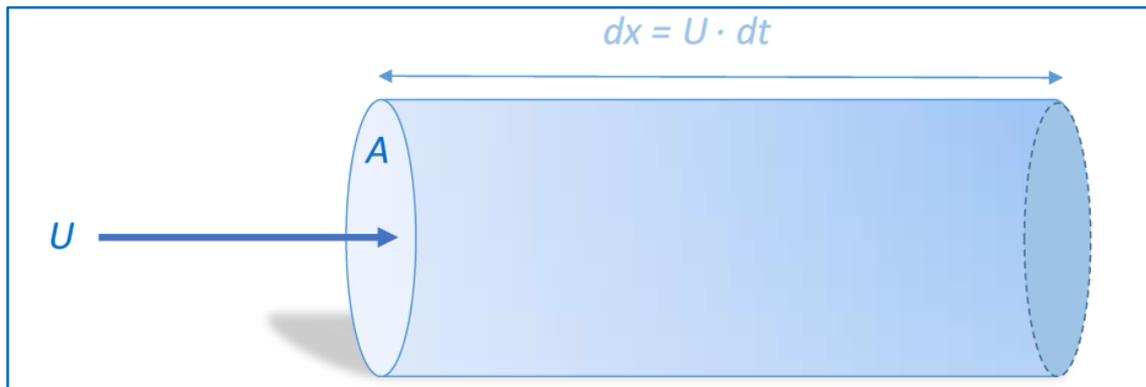
### **Anemómetros de copa.**

Este es el tipo de anemómetro más ampliamente usado, tiene tres a seis copas metálicas ligeras que están montadas sobre un eje que gira sobre unas chumaceras o baleros de baja fricción, como el arrastre del viento sobre el lado abierto a de las copas es mayor que el otro lado, entonces el eje gira; en la medida que el viento sople más rápido, es mayor la velocidad de rotación. Las rotaciones del eje ligero están conectadas por un imán y un switch de lengüeta con un generador de tacómetro. La velocidad de rotación varía con la magnitud de la velocidad del viento. (Enríquez Harper, 2011, pág. 220)

#### **2.2.2.16 Ley de Betz.**

Los aerogeneradores aprovechan la energía cinética del viento para transformarla en energía mecánica y mediante un generador producir energía eléctrica. Se puede deducir de manera sencilla la potencia que posee una corriente de viento uniforme para una determinada área  $A$ . Para ello partimos de un tubo de corriente de sección recta  $A$ , perteneciente al campo fluido del viento uniforme de velocidad  $V$  (ver figura). (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Figura 23: Flujo a través de un disco.



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

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

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{dx}{dt} = \rho \cdot A \cdot U \quad \dots(\text{Ec. 2})$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire que se considera constante en el tiempo.

Por otra parte, la energía cinética del aire que atraviesa el tubo es igual a

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot m \cdot U^2 \quad \dots(\text{Ec. 3})$$

Y la potencia (variación de energía por unidad de tiempo) será igual a

$$P = \frac{dEc}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \cdot m \cdot U^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad \dots(\text{Ec. 4})$$

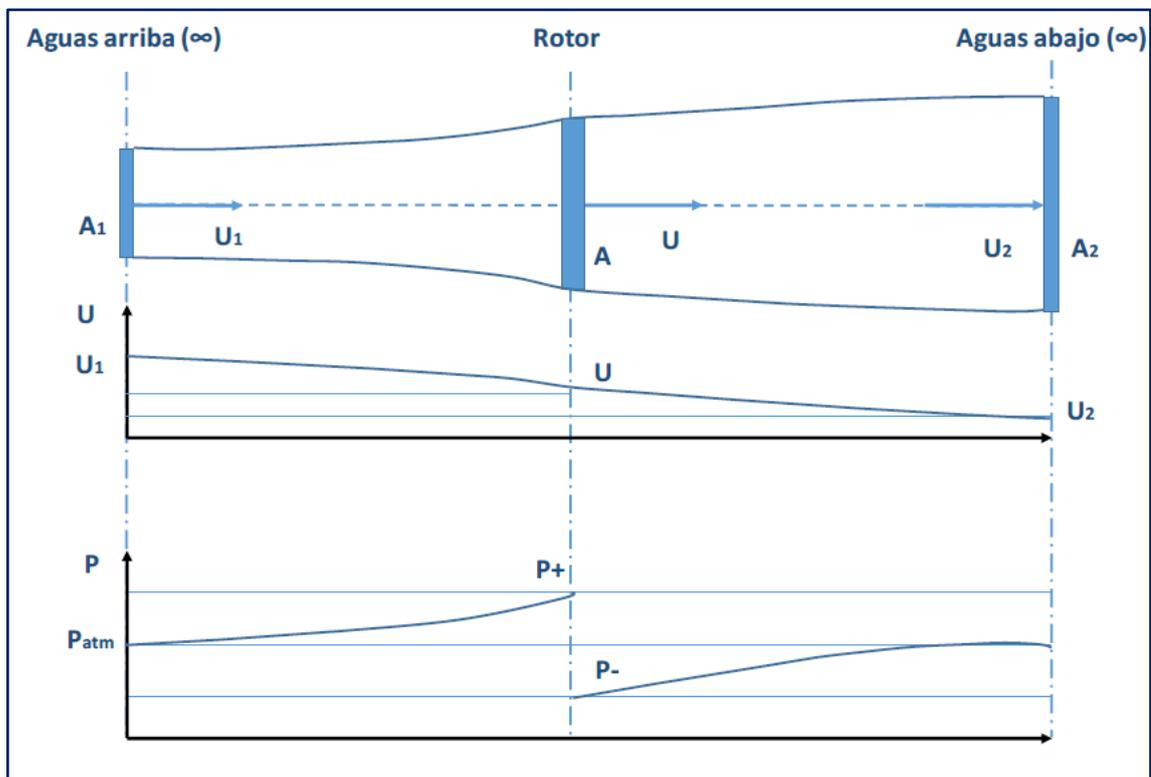
De esta expresión puede verse que la energía que puede extraerse del viento es proporcional al área del rotor del aerogenerador, a la densidad del aire y al cubo de la velocidad del viento. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

No obstante, no todo el viento que atraviesa el área del rotor de un aerogenerador puede aprovecharse. Existe un límite físico, conocido como límite de Betz que establece la energía máxima extraíble por un aerogenerador.

Si se intenta extraer con un aerogenerador la energía del viento, se verá que su velocidad disminuye al traspasar la máquina, dado que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento para transformar su energía cinética en rotacional. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

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

Figura 24 : Flujo a través del rotor de un aerogenerador.



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Puede demostrarse (mediante la ecuación de Bernoulli, la ecuación de continuidad y la de conservación de la masa) que en teoría el valor de la velocidad del viento \$V\$ en el plano del rotor es la semisuma de la velocidad incidente en el infinito aguas arriba \$U\_1\$ con la velocidad final aguas abajo en el infinito \$U\_2\$. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \dots(\text{Ec. 5})$$

Y por tanto la cantidad de masa que atraviesa el rotor por unidad de tiempo puede ponerse como:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{dx}{dt} = \rho \cdot A \cdot \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \dots(\text{Ec. 6})$$

La potencia extraída por el rotor

$$P = \frac{dEc}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \cdot m \cdot U^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot (U_1^2 - U_2^2) \cdot \frac{dm}{dt} \quad \dots(\text{Ec. 7})$$

Que sustituyendo en la expresión anterior:

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (U_1^2 - U_2^2) \cdot (U_1 + U_2) \quad \dots(\text{Ec. 8})$$

La potencia del viento incidente sobre el rotor sería:

$$P_R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U_1^3 \quad \dots(\text{Ec. 9})$$

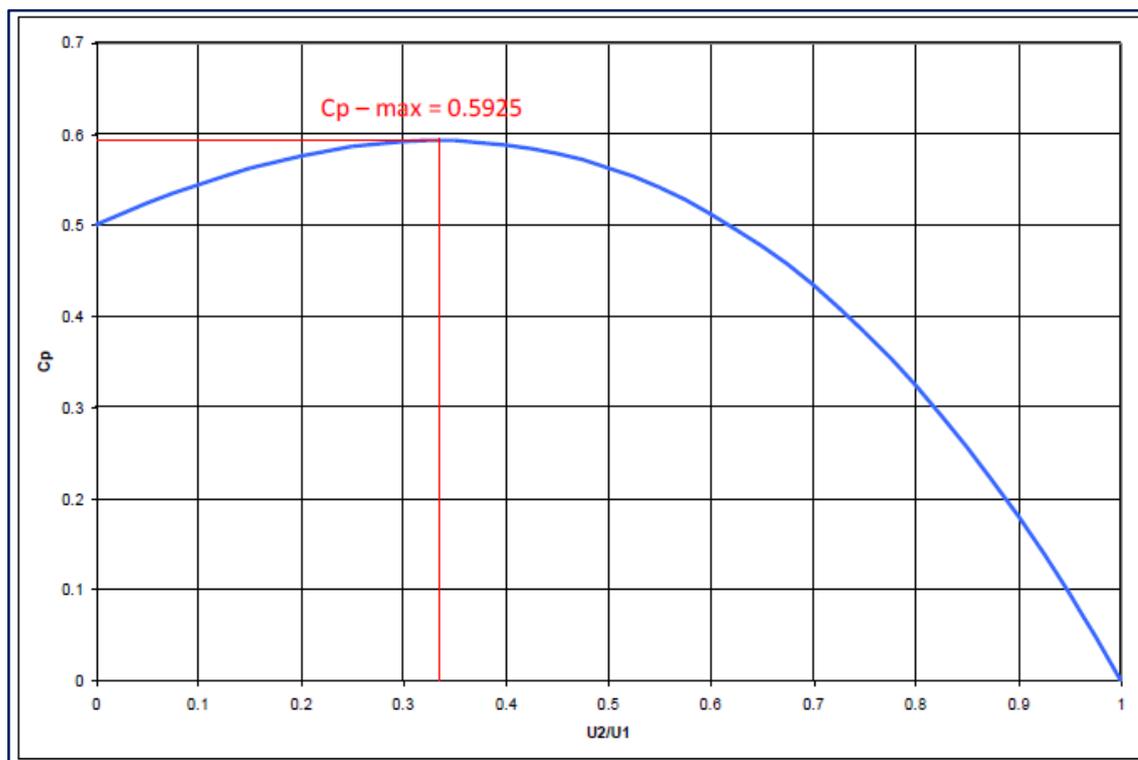
Comparando ambos valores se obtiene la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{P}{P_R} = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 - \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{U_2}{U_1} \right) \quad \dots(\text{Ec. 10})$$

Este valor  $C_p$  se conoce como el coeficiente de potencia de un aerogenerador y representa el rendimiento con el cual funciona el mismo, expresa que cantidad de la potencia total que posee el viento incidente es realmente capturada por el rotor de dicho aerogenerador. Este valor no es constante, puesto que varía en función de las condiciones de funcionamiento del aerogenerador. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

La figura siguiente muestra el valor de  $C_p$  en función del cociente de velocidad  $U_2/U_1$ , como puede verse esta función alcanza un máximo para el valor  $16/27$  ( $\approx 0.59$ ).

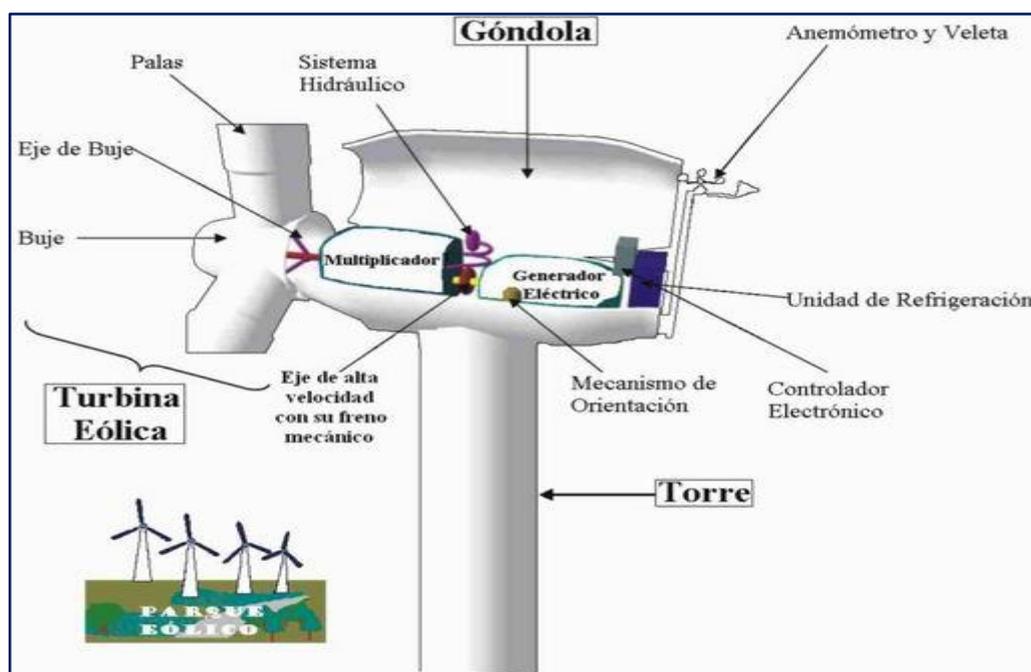
Figura 25: Límite de Betz.



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

**2.2.2.17 Componentes de un sistema de generación eólica.**

Figura 26: Componentes de la generación eólica.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

**Rotor.**

El rotor es todo el conjunto de elementos de la turbina eólica que gira por delante y fuera de la góndola. El más adecuado para producir energía eléctrica es el rotor tipo hélice. El rotor convierte la energía del viento en rotación y, por lo tanto, es el motor. En este trabajo se presenta la estructura de un rotor, se explica su operación y se comentan los elementos de control implícitos en él. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñoz, 1995)

**Álabes.**

Conocidos también como aspas o palas, los álabes son una parte imprescindible y fundamental en una turbina eólica. Realizan varias tareas y deben resistir grandes cargas. Los álabes toman la energía del viento, la capturan y la convierten en rotación en el buje. El perfil aerodinámico de los álabes es similar al perfil del ala de un avión. Los álabes emplean el mismo principio de la fuerza de empuje que actúa por la parte de abajo del ala. El aire produce una sobrepresión en la parte inferior y un vacío en la parte superior. Esta provoca una fuerza de empuje que hace que el rotor rote. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñoz, 1995)

**Número de álabes.**

Actualmente la mayoría de los rotores tienen tres álabes, son de eje horizontal y poseen diámetros entre 40 y 80 m. Además de los bien conocidos rotores de tres aspas, existen los de dos aspas o bipalas y de una sola pala, además de los multipalas empleados fundamentalmente en los pequeños aerogeneradores y en los molinos de viento para el bombeo de agua.

En el tiempo se ha demostrado que los rotores de tres palas son más eficientes en lo que respecta a la producción de energía en las grandes turbinas eólicas. Además, estos rotores permiten una distribución de masa más adecuada, lo que hace que la rotación sea más suave y tenga una apariencia de más tranquilidad visual. En definitiva, los rotores

tripalpas son los que se han impuesto por las razones anteriores. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

### **Materiales.**

Uno de los aspectos más importantes en la exitosa fabricación de los álabes es la elección del material a emplear para su producción. Su vida útil depende, en gran medida, del material de que está fabricado.

Tradicionalmente, los materiales utilizados en la fabricación de palas han sido la madera, el acero, el aluminio y en los últimos años los materiales compuestos: poliéster o resina epóxica reforzado con fibra de vidrio o fibra de carbón. La madera sola o su combinación con resina epóxica es cada vez menos usada en la fabricación de aspas. Los álabes de aluminio y las aleaciones de acero son pesados y vulnerables a la fatiga. Estos materiales son, por lo tanto, generalmente solo usados en turbinas muy pequeñas. Los álabes deben ser de bajo peso y tener un comportamiento mecánico adecuado durante su vida útil y los materiales compuestos son los que cumplen todos estos requisitos, por eso se han impuesto. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

### **Diseño y perfil.**

El diseño de un rotor de una turbina eólica se basa en el principio de definir la geometría más adecuada de los álabes para alcanzar el comportamiento deseado. Las aspas deben ser además fáciles de fabricar y tener una adecuada resistencia estructural, para resistir las altas cargas a que van a estar sometidas. El tipo de perfil aerodinámico es uno de los parámetros de diseño más importantes en el funcionamiento de las turbinas eólicas fabricadas para girar a alta velocidad.

Cada fabricante tiene su propio principio de diseño y lleva a cabo investigaciones para mejorar las características aerodinámicas de sus álabes.

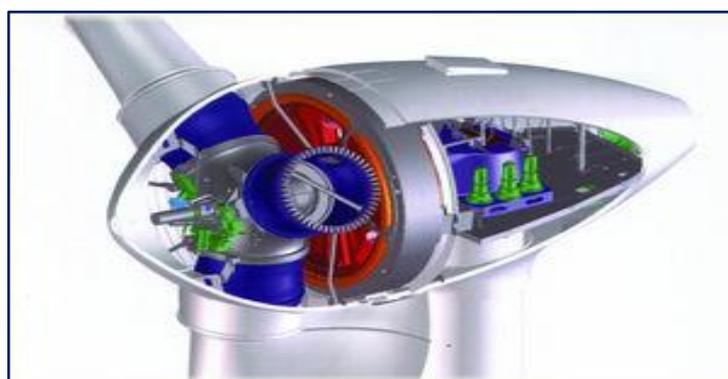
Los perfiles que se emplean usualmente son los mismos que se utilizan en la industria aeronáutica. Cada aspa tiene su geometría particular y son diferentes unas de otras según el fabricante. La potencia desarrollada por una turbina depende en gran medida de la geometría de sus álabes. En general, su fabricación se asemeja a la del ala de un avión. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

### **Buje.**

El buje es el componente del rotor que une las palas con el sistema de rotación y constituye el centro del rotor, al cual se fijan los álabes. El buje se fabrica de hierro o acero fundidos.

El buje transmite la energía desde el rotor hasta el generador. Si la turbina eólica posee caja multiplicadora, el buje se conecta al árbol de baja velocidad de la caja multiplicadora, convirtiendo la energía del viento en energía rotacional. Si la turbina es de conexión directa, el buje transmite la energía directamente al generador.

Figura 27: Buje de una turbina eólica.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

El buje puede ser de tipo rígido o basculante. En el buje rígido el conjunto de álabes se atornilla al buje y este se fija rígidamente al eje de giro. Se usa más en los rotores de tres palas, en los que el rotor está mejor equilibrado. Los bujes basculantes se emplean para reducir las cargas que se producen sobre el buje. Este tipo de buje se emplea

mayoritariamente en los rotores bipalas, ya que el pivoteo hace que se equilibren las cargas en cada revolución. La mayoría de los fabricantes usan el buje rígido; esto lo hace más resistente, reduce el número de componentes móviles que pueden fallar y es relativamente fácil de construir. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

### **Regulación de potencia.**

El sistema de regulación de potencia se encuentra insertado en el rotor y en particular en sus álabes. La potencia que una turbina eólica absorbe tiene que ser controlada. Si el viento es muy fuerte, la potencia es reducida para prevenir daños al sistema. Esta regulación se realiza en el rotor. Básicamente, hay dos principios de regulación de potencia.

Regulación por entrada en pérdida aerodinámica pasiva (regulación por separación del flujo). Se conoce también como sistema de control danés por su procedencia. En este caso los álabes están rígidamente fijados al buje y no cambian su ángulo de posición. Cuando el viento es demasiado fuerte el generador asincrónico limita la generación de potencia automáticamente. Su velocidad de rotación es restringida por la frecuencia de la red eléctrica, de esta forma el rotor no puede girar más rápido cuando la velocidad es más fuerte. En este concepto, los álabes del rotor se diseñan para que ocurra la separación del flujo a una cierta velocidad del viento (stall), reduciéndose la potencia. En este caso se le llama regulación por entrada en pérdida pasiva (passive stall, en inglés).

Cuando el viento alcanza la velocidad máxima de diseño, la automática del aerogenerador procederá a frenar la turbina, haciendo rotar por un mecanismo especial los extremos de las palas, conocido por freno aerodinámico, y provoca un fuerte frenado aerodinámico. Una vez que la velocidad de la turbina se ha reducido en grado suficiente, se completa su frenado hasta la parada e inmovilización, aplicando un freno mecánico de

disco que forma parte del tren de fuerza del aerogenerador. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

### **Regulación por cambio de paso del álabe.**

Se entiende por paso el ángulo de posición de la pala. Este concepto de control se desarrolló entre 1990 y 2000, posterior al sistema danés anterior. En este caso, cada álabe individualmente puede girar sobre su eje. El accionamiento que ajusta el paso puede ser mecánico (en los sistemas de menos de 100 kW), hidráulico (más de 300 kW) o eléctrico (es el más común, especialmente para las grandes turbinas mayores de 500 kW). (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

Un sistema de control monitorea la potencia que entrega la turbina. Si el viento es demasiado fuerte, los álabes se hacen girar contrario a la dirección del viento, generalmente algunas fracciones de grado. Esto reduce la sustentación o empuje, de forma que el rotor continúa generando su potencia nominal aunque las velocidades del viento aumenten.

Existe también la regulación por entrada en pérdida activa o active stall, que es una combinación de los dos métodos anteriores, pues se trata de una turbina diseñada para regulación por entrada en pérdida, pero dotada de paso variable. Este último control es usado principalmente en las grandes turbinas mayores que 1 MW. El active stall permite que la potencia sea regulada con más precisión que en la regulación por pérdida pasiva. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

Figura 28: Regulación por cambio de paso del alabe.



Fuente: (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

El rotor consiste en palas con formas especiales, superficies aerodinámicas. Los rotores están hechos normalmente de compuestos de fibra de vidrio, plástico reforzado o madera. La cantidad de energía que una turbina eólica producirá está determinada sobre todo por el diámetro de este rotor. El diámetro del rotor define su “área de barrido”, o la cantidad de viento interceptado por la turbina eólica. Las palas son giratorias para conseguir un cierto ángulo de ataque con respecto al viento, para así controlar la velocidad de giro del rotor e impedir que éste gire con vientos que son o demasiado altos o demasiado bajos para producir electricidad. (Briconatur, 2012)

### **Generador.**

El generador convierte el movimiento de rotación de las palas de la turbina eólica en electricidad. El generador puede producir corriente alterna (AC) o corriente continua (DC), y existe en un amplio rango de potencias disponibles. La categoría o magnitud del generador depende de la longitud de las palas de la turbina eólica: cuanto más largas sean las palas, más energía se genera. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

Figura 29: Aerogenerador.



Fuente: (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

### **Caja de cambios.**

Muchas turbinas (particularmente aquellas por encima de los 10 kW) usan una caja multiplicadora de velocidad de giro para adaptar la velocidad del rotor a una velocidad adecuada para el generador.

### **Góndola.**

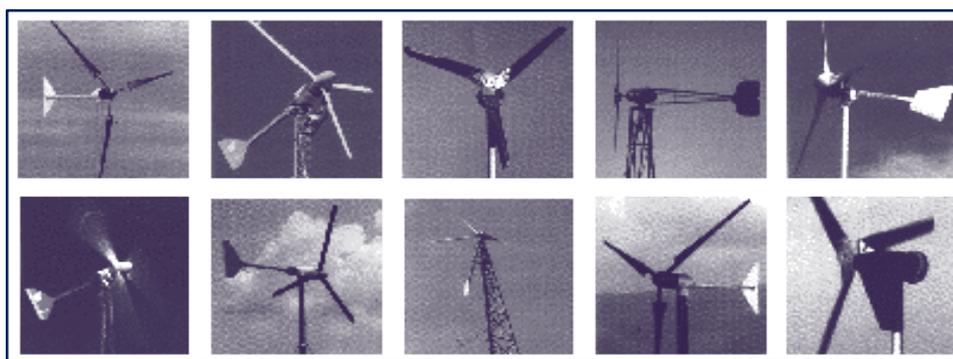
La góndola es el recinto que protege la caja multiplicadora, el generador y otros componentes de los elementos. La góndola se puede retirar para operaciones de mantenimiento. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

### **Sistema de orientación.**

El sistema de orientación alinea la turbina eólica con el viento. La mayoría de las pequeñas unidades usan una simple cola que dirige el rotor hacia el viento. Existen ciertos mecanismos especiales para desorientar la turbina en caso de vientos peligrosamente elevados. (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

El sistema de orientación de casi todos los aerogeneradores pequeños es por veleta de cola.

Figura 30: Sistemas de orientación.

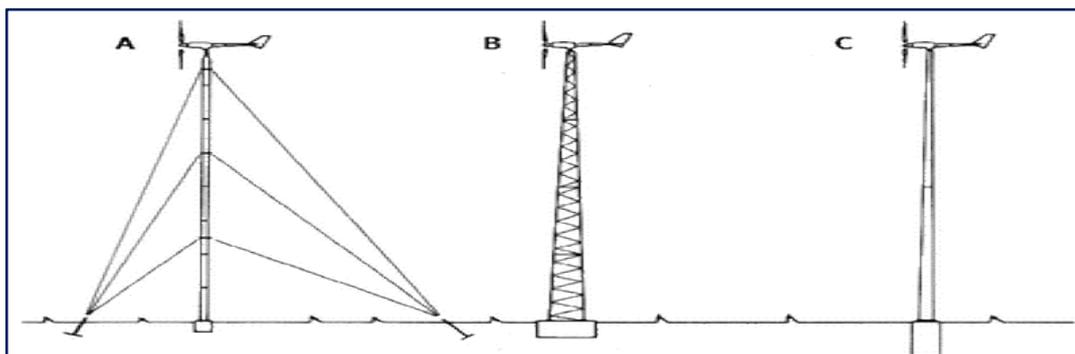


Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

**Torre.**

Las torres más frecuentes son las autoportantes y las atirantadas o con tensores (A), las de celosía (B) y las tubulares (C).

Figura 31: Torres y su forma de instalación.



Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

La torre sostiene la turbina y es, por lo tanto, una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo. Como el viento se vuelve menos turbulento e incrementa su velocidad con la altura respecto al suelo, y la producción de potencia se incrementa sustancialmente con la velocidad del viento, incrementar la altura de la torre de 10 a 50 metros puede duplicar la energía del viento disponible.

Hay dos tipos básicos de torres: autoportadas y mantenidas mediante cables. La mayoría de las torres de sistemas de energía eólica para sistemas domésticos son mantenidas mediante cables. Estas torres son las menos caras, pueden ser construidas con

partes de celosía, tubería o tubo y los cables de soporte. Las torres afianzadas con cables son también más fáciles de instalar que las autosoportadas. Sin embargo, en el caso de torre mantenida con cables, se requiere más espacio para su instalación. Existen también las torres inclinables, que aunque son más caras, ofrecen mayor facilidad para llevar a cabo el mantenimiento en turbinas pequeñas y ligeras (de menos de 5 kW). (Enrique Baldovino Fernandini, 2008)

#### **2.2.2.18 Sistemas de protección y control.**

Los sistemas de control abarcan desde interruptores, fusibles y reguladores de la carga de baterías hasta sistemas computarizados de control de sistemas de orientación. La sofisticación de los sistemas de control y protección varía dependiendo de la aplicación de la turbina eólica y del sistema de energía que soporta. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

En general, los aerogeneradores modernos de eje horizontal se diseñan para trabajar con velocidades del viento que varían entre 3 y 25 m/s de promedio. La primera es la llamada velocidad de conexión y la segunda la velocidad de corte. Básicamente, el aerogenerador comienza produciendo energía eléctrica cuando la velocidad del viento supera la velocidad de conexión y, a medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada es mayor, siguiendo la llamada curva de potencia.

Las aspas disponen de un sistema de control de forma que su ángulo de ataque varía en función de la velocidad del viento. Esto permite controlar la velocidad de rotación para conseguir una velocidad de rotación fija con distintas condiciones de viento.

Asimismo, es necesario un sistema de control de las velocidades de rotación para que, en caso de vientos excesivamente fuertes, que podrían poner en peligro la instalación, haga girar a las aspas de la hélice de tal forma que éstas presenten la mínima oposición al viento, con lo que la hélice se detendría.

Para aerogeneradores de gran potencia, algunos tipos de sistemas pasivos, utilizan características aerodinámicas de las aspas que hacen que aún en condiciones de vientos muy fuertes el rotor se detenga. Esto se debe a que él mismo entra en un régimen llamado "pérdida aerodinámica". (Pacco Ramírez K. , 2008)

#### **2.2.2.19 El potencial eólico futuro.**

Según un estudio dirigido en 2009 por, una instalación adecuada de aerogeneradores en todo el mundo podría suministrar una cantidad de energía 40 veces superior a la demanda global. Su cálculo consideraba la construcción de parques eólicos en regiones del planeta donde no causarían perjuicio ecológico. Suponía, además, que los aerogeneradores serían de tamaño mediano (con una potencia nominal de 2,5 megavatios) y que se encontrarían detenidos el 80 por ciento del tiempo. Hoy, el mayor aerogenerador comercial del mundo, el modelo E-126 de la compañía alemana Enercon, cuenta con una potencia nominal de 7,5 megavatios, lo suficiente para abastecer a unos 10.000 hogares. Para los próximos años, los planes de la estadounidense General Electric incluyen la construcción de una turbina con componentes superconductores cuya potencia ascendería a entre 10 y 15 megavatios. Y aunque es cierto que las instalaciones eólicas permanecen inactivas la mayor parte del tiempo (en ocasiones, la tasa de utilización no llega al 20 por ciento), se trata, en cualquier caso, de un recurso energético cuyas reservas son inagotables. (McElroy, 2009)

Según los datos de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA), una organización encargada de promover el desarrollo de esta fuente de energía, los aerogeneradores conectados hoy a la red suman una potencia instalada de 215 gigavatios y cubren en torno al 2 por ciento del consumo energético mundial. La producción eólica de electricidad representa, además, un sector económico en rápida expansión, con un crecimiento mínimo del 20 por ciento anual. Para finales de este año, la WWEA calcula

un aumento de 44 gigavatios, el equivalente a la construcción semanal de un parque eólico de gran tamaño. El Consejo Global de Energía Eólica, que agrupa a la industria del ramo, pronostica que, para 2030, esta técnica de producción renovable podría cubrir entre el 25 y el 30 por ciento del consumo mundial, una conclusión similar a la que ha llegado el Departamento de Energía estadounidense. Con unos 45 gigavatios instalados, China constituye, hoy por hoy, el mayor productor de energía eólica del mundo. Le sigue EE.UU., por delante de Alemania, España e India. El mercado del gigante asiático es, además, el que está experimentando un crecimiento más rápido: a él se debe casi la mitad de la potencia que se instaló durante 2010 en todo el mundo. (Samulat, 2012)

Perú tiene un potencial de generación eólica aprovechable de 22GW, según el Atlas Eólico del Perú, publicado en el marco del proyecto gubernamental de electrificación rural Foner.

Si bien el potencial de generación eólica asciende a 77GW, la cifra disminuye si se excluyen las áreas situadas a más de 3.000m sobre el nivel del mar, con pendientes de más de 20%, en centros poblados, zonas protegidas o cerca de ríos, cañones o lagos.

De las 25 regiones del país, 9 fueron identificadas por tener potencial eólico:

Tabla 4: Potencial eólico en el Perú.

<b>POBLACIÓN</b>	<b>POTENCIAL EÓLICO</b>
Ica	9.14
Piura	7.55
Cajamarca	3.45
Arequipa	1.16
Lambayeque	0.564
La Libertad	0.282
Lima	0.156
Ancash	0.138
Amazonas	0.006

Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

La energía eólica es aquella obtenida del viento generado por efecto de las corrientes de aire, y que es transformado en otras formas útiles para las actividades humanas. Este tipo de energía es un recurso renovable, autóctono, abundante, limpio y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar los combustibles fósiles de las termoeléctricas por energía ‘verde’.

“Desde hace siete años aproximadamente, en el mundo la energía eólica ha alcanzado niveles impensables en países como China, Estados Unidos, Alemania, España e India quienes lideran la producción de esta energía. China es el país con mayor potencia instalada en el mundo seguido muy de cerca por Estados Unidos, que ha decidido apostar seriamente por la transformación de su modelo energético hacia un modelo sostenible basado en energías renovables”, señala el Dr. Alberto Ríos Villacorta,

“Alemania y España son pioneros en la correcta integración de la energía eólica en sus sistemas eléctricos y tecnológicamente lideran el proceso de maximizar la potencia eólica inyectada en sus redes eléctricas, siendo referentes mundiales en estos asuntos. En Latinoamérica, el país más avanzado en energías renovables es Brasil, que además ha creado un pequeño tejido industrial asociado a sus planes de implantación de tecnología eólica”, agrega Ríos Villacorta. (Samulat, 2012)

### **2.2.3 Energía híbrido solar-eólica.**

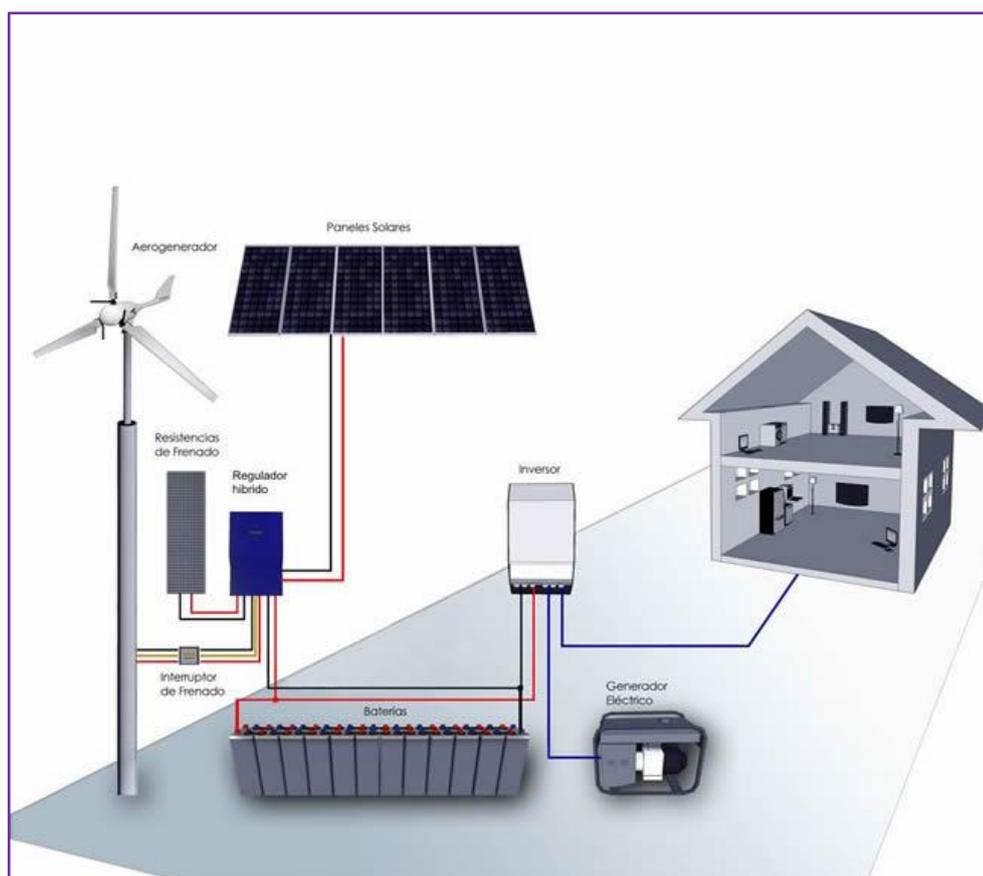
#### **2.2.3.1 Sistema híbrido.**

En los sistemas híbrido aislados para casas, granjas, sistemas de riego o pequeñas poblaciones frecuentemente es posible y conveniente, de acuerdo a la aplicación, combinar fuentes de energía renovables o algunas veces convencionales, como el caso de las plantas diésel de pequeño o mediano tamaño. La combinación de las tecnologías se asocia a la disponibilidad de las fuentes primarias, su ciclo de utilización y las características de las cargas. (Enríquez Harper, 2011, pág. 278)

Un sistema híbrido es un sistema compuesto por dos o más sistemas, ej.: Sistema Híbrido Diésel-Eólico, Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico, Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico-Hidráulico.

Los sistemas autónomos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad. (Pacco Ramírez K. L., 2008)

Figura 32: Sistema híbrido

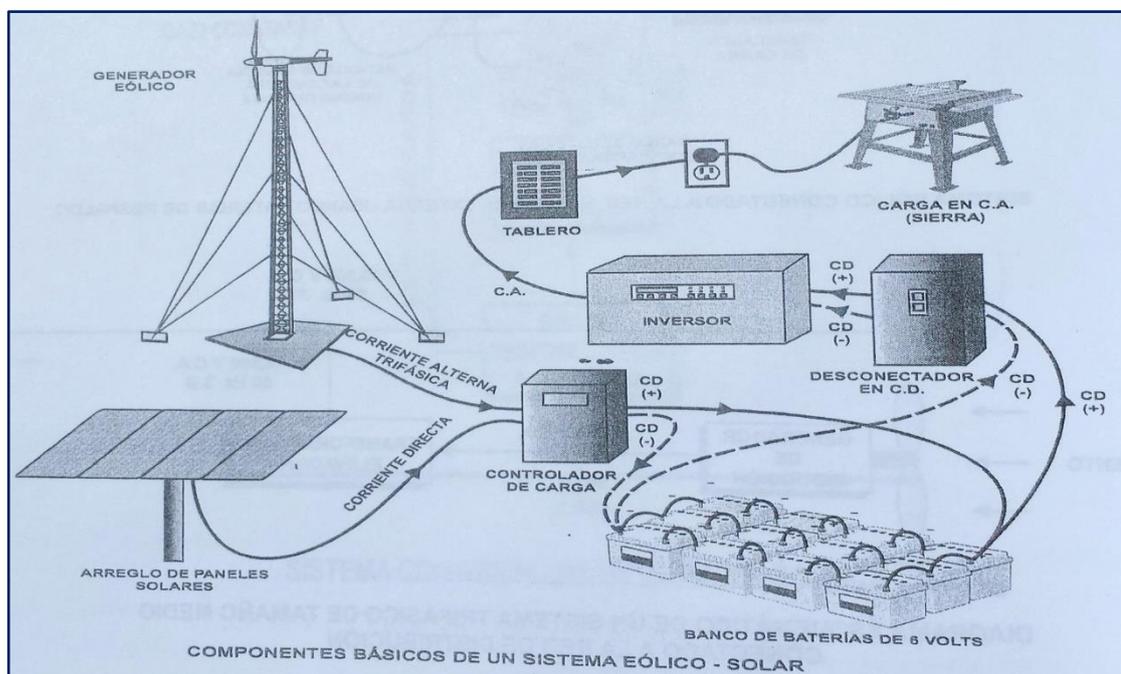


Fuente: (Enríquez Harper, 2011)

### 2.2.3.2 Componentes de un sistema híbrido solar-eólico.

En la actualidad estos sistemas operan en forma aislada, pueden tener un costo elevado, de aquí que su uso es restringido, sin embargo como sistemas experimentales con vistas al futuro si tienen un desarrollo ya que en la medida que los costos de estas tecnologías bajen, representarán una opción atractiva de generación a pequeña escala. (Enríquez Harper, 2011, pág. 278)

Figura 33: Componentes de un sistema híbrido solar-eólico.



Fuente: Enríquez Harper

- Generador eólico
- Arreglo de paneles solares
- Controlador de carga
- Banco de baterías
- Inversor
- Tablero
- Carga

### 2.2.3.3 El potencial energético de un sistema híbrido solar-eólico.

Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad. (Pacco Ramírez K. , 2008)

El objetivo ideal sería obtener un conjunto de ecuaciones que ligen los datos meteorológicos (velocidad de viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico y baterías). (Pacco Ramírez K. L., 2008)

### 2.2.3.4 La eficiencia del módulo híbrido.

Para calcular la eficiencia del módulo híbrido se tendrá que hacer de manera experimental midiendo la tensión y la corriente para luego hacer los cálculos respectivos. (Enríquez Harper, 2011)

$$\eta = \left( \frac{P_{\text{Generada en campo}}}{P_{\text{Nominal}}} \right) * 100 \% \quad \dots(\text{Ec. 11})$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia del módulo híbrido (%).

$P_{\text{Nominal}}$ : Potencia nominal del módulo híbrido (640 Watts).

$P_{\text{Generada en campo}}$ : Potencia Generada en campo por el módulo híbrido.

## 2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.3.1 Hipótesis general.

Con la instalación del módulo híbrido solar eólico se estudiara la eficiencia de manera experimental en la EPIME, con lo cual se llegará a definir que la influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento de la eficiencia es positivo considerable.

### 2.3.2 Hipótesis específicas.

- a. Con la variación de la radiación solar y la velocidad del viento, se determinara que la influencia de estos en la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico es positivo considerable.
- b. Con la instalación del módulo híbrido solar-eólico en cuatro sectores de diferentes condiciones ambientales, se determinara que la influencia de la ubicación geográfica, en la eficiencia del módulo es positivo considerable.

## 2.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 5: Operacionalización de variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores
<b>Dependientes</b>		
1.- Eficiencia	(%)	Variación de la radiación solar, Velocidad del viento y Variación de la altitud.
<b>Independientes</b>		
1.- Radiación Solar	W/m <sup>2</sup>	Horas de Sol
2.- Velocidad del Viento	m/s	Horas de Viento
3.- Ubicación geográfica	(m.s.n.m.)	Variación de la altitud

Elaboración: Propia.

## CAPÍTULO III

### 3 DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es tecnológica u operativa (Valderrama Mendoza, 2015, pág. 40)

##### 3.1.2 Diseño de investigación.

El diseño de investigación es experimental “puro” (Avila Rojas, 2009)

##### 3.1.3 Población y muestra de investigación.

La población donde se realizaron las pruebas fueron las siguientes:

Tabla 6: Población y muestra de investigación.

<b>Población</b>	<b>Muestra</b>
Salcedo	61 muestras
Ventilla (Alto Puno)	61 muestras
Yanamayo (Antenas)	61 muestras
Llavini (EPIME)	61 muestras

Elaboración: Propia.

Obteniendo en cada sector un número total de 61 muestras, desde las 8:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., tomando datos cada 10 minutos.

### 3.1.4 Ubicación y descripción de la población.

#### I. Salcedo.

Las pruebas se han realizado en las siguientes coordenadas UTM: Este 394237 y norte 8245903, al costado de la carretera panamericana sur.

Figura 34: Fotografía panorámica de Salcedo.



Elaboración: Propia.

#### II. Ventilla (Alto Puno).

Las pruebas se han realizado en las siguientes coordenadas UTM: Este 388000 y norte 8247971.

Figura 35: Fotografía panorámica de Ventilla (Alto Puno).



Elaboración: Propia.

### III. Yanamayo (antenas)

Las pruebas se han realizado en las siguientes coordenadas UTM: Este 390879 y norte 8251826.

Figura 36: Fotografía panorámica de Yanamayo (Antenas)



Elaboración: Propia.

### IV. Llavini (EPIME).

Las pruebas se han realizado en las siguientes coordenadas UTM: Este 390844 y norte 8250109.

Figura 37: Fotografía Panorámica de Llavini (EPIME)



Elaboración: Propia.

## 3.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

### 3.2.1 Cálculos para la selección de componentes del módulo.

En esta parte desarrollaremos detalladamente en lo que respecta a los cálculos que justifiquen la selección de los equipos, componentes y/o accesorios que componen el módulo híbrido solar-eólico para la generación de energía eléctrica.

Desarrollándose los cálculos y dimensionamiento para los siguientes equipos y/o accesorios del módulo:

- Cálculo de la demanda de consumo.
- Selección del panel solar.
- Selección del aerogenerador.
- Selección del controlador.
- Cálculo del número de baterías.
- Selección del inversor.

#### 3.2.1.1 Cálculo de la demanda de consumo.

Esto lleva a tener presente que el dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos, como del banco de baterías de un sistema autónomo y de los demás componentes, es inminentemente necesario conocer cuáles son las cargas a conectar al sistema (computadores, video beam, etcétera), conocer la potencia nominal (P) (vatios) demanda por cada una, el número de cargas del mismo tipo (n) y las horas diarias de funcionamiento (t).

Cada carga demandará un consumo diario (Cd) medido en Wh/día, de acuerdo a la ecuación. 12:

$$C_d = P * n * t \quad \dots(\text{Ec. 12})$$

Donde:

$P$ : Potencia unitaria de cada carga conectada.

$n$ : Número de cargas del mismo tipo.

$t$ : Tiempo diario de uso de una carga específica.

El consumo diario total entonces será:

$$C_d = \sum_{i=1}^N P_i * n_i * t_i \quad \dots(\text{Ec. 13})$$

Donde:  $i$  es cada una de las cargas a alimentar y  $N$  son todas las cargas conectadas.

En los sistemas FV aislados de la red, se calculan por separado las cargas en CC de las CA, pero para el presente proyecto, solo se conectarán cargas en CA, por lo que toda la energía producida por el sistema será convertida en corriente alterna por medio del inversor.

Tabla 7: Cálculo de la demanda de consumo.

<b>Cálculo de la demanda de consumo</b>					
<b>Descripción</b>	<b>Considerando una vivienda en zona rural de 2 Dormitorios, 1 Cocina, 1 Almacén, 01 Baño.</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (Watts)</b>	<b>Tiempo de utilización (horas/día)</b>	<b>Consumo diario (Wh/día)</b>
1	Focos ahorradores de 20 W	5	20	4	400
2	Tv Led de 24 pulgadas	1	100	3	300
3	Equipo DVD	1	25	3	75
5	Equipo de sonido	1	50	6	300
6	Cargadores de celular	5	0.3	2	3
7	Otros	1	100	2	200
<b>TOTAL</b>					<b>1278</b>

Elaboración: Propia.

**3.2.1.2 Cálculos para el sistema fotovoltaico.**

**Inclinación de panel fotovoltaico.**

La inclinación del módulo fotovoltaico puede variar a lo largo del año, por lo tanto la inclinación del módulo estará en función de la altitud del lugar.

Tabla 8: Inclinación del panel fotovoltaico.

Latitud del lugar	Angulo en invierno	Angulo en verano
0 a 15°	15°	15°
15° a 25°	Latitud	Latitud
25° a 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30° a 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35° a 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
>40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°

Fuente: José Roldan Viloria

El ángulo de inclinación debe optimizar la captación de energía solar durante el peor mes, es decir, el mes con la peor relación entre los valores diarios de la irradiación y el consumo en media mensual. Generalmente se puede suponerse que la demanda de los usuarios es constante.

Para un día específico en el departamento de Puno, es la siguiente formula:

$$\delta = 23.45 * \text{sen}\left(360 * \frac{284 + \delta_n}{365}\right) \quad \dots(\text{Ec. 14})$$

Donde:

$\delta$ : Declinación (grados)

$\delta_n$ : Día del año (1... 365, tomando 1 para el primer día de enero)

$\emptyset$  es la latitud r de instalación.

Reemplazando en la ecuación 14.

$$\delta = 23.45 * \text{sen}\left(360 * \frac{284 + 192}{365}\right)$$

$$\delta = 18.67^\circ$$

Inclinación óptima:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi| \quad \dots(\text{Ec. 15})$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : Angulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$ : Latitud del lugar, sin signo (grados)

Reemplazando en la ecuación 15.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * 15.85$$

$$\beta_{opt} = 14.64^\circ$$

Otra manera de obtener la inclinación tomando en cuenta la latitud:

$$\text{Inclinacion}(\ast) = \text{MAX}(|\phi|) \quad \dots(\text{Ec. 16})$$

Latitud del departamento de Puno =  $15^\circ 50' 56''$

Reemplazando en la ecuación 16.

$$\text{Inclinacion}(\ast)\text{Puno} = \text{MAX}(|15^\circ 49' 31.57''|)$$

$$\text{Inclinacion}(\ast)\text{Puno} = 15^\circ$$

### **Determinación de las horas pico solar (hps).**

Las horas de pico solar HPS su unidad horas (h), son las horas de irradiación diarias, su valor puede variar entre 3 a 7 horas. Su ecuación es la siguiente:

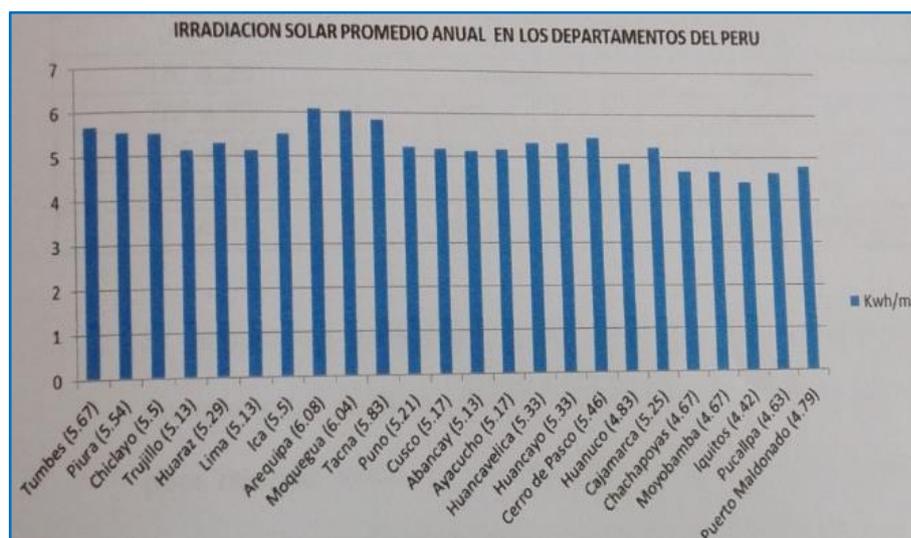
$$\text{HPS}(h) = \frac{H\left(\frac{\text{KWh}}{\text{m}^2}\right)}{I\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)} \quad \dots(\text{Ec. 17})$$

Donde:

H: irradiación que corresponde con la energía por la unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo y que se mide en KWh/m<sup>2</sup>.

I: 1000 W/m<sup>2</sup> (a la cual está siempre medida la potencia de los módulos fotovoltaicos).

Figura 38: Irradiación solar promedio anual en el Perú



Fuente: (Cahui Cahui & Cruz Balcona, 2013)

De la figura anterior el valor promedio de irradiación para el departamento de Puno es de 5210 Wh/m<sup>2</sup>, el cual se utilizara para los cálculos de dimensionado de la instalación solar.

Datos:

$$H = 5210 \text{ Wh/m}^2$$

$$I = 1000 \text{ W/m}^2$$

Reemplazando los datos en la ecuación (17) tenemos:

$$HPS(h) = \frac{5.210 \left( \frac{KWh}{m^2} \right)}{1000 \left( \frac{W}{m^2} \right)}$$

$$HPS(h) = 5.21 h$$

### CÁLCULO DEL CONSUMO REAL

En la ecuación (Et) representa el consumo energético diario teórico medido en Wh de todas las cargas. Partiendo del resultado de este cálculo se debe determinar el Consumo

Energético Real (E) medido en Wh, el cual tiene en cuenta las pérdidas de cada uno de los componentes del sistema FV, a partir de la ecuación:

$$E = \frac{E_t}{K_t} [Wh] \quad \dots(\text{Ec. 18})$$

### Cálculo de las pérdidas totales en la instalación (Kt).

Donde Kt es el rendimiento total de la instalación FV el cual se calcula con:

$$K_t = \left[ 1 - (K_B + K_C + K_X) * \left[ 1 - K_a * \frac{D_{aut}}{P_d} \right] \right] \quad \dots(\text{Ec. 19})$$

Donde:

**K<sub>B</sub>**: Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento de acumulador:

0,05 en sistemas que no producen descargas intensas.

0,1 en sistemas con descargas profundas.

**K<sub>C</sub>**: Pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas.

**K<sub>X</sub>**: pérdidas varias (transmisión, efecto joule, etc.)

El intervalo de este parámetro que se toma como referencia es:  $0,05 < K_v < 0,15$ .

**K<sub>a</sub>**: coeficiente autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

0,002 para baterías de baja Autodescarga (Ni-Cd).

0,005 para baterías estacionarias de plomo acido (las más usuales).

0,012 para baterías de alta Autodescarga (SLI).

**D<sub>aut</sub>**: Días de autonomía con baja o nula insolación.

$P_d$ : Profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías; por defecto se escoge un valor del 60 o 70%.

$$K_B=0.05, K_C=0.005, K_X=0.05, K_A=0.005, D_{aut}=1, P_d=0.7.$$

Reemplazando los datos en la ecuación (19) tenemos:

$$K_t = 0.85$$

Para la ecuación (18) la carga teórica es.

$$E_t = 1278 [Wh/día]$$

Reemplazando los datos en la ecuación (18) tenemos:

$$E = \frac{1278}{0.85} = 1503.53 [Wh/día]$$

### Otra ecuación para calcular el consumo real

Una vez conocida la carga se procede con el cálculo del consumo real, teniendo en cuenta además de lo consumido por cada carga, las pérdidas, del mismo sistema fotovoltaico.

$$E_r = \left[ E_{cc} + \left( \frac{E}{\eta_{inv}} \right) \right] / (\eta_{bat} * \eta_{cond}) \quad \dots(\text{Ec. 20})$$

Donde:

$E_{cc}$ : Energía de cargas de corriente continua. Es = 0.

$E$ : Energía de cargas de corriente alterna = 6210.6 Wh/día.

$\eta_{inv}$ : Rendimiento del inversor 90% = 0.9.

$\eta_{bat}$ : Rendimiento en baterías 95% = 0.95.

$\eta_{cond}$ : Rendimiento en conductores 100% = 1.

Reemplazando en la ecuación (20) tenemos.

$$E_r = \left[ 0 + \left( \frac{1278}{0.9} \right) \right] / (0.95 * 1)$$

Las 2 ecuaciones nos dan como resultado datos cercanos.

$$E_r = 1494.74 \frac{Wh}{dia}$$

Convirtiendo a amperios hora en un día.

$$E_r = \frac{1494.74}{24V} = 62.28 \frac{A - h}{día}$$

### Dimensionamiento de los paneles fotovoltaico.

Tabla 9: Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico

Especificaciones técnicas del panel solar monocristalino CNBM 120 W	
<b>Características</b>	
Potencia Max. de voltaje Vmp (V)	17.6 V
Potencia Max. de corriente Imp (A)	6.82 A
Voltaje en circuito abierto (V)	22,4 V
Corriente de corto circuito Isc (A)	7.09 A
Potencia Max. Pm (W)	120
<b>Coefficiente de Temperatura de Celdas</b>	
NOCT	47 ±2°C
Coefficiente de Temperatura Isc (%/°C)	0.06
Coefficiente de Temperatura Voc (%/°C)	-0.32
Coefficiente de Temperatura Pmp (%/°C)	-0.45
<b>Datos</b>	
Dimensión	1210x670 x30 mm
Peso	9.0kg
Tolerancia	±3%
<b>Limites</b>	
Temperatura en Uso	-45 °C to +80°C
Temperatura Almacenada	-45 °C to +80°C
Max Sistema de voltaje	700V
<b>Garantía</b>	
Garantía del Producto	2 años
Vida Útil	25 – 30 años

Fuente: Manual de especificaciones del Panel Fotovoltaico.

El número de paneles necesario (Np) se calcula teniendo en cuenta el número de horas pico solares del peor mes del año y la potencia pico del panel escogido:

$$N_p = \frac{E_r}{0.9 * W_p * HPS} \quad \dots(\text{Ec. 21})$$

Donde:

$W_p$ : es la potencia nominal del panel escogido.

HPS: son las horas pico solar.

Se deben considerar las siguientes condiciones para disminuir las pérdidas de energía en el sistema:

- El sitio de instalación de los paneles FV, debe garantizar estar libre de sombras, por lo menos durante 8 horas diarias, en especial, en las horas del medio día durante todo el año.
- La tensión eléctrica del punto de máxima potencia del generador FV, debe estar en el rango de 14,5 a 15 voltios, a temperatura ambiente igual a la máxima anual del sitio de instalación y una irradiación de 5210 W/m<sup>2</sup>, para que las baterías se de manera adecuada.

Donde:

$E_r$ : 1494.74 W.

$W_p$ : 120 W.

HPS: 5.21 h.

Reemplazando en la ecuación (21) tenemos:

$$N_p = \frac{1494.74}{0.9 * 120 * 5.21}$$

$$N_p = 2.60 \cong 2$$

Se observa que como resultado se obtiene 02 paneles de mismo tipo. Se hace indispensable conocer el arreglo de estos paneles, es decir cuánto de ellos estará en serie y cuanto de ellos en paralelo.

#### Número de Paneles en serie:

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{modMPP}} \quad \dots(\text{Ec. 22})$$

Donde:

$V_{bat}$ : Es la tensión seleccionada de batería que son (02) baterías en serie.

$V_{modMPP}$ : Tensión máxima del módulo seleccionado de la tabla (9).

$$V_{bat} = 24$$

$$V_{modMPP} = 17.6 \text{ V.}$$

Reemplazando en la ecuación (22) tenemos:

$$N_{serie} = \frac{24}{17.6} = 1.364 \cong 2$$

#### Paneles en paralelo

$$N_{paralelo} = \frac{N_t}{N_{serie}} \quad \dots(\text{Ec. 23})$$

Donde:

$N_t$ : Es el número total de paneles previamente calculados.

$N_{serie}$ : Es el número de paneles conectados en serie.

$$N_t = 2$$

$$N_{serie} = 2$$

De la ecuación (23) tenemos:

$$N_{paralelo} = \frac{2}{2} \approx 1$$

El arreglo de paneles del generador fotovoltaico que garantizará el nivel de cargabilidad óptimo en baterías es de 2 paneles conectados en serie y no habrá paneles conectados en paralelo.

### 3.2.1.3 Cálculos para el sistema eólico.

Usando los datos obtenidos en las mediciones realizadas en campo se tiene un promedio de Velocidad de viento de 5.1 m/s.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad \dots(\text{Ec. 24})$$

Tenemos los siguientes datos:

Velocidad del viento

$$v = 5.1 \text{ m/s}$$

Radio del rotor

$$r = 0.85 \text{ m}$$

Constante Universal de los gases ideales

$$R = 8.314472 \frac{J}{\text{mol} \text{ } ^\circ K}$$

Temperatura ambiente

$$T = 18 \text{ } ^\circ C$$

$$T = 291.15 \text{ } ^\circ K$$

Presión atmosférica

$$Patm = 644.43 \text{ hPa}$$

Humedad Relativa

$$H_R = 51\%$$

Densidad del aire

$$\rho = \frac{Patm}{R * T}$$

$$\rho = 0.7665 \text{ Kg/m}^3$$

Área de barrido del rotor

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0.85)^2$$

$$A = 2.27 \text{ m}^2$$

Entonces la potencia total producida reemplazando en la ecuación (24) es:

$$P = \frac{1}{2} * 0.7665 \text{ Kg/m}^3 * 2.27 \text{ m}^2 * (5.1 \text{ m/s})^3$$

$$P = 115.4 \text{ Watts}$$

Aplicando el Límite de Betz (16/27) a la potencia disponible obtendremos:

Potencia Eólica Aprovechada:

$$P_a = 115.4 * \left(\frac{16}{27}\right) \text{ Watts}$$

$$P_a = 68.39 \text{ Watts}$$

Teniendo en cuenta que la potencia disponible en el viento es de 115.4 Watts y la potencia eólica aprovechada es de 68.39 Watts, teniendo en cuenta que la velocidad media del viento es de 5.1 m/s, se hará la selección de un aerogenerador de las siguientes condiciones con fines prácticos para la evaluación de su eficiencia:

Tabla 10: Especificaciones técnicas del aerogenerador de 400 Watts.

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL AEROGENERADOR 400 W</b>	
<b>MODELO</b>	<b>TGWT-400M</b>
Potencia nominal	400 Watts
Máxima potencia	430 Watts
Voltaje nominal	12/24 V
Velocidad del viento para puesta en marcha	2.5 m/s
Velocidad nominal	10 m/s
Velocidad de supervivencia	45 m/s
Peso Neto	13 Kg.
Diámetro	1.7 m
Numero de cuchillas	3/5
Material de las hélices	Fibra de Nylon
Tipo de generador	Trifásico de imanes permanentes AC generador síncrono
Material de imán	NdFeB
Material del generador	Fundición de aleación de aluminio
Sistema de control	Electroimán / Viento rueda de guiñada
Velocidad de Regulación	Ajuste automáticamente la dirección de barlovento
Temperatura de trabajo	-40°C - 80°C
Diseño de vida	20
Altura de la Torre (m)	6m(3m*2)
Peso Bruto	12.5 Kg.

Fuente: Manual de Usuario de Aerogenerador de 400 Watts.

Para lo cual se harán los cálculos para los montajes del aerogenerador.

Para la Instalación del aerogenerador se utilizará un poste de acero ASTM A106/A53 grado B de 2” de diámetro y 6 m. de Longitud.

Para fines de cálculo tenemos los siguientes datos:

Tabla 11: Datos para cálculo de soporte del aerogenerador.

Altura del poste de acero.	$h = 6\text{ m}$
Densidad del aire	$\rho = 0.7665\text{ Kg/m}^3$
Peso neto del aerogenerador	$w = 13\text{ Kg}$
Velocidad Máxima	$V_{max} = 10\text{ m/s}$
Diámetro del rotor	$D_{Rotor} = 1.7\text{ m}$
Radio del rotor	$r_{rotor} = 0.85\text{ m}$
Espesor del tubo de acero	$e_{tubo} = 0.004\text{ m}$
Diámetro del tubo de acero	$D_{tubo} = 0.06\text{ m}$
Densidad de fierro	$\rho_{fierro} = 7850\text{ Kg/m}^2$

Elaboración: Propia.

Figura 39: Distribución de fuerzas en la soporte del aerogenerador.



Elaboración: Propia.

Cálculo de la Fuerza:

$$F = 0.5 * \rho * A * V_{max}^2 \quad \dots(\text{Ec. 25})$$

$$F = 0.5 * (0.7665\text{ Kg/m}^3) * \pi * (0.85\text{ m})^2 * (10\frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$F = 86.99\text{ Kg.}$$

Cálculo del Momento:

$$M = F * h \quad \dots(\text{Ec. 26})$$

$$M = 86.99 \text{ Kg.} * 6 \text{ m}$$

$$M = 521.94 \text{ Kg} - \text{m}$$

Cálculo de la máxima tensión del material ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ):

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{max}} * Y}{J} \quad \dots(\text{Ec. 27})$$

Distancia de la fibra más exterior al eje neutro:

$$Y = \frac{D}{2} \quad \dots(\text{Ec. 28})$$

$$Y = 0.03 \text{ m}$$

Cálculo de la masa del tubo de acero:

$$\rho = \frac{w}{\pi * (b^2 - a^2) * L} \quad \dots(\text{Ec. 29})$$

$$w = \pi * (b^2 - a^2) * L * \rho$$

$$w = 33.15 \text{ Kg.m}$$

Momento de Inercia de la sección:

$$J = \frac{1}{2} * w * (b^2 + a^2) \quad \dots(\text{Ec. 30})$$

$$J = 0.1045$$

Entonces la máxima tensión del material ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) reemplazando en la ecuación (27)

será:

$$\sigma_{\text{máx}} = 4241.8$$

La fuerza que soporta la base a sotavento será:

$$R_{\text{máx}} = w_{\text{total}} + \frac{M}{2 * d} \quad \dots(\text{Ec. 31})$$

$$R_{m\acute{a}x} = 120 \text{ Kg}$$

Sección máximo admisible:

$$S_{m\acute{a}x.adm.} = \frac{R_{m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad \dots(\text{Ec. 32})$$

$$S_{m\acute{a}x.adm.} = 0.02832 \text{ cm}^2$$

Cálculo de la sección para máximo esfuerzo:

$$S_{m\acute{a}x.actu\acute{a}l.} = \frac{\pi}{4}(b^2 - a^2) \quad \dots(\text{Ec. 33})$$

$$S_{m\acute{a}x.actu\acute{a}l.} = 1.85 \text{ cm}^2$$

La sección máximo admisible es mucho menor que la sección para máximo esfuerzo, por lo tanto se prueba que la sección del tubo de acero es la adecuada.

Por lo cual deberá llevar cuatro retenidas en los cuatro lados del tubo de acero, estas serán ubicadas a 4m. de altura desde la base con lo cual el soporte estará fijo, la retenida será de cable de acero de 5 mm de diámetro este cable de acero será dividido en dos partes los cuales serán unidos por templadores ojo gancho de 5/6", los cuales estarán ajustados con grapas para cable de acero numeró 5, en el piso estarán ancladas a las estacas de fierro de 49 cm de longitud y de diámetro 1.6 cm, utilizando estos materiales el poste de acero y todo el módulo será portable a cualquier lugar para hacer las pruebas necesarias.

#### 3.2.1.4 Cálculos del Controlador híbrido solar-eólico.

Los datos comerciales necesarios para la selección del controlador son los siguientes:

La tensión nominal instalada del módulo híbrido es de 24 Voltios, por lo tanto el controlador tiene que soportar esa tensión.

Tabla 12: Especificaciones del controlador híbrido.

CONTROLADOR HÍBRIDO SOLAR-EÓLICO	
Tipo: Wind solar streetlight controller	
Modelo: TGWS600W-24V	
Potencia aerogenerador	400 W
Potencia solar	200 W
Tensión	24 V

Fuente: Manual del controlador híbrido solar-eólico.

La corriente máxima soportada será calculada por la siguiente ecuación:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P}{V} \quad \dots(\text{Ec. } 34)$$

Donde:

P: Potencia máxima generada por el módulo híbrido.

V: Tensión del módulo híbrido.

$I_{m\acute{a}x}$ : Corriente máxima que soporta el controlador híbrido.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{640 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 26.67 \text{ A.}$$

Por lo tanto la selección del inversor es adecuado, las especificaciones técnicas del controlador híbrido estarán adjuntas en la sección de anexos.

### 3.2.1.5 Cálculo de capacidad del acumulador del módulo híbrido eólico-solar.

Este es uno de los cálculos que requiere de mayor atención, debido a que si se subdimensiona, no se puede sostener la demanda de energía de la carga por el tiempo planeado y si se sobredimensiona, es posible que no se llegue a mantener cargado al banco al 100%. Las baterías usadas para las energías renovables son conocidas como Baterías de ciclo profundo.

Tabla 13: Potencia y la utilización de la tensión para las baterías.

Potencia demanda por la carga (W)	Tensión de trabajo (V)
Menor de 1500	12
1500 - 5000	24 o 48
Mayor de 5000	120 0 300

Fuente: (Sanchez Maza, 2011)

Para el dimensionamiento del banco de baterías, es necesario determinar inicialmente:

- La cantidad de energía eléctrica diaria requerida por la carga.
- El número de días de autonomía.
- El límite de profundidad de descarga.
- La temperatura ambiente de operación del banco.

$$C_{bateria} \geq \frac{(P_{max}) * D_{aut}}{(V_{bateria}) * P_d} [Ah] \quad \dots(Ec. 35)$$

Donde:

$P_{max}$  = 1494.74 Wh/día (potencia máxima).

$P_d$  = 0.8 (profundidad de descarga de la batería).

$(D_{aut})$  = 2 (días de autonomía).

$V_{bateria}$  = 12V (Capacidad del banco de baterías).

Reemplazando los datos en la ecuación (35) tenemos:

$$C_{bateria} \geq \frac{(1494.74) * 1}{(12) * 0.8} [Ah]$$

$$C_{bateria} \geq 155.7 [Ah]$$

Teniendo en cuenta las características técnicas de las baterías disponibles en el mercado, la cantidad de baterías será:

$$N^{\circ} \text{ de Baterías} = \frac{C_{\text{bateria}}}{C_{\text{Cada Bateria}}} \quad \dots(\text{Ec. 36})$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ de Baterías}$ : Cantidad de baterías.

$C_{\text{bateria}}$ : Cantidad de energía eléctrica diaria requerida por la carga.

$C_{\text{Cada Bateria}}$ : Cantidad de energía eléctrica almacenada por cada batería es de 100 a-h.

Reemplazando en la ecuación (36) tenemos:

$$N^{\circ} \text{ de Baterías} = \frac{155.7 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}}$$

$$N^{\circ} \text{ de Baterías} = 1.58 \cong 2$$

Entonces el número de baterías será 2 de la marca Ritar modelo RA12-100 cada uno de 100Ah, estas serán conectadas en serie para obtener una tensión de 24 voltios, que es la tensión del módulo híbrido solar-eólico, las especificaciones técnicas de las baterías estarán en la sección de anexos.

### 3.2.1.6 Cálculo de selección del inversor del módulo híbrido eólico – solar.

Para la potencia del inversor de corriente continua a alterna del módulo híbrido solar-eólico, se considera la tensión de trabajo del módulo y la máxima potencia de salida, con los cuales se aproximarán a los que existen en el mercado.

La tensión del inversor tendrá que ser igual a 24 voltios, y la potencia que existe en el mercado con esa tensión es de 400 W, y cuenta con las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 14: Especificaciones Técnicas del Inversor de 24V/350Watts

<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA INVERSOR PHOENIX</b>	<b>12 Volt</b>	<b>24 Volt</b>	<b>48 Volt</b>	<b>12/180</b>	<b>24/180</b>	<b>48/180</b>	<b>12/350</b>	<b>24/350</b>	<b>48/350</b>
Potencia CA cont. De salida a 25°C (VA) (3)	180			350			350		
Potencia cont. A 25°C / 40°C (W)	175 / 150			300 / 250			300 / 250		
Pico de potencia (W)	350			700			700		
Tensión / frecuencia CA de salida (4)	110 V CA +/- 5% o 230 V CA +/- 3% 50Hz o 60 Hz +/- 0.1%								
Rango de tensión de entrada (V CC)	10,5 - 15,0 / 21,0 - 30,0 / 42,0 - 60,0								
Alarma de batería baja (V CC)	11,0 / 22 / 44								
Apagado por batería baja (V CC)	10,5 / 21 / 42								
Autor recuperación de batería baja (V CC)	12,5 / 25 / 50								
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)	87 / 88 / 89			89 / 89 / 90			89 / 89 / 90		
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	2,6 / 3,8 / 4,0			3.1 / 5,0 / 6,0			3.1 / 5,0 / 6,0		
Consumo en vacío en modo de ahorro	n. d.			n. d.			n. d.		
Protección (2)	a - e								
Temperatura de funcionamiento	-20 a +50°C (refrigerado por ventilador)								
Humedad (sin condensación):	Max. 95%								
<b>Carcasa</b>									
Material y color:	Aluminio (azul Ral 5012)								
Conexiones de la batería	1			1			1		
Tomas de corriente CA estándar	IEC-320 (IEC-320 enchufe incluido), Schuko, o Nema 5-15R								
Otras salidas (bajo pedido)	Reino Unido, Australia/Nueva Zelanda								
Tipo de protección	IP 20								
Peso en (Kg / Lbs)	2,7 / 5,4			3,5 / 7,7			3,5 / 7,7		
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p en pulgadas)	72x132x200 2.8x5.2x7.9			72x155x237 2.8x6.1x9.3			72x155x237 2.8x6.1x9.3		
<b>Accesorios</b>									
Panel de control remoto	n. a.			n. a.			n. a.		
Interruptor on/off remoto	Conector bifásico								
Conmutador de transferencia automático	Filax								
<b>Normativas</b>									
Seguridad	EN 60335-1								
Emisiones / Normativas	EN55014-1 / EN 55014-2								

Fuente: Manual de Usuario del Inversor Victron Energy.

### 3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

#### 3.3.1 Técnicas.

La técnica que se utilizó en la presente investigación fue la toma de datos del lugar donde se realizó las pruebas con el módulo, esta técnica nos permitió recoger la información sobre el Estudio Experimental de la Eficiencia de un Módulo de Generación eléctrica híbrida solar–eólica para la EPIME – 2015.

#### 3.3.2 Instrumentos.

Para la presente investigación se recogieron datos haciendo pruebas en los cuatro sectores designados los cuales se detallan a continuación.

Figura 40: Fotografía de campo utilizando los instrumentos.



Elaboración: Propia.

#### a) Radiación solar

Se utilizó un solarímetro modelo PCE-SPM 1, Fabricado en Albacete España, con las siguientes bondades:

El medidor de radiación solar es el dispositivo óptimo para ingenieros, arquitectos y cualquier técnico interesado en aplicaciones de energía solar. Este medidor detecta la intensidad de la energía solar, permitiendo conclusiones sobre la producción de energía. Las lecturas almacenadas en la memoria interna se pueden transferir a un ordenador, utilizando software, para un análisis posterior.

- Mide la intensidad de la luz
- Cambiar a la eficiencia energética
- Corrección del coseno
- Adecuado para mediciones durante un período de tiempo (función de grabación de datos)
- Mide el rendimiento energético
- Función de valor mínimo, máximo y medio
- Certificado de calibración ISO (opcional)

Con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 15: Especificaciones técnicas del Solarímetro PCE-SPM 1.

Solarímetro PCE-SPM 1	
Rango de medición	0 - 2.000 W/m <sup>2</sup>
Resolución	0,1 W/m <sup>2</sup> , 0,1 Btu / (ft <sup>2</sup> x h)
Precisión	±10 W/m <sup>2</sup> o ±5 % (cuenta con el valor más elevado)
Rango espectral	400 - 1.000 nm
Memorización de datos	32.000 valores de medición
Cuota de medición	ajustable
Transmisión de datos	interfaz RS232 de serie
Pantalla	LCD
Rango de temperatura ambiente	De 0 a +50 °C
Humedad máxima	<80 % R.h.
Alimentación	4 pilas AAA x 1,5 V (para una duración de uso de 16 días)
Medidas	111 x 64 x 34 mm
Peso	165 g

Fuente: Manual de Usuario del Solarímetro.

Figura 41: Solarímetro PCE-SPM 1.



Fuente: Manual de Usuario del Solarímetro.

b) La velocidad del viento

Se utilizó un anemómetro digital Marca KAINDL Modelo WINDMASTER 2, fabricado en Alemania.

Medidas independientemente de la dirección del viento. El principio taza elimina la necesidad de orientar engorroso el dispositivo. Una ventaja importante en el uso práctico, porque siempre obtener resultados precisos. La gran pantalla LCD informa simultáneamente sobre la velocidad del viento actual, máxima y media y los valores de Beaufort como un gráfico de barras. El dispositivo resistente a la intemperie tiene una integrado en el trípode inferior de la carcasa de montaje para el montaje sobre trípodes de cámara estándar. Esto le permite utilizar el estacionario temporal WINDMASTER 2.

Tabla 16: Especificaciones Técnicas del Anemómetro Digital.

<b>Especificaciones técnicas del anemómetro digital</b>	
<b>Marca KAINDL Modelo WINDMASTER 2</b>	
Las pantallas LCD:	- Velocidad actual del viento - Avg. Velocidad del viento * - velocidad máxima del viento * - gráfico de barras Beaufort (. * Almacenamiento 8 días)
Unidades de medida (seleccionables)	- KM / H (kilómetros / hora) - Nudos (nudos) - M / S (m / seg) - MPH (millas / hora)
Rango de medida	- 2.5 ... 150 KMH, 1,3 ... 81 KTS - 0,7 ... 42 m / s, 1,5 ... 93 MPH
Resolución	0,1 (0 ... 19.9), 1 (20 ... 150)
Precisión	typ ± 4%, ± 1 dígito.
Rango de temperatura de funcionamiento:	-20 ... 50 ° C
Apagado automático	después de 8 días
Hilo Trípode	UNC 6,35 x 1,27 mm
Batería	CR2032, intercambiable
Duración de la batería	hasta 10 años
Dimensiones	127 x 55 x 28 (la cabeza 39 de medición) mm
Peso	95 g
Resistencia	resistente a la intemperie
Garantía	2 años (. Ausgen batería)

Fuente: Manual de Usuario del anemómetro digital.

c) Las coordenadas UTM (Este, norte y altitud).

Para la toma de coordenadas UTM se utilizó un GPS incorporado en un equipo móvil.

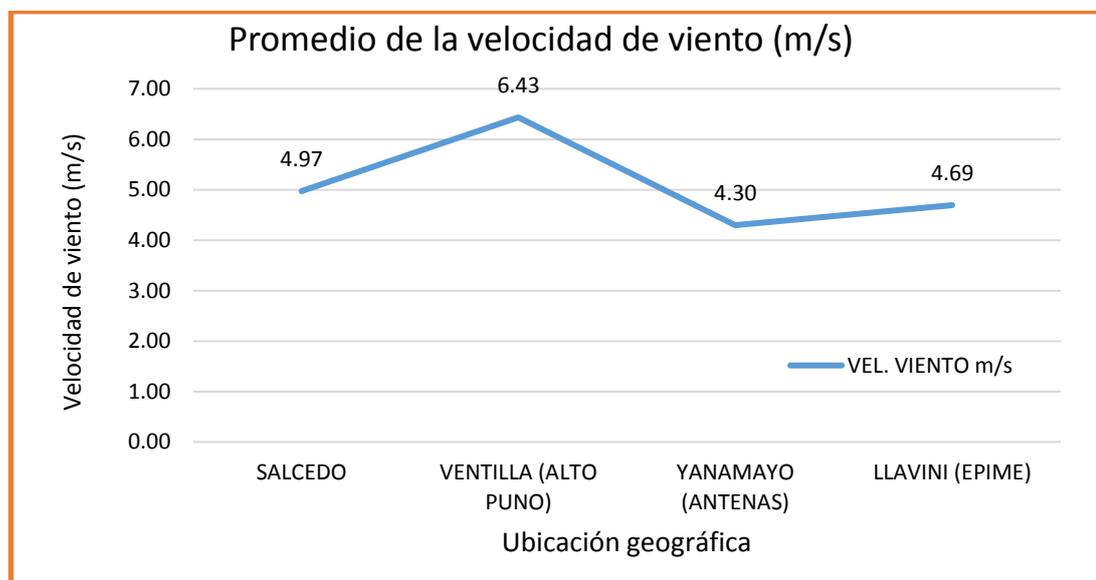
### 3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

#### 3.4.1 Recolección de datos.

La recolección de datos se realizaron en formatos presentados en el perfil de proyecto, el cual está en un formato Excel, se tomaron 61 datos por cada ubicación geográfica, los cuales fueron registrados en un intervalo de 10 minutos, empezando a las

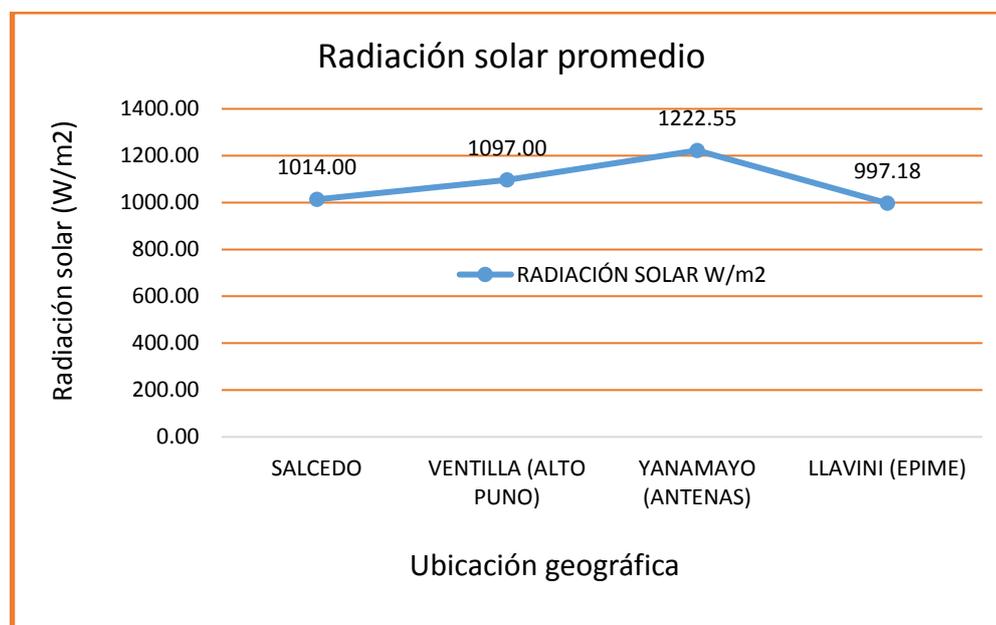
8:00 a.m. y culminando a las 6:00 p.m., estos datos registrados se muestran en los anexos, de ellos se tienen el promedio de la velocidad del viento y a radiación solar que se muestra en las siguientes figuras.

Figura 42: Promedio de la velocidad del viento.



Elaboración: Propia.

Figura 43: Medición de la radiación solar promedio



Elaboración: Propia.

### **3.4.2 Procesamiento de la información.**

Con los datos obtenidos de la velocidad del viento, radiación solar, potencia generada por el aerogenerador, potencia generado por los paneles solares y la potencia total del módulo se harán los cálculos de la eficiencia esto haciendo la división de la potencia generada entre la potencia nominal del módulo, todos los cálculos se harán en una hoja de Excel, así mismo se obtendrá la energía solar disponible y la potencia disponible del aerogenerador en el ambiente, se desarrollara una nueva curva de potencia para el aerogenerador para condiciones ambientales de nuestro departamento. Todo el contenido de esta sección se mostrará en el capítulo IV.

### **3.4.3 Presentación y publicación de resultados.**

Los resultados se mostrarán en gráficos de líneas con marcadores comparando la potencia y la eficiencia del módulo en los sectores. Se mostrara en el capítulo IV.

## **3.5 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO**

Con los equipos y/o accesorios adquiridos, se realizó el montaje e instalación del módulo híbrido solar-eólico para la generación eléctrica, para tal fin fue necesario tener las siguientes herramientas:

- Taladro y juego de brocas.
- Alicata de electricista.
- Martillos.
- Destornilladores.
- Juego de llaves.
- Cinta aislante.
- Otros.

Con los cuales se desarrollaron los siguientes procedimientos:

a. Traslado al sector de las pruebas.

Para el traslado al sector de las pruebas se utilizó una movilidad con parrilla para carga donde se puso la torre de 6 metros de longitud, los demás accesorios y equipos se llevó adentro.

b. Montaje del aerogenerador.

Para el montaje del aerogenerador se hizo un pequeño agujero cuadrado de 30cm\*30cm en el suelo de una profundidad de 30 cm. Para que pueda posicionarse la base de la torre, luego de hacer el agujero se anclo las retenidas de los dos costados perpendiculares al izado de la torre los cuales no fueren templados aun, luego con el apoyo de 4 ayudantes se izó la torre tubular y se pusieron las 4 retenidas bien templadas de esa manera la torre quedó fijo, se aisló los terminales para que ingresé al controlador híbrido.

c. Montaje de los paneles solares.

Los paneles solares se montaron en las bases que se fabricaron con la inclinación óptima y orientado al norte.

Figura 44: Montaje de Paneles Solares.



Elaboración: Propia.

d. Ubicación y conexionado de las baterías.

Las baterías se conectaron en serie obteniendo 24 voltios ya que todo el módulo es de ese nivel de tensión.

e. Ubicación del controlador híbrido solar-eólico e inversor.

El controlador se puso sobre una mesa junto al inversor y el banco de focos.

f. Conexionado de los equipos y toma de datos.

Para el conexionado se prosiguió de la siguiente manera:

- Primer paso: Se conectaron las baterías en serie para obtener 24 voltios.

Figura 45: Conexionado de Baterías.

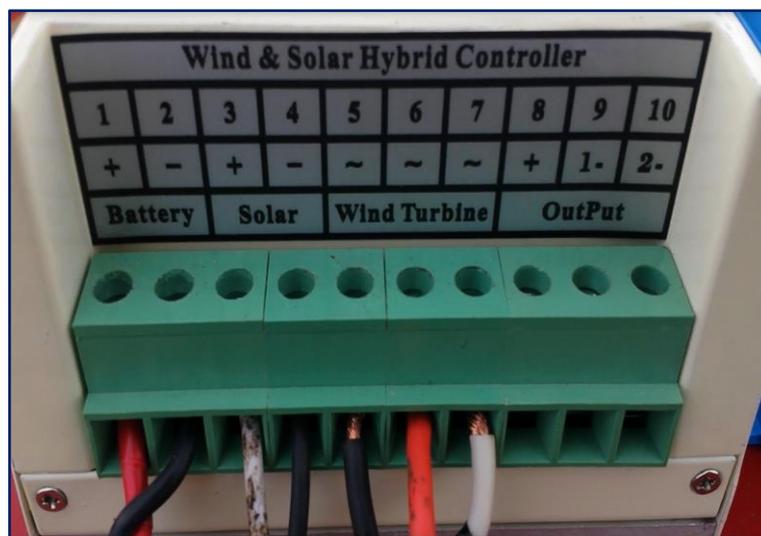


Elaboración: Propia.

- Segundo paso: conectar las baterías al controlador.
- Tercer paso: conectar las tres fases del aerogenerador al controlador.
- Cuarto paso: conectar los paneles solares al controlador, los paneles también se deben conectar en serie para obtener 24 voltios.
- Quito paso: conectar el inversor en la batería.
- Sexto paso: Conectar la carga al inversor luego se medirá la corriente y tensión suministrado por el inversor hacia la carga, también en el controlador se pueden

apreciar los datos de entrada de los dos sistemas de generación y la salida de energía los cuales serán anotados en las hojas de trabajos de campo.

Figura 46: Conexión del controlador híbrido.



Elaboración: Propia.

Figura 47: Instalación Completa del Módulo Híbrido



Elaboración: Propia.

### 3.6 PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos obtenidos en campo serán analizados utilizando una hoja Excel, haciendo comparativos en gráficos de cada uno de los sectores y se mostrarán en el Capítulo IV utilizando la siguiente fórmula.

$$\eta = \left( \frac{P_{\text{Generada en campo}}}{P_{\text{Nominal}}} \right) * 100 \% \quad \dots(\text{Ec. 37})$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia del módulo híbrido (%).

$P_{\text{Nominal}}$ : Potencia nominal del módulo híbrido (640 Watts).

$P_{\text{Generada en campo}}$ : Potencia generada en campo por el módulo híbrido.

### 3.7 DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para realizar el análisis descriptivo se hará el uso de:

- Medidas de tendencia central (Media, mediana, moda).
- Medidas de variabilidad (Rango, desviación estándar, varianza, coeficiente de variabilidad).
- Gráficos (Gráficos de líneas, de columnas, circulares o anillos).

Para la prueba de hipótesis se utilizará una Regresión lineal simple, el cual se utiliza para estimar el efecto de una variable otra, está asociado con el coeficiente “r” de Pearson. Brinda la oportunidad de predecir las puntuaciones de una variable, tomando las puntuaciones de otra variable. Entre mayor sea la correlación entre las variables (variación), mayor capacidad de predicción. (Valderrama Mendoza, 2015)

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos se harán los análisis respectivos utilizando los siguientes datos. La potencia nominal del módulo híbrido solar-eólico es 640 watts (esta potencia es suministrada por dos fuentes, en el sistema solar tenemos 2 paneles que aportan 240 watts y el sistema eólico que aporta 400 watts, haciendo un total de 640 Watts).

Para hacer el análisis se utilizarán los datos promedios de campo y un segundo análisis con todos los datos tomados viendo su comportamiento en diferentes gráficos, los datos tomados en campo se pueden visualizar en los anexos.

Tabla 17: Promedio de los datos de campo.

<b>“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015”</b>								
N°	Fecha	Ubicación	Coordenadas UTM		Vel. viento	Radiación solar	Corriente (Campo)	Tensión (Campo)
			Este	Norte	m/s	Watts/m2	Amp.	Volt.
1	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	4.97	1014.00	1.62	215.30
2	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.43	1097.00	1.86	211.88
3	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.30	1222.55	1.62	216.60
4	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.69	997.18	1.82	219.86

Elaboración: Propia.

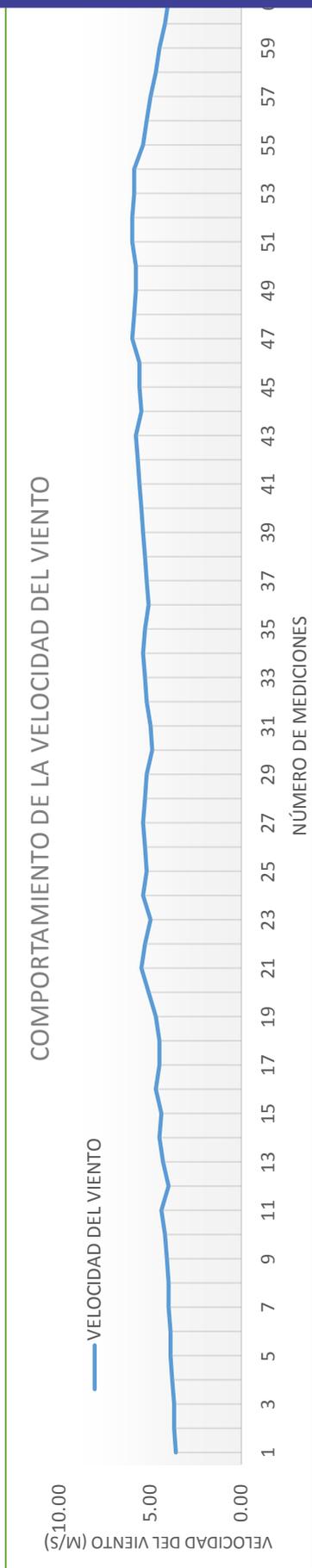
El análisis se muestra en los siguientes ítems.

#### **4.1 DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA EFICIENCIA DEL MÓDULO**

Para determinar la influencia de la velocidad del viento y la radiación solar, se crean tres gráficos por sector, en los cuales se muestran la velocidad del viento, la radiación solar y la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico. Teniendo estos gráficos se podrá observar cómo es que la variación de la velocidad del viento y la radiación solar generan cambios en la eficiencia.

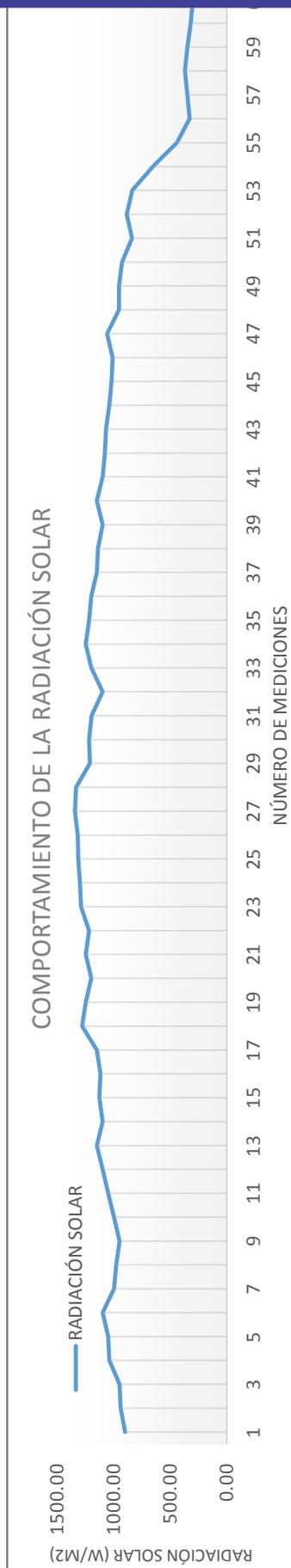
a. Influencia de la velocidad del viento y la radiación solar en la eficiencia del módulo en Salcedo.

Figura 48: Comportamiento de la velocidad del viento en Salcedo.



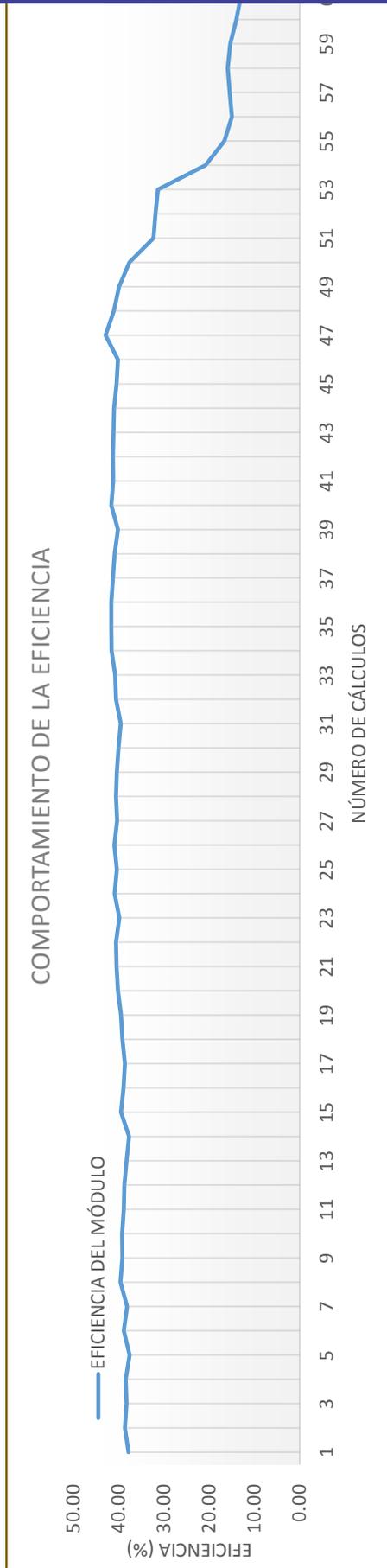
Elaboración: Propia.

Figura 49: Comportamiento de la radiación solar en Salcedo



Elaboración: Propia.

Figura 50: Comportamiento de la eficiencia en Salcedo



Elaboración: Propia.

b. Influencia de la velocidad del viento y la radiación solar en la eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).

Figura 51: Comportamiento de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno).

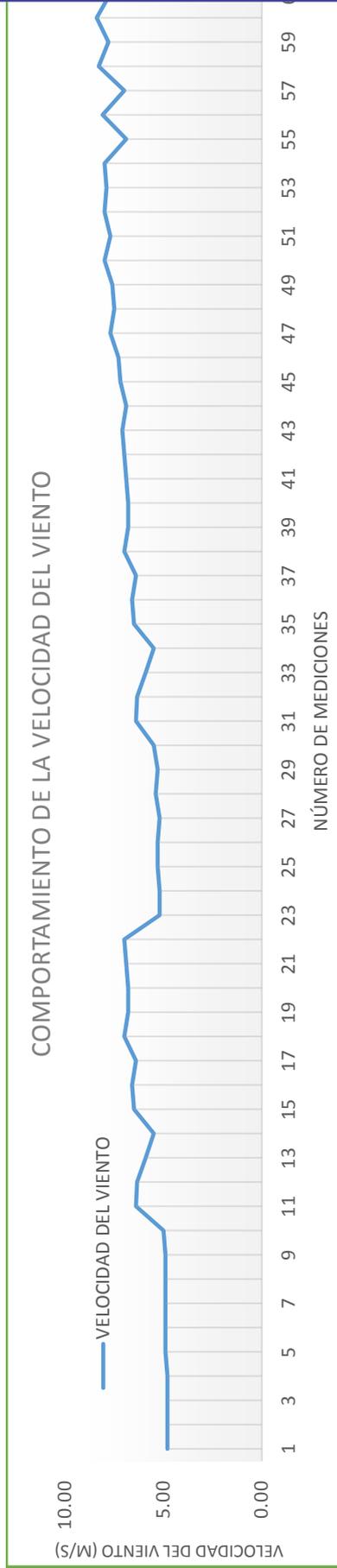


Figura 52: Comportamiento de la radiación solar en Ventilla (Alto Puno).

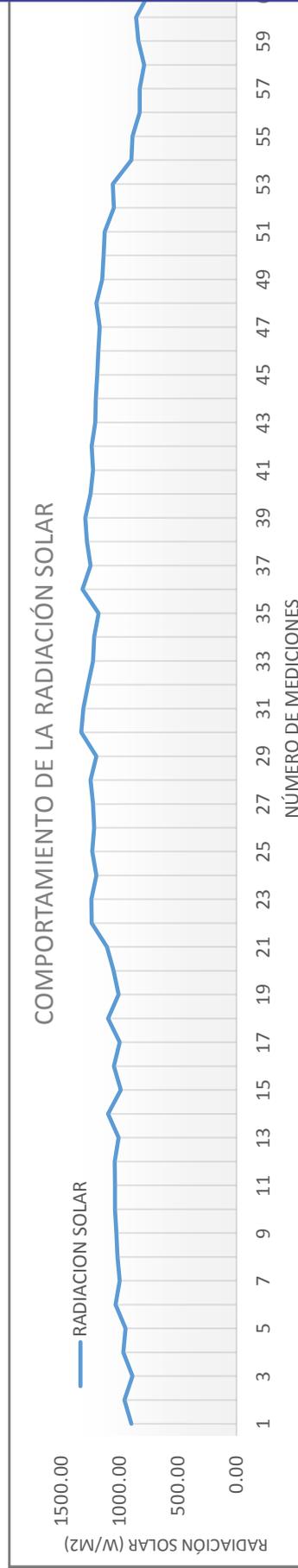
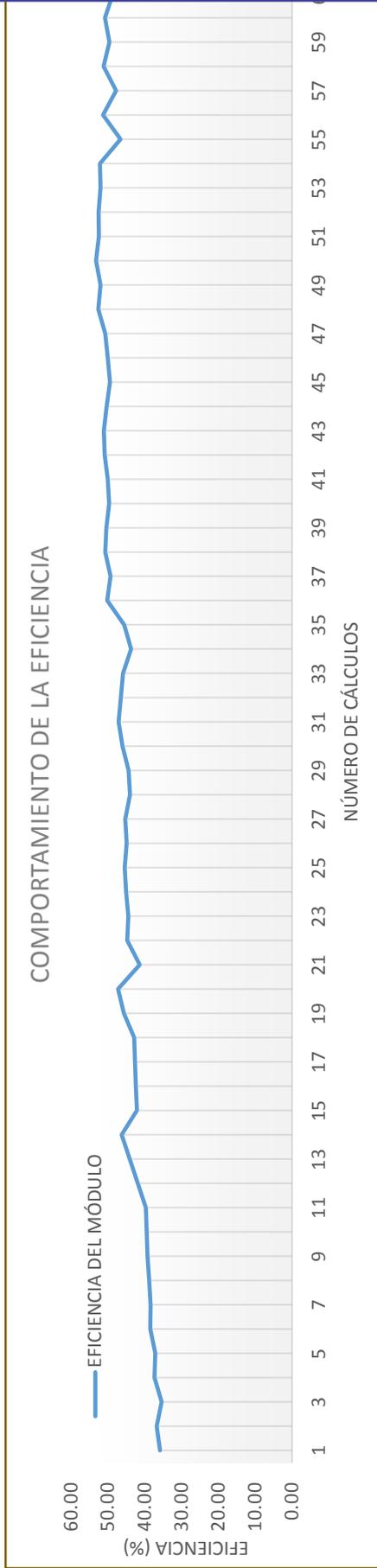


Figura 53: Comportamiento de la eficiencia en Ventilla (Alto Puno).



Elaboración: Propia.

c. Influencia de la velocidad del viento y la radiación solar en la eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).

Figura 54: Comportamiento de la velocidad del viento en Yanamayo (antenas).

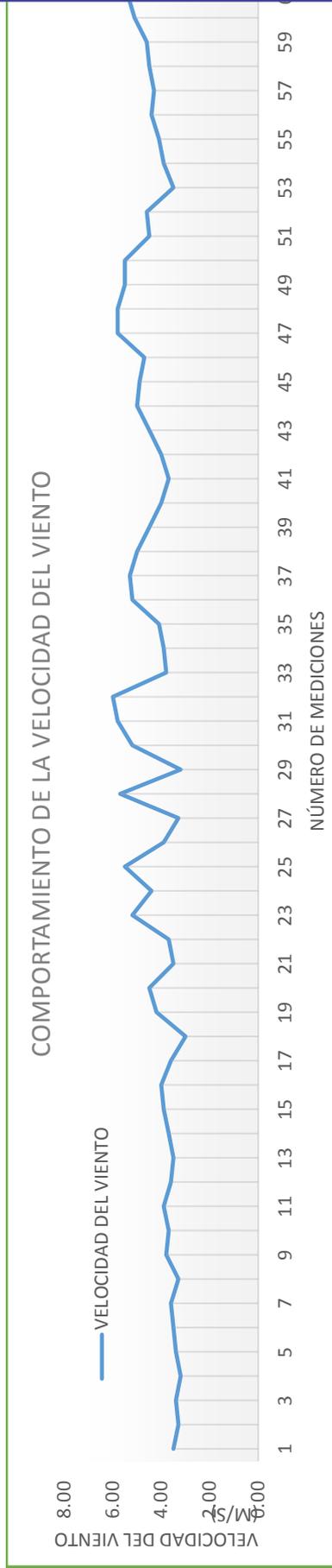


Figura 55: Comportamiento de la radiación solar en Yanamayo (antenas).

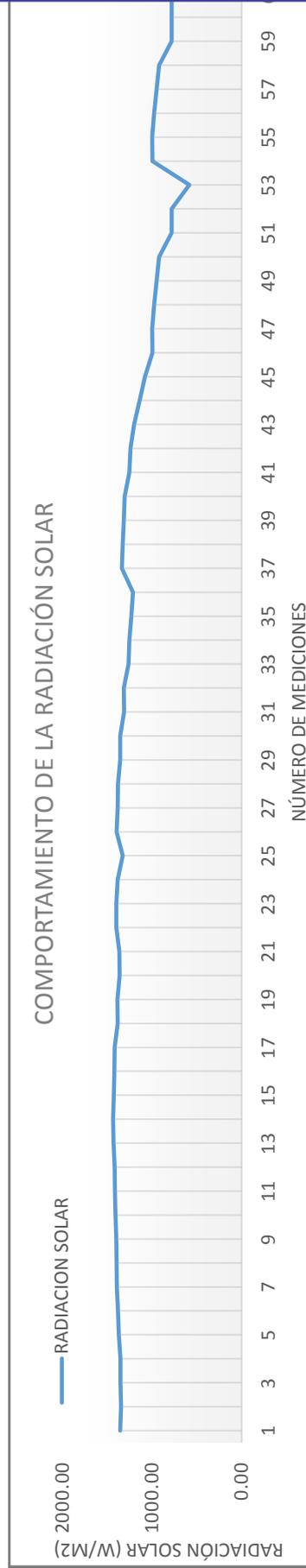
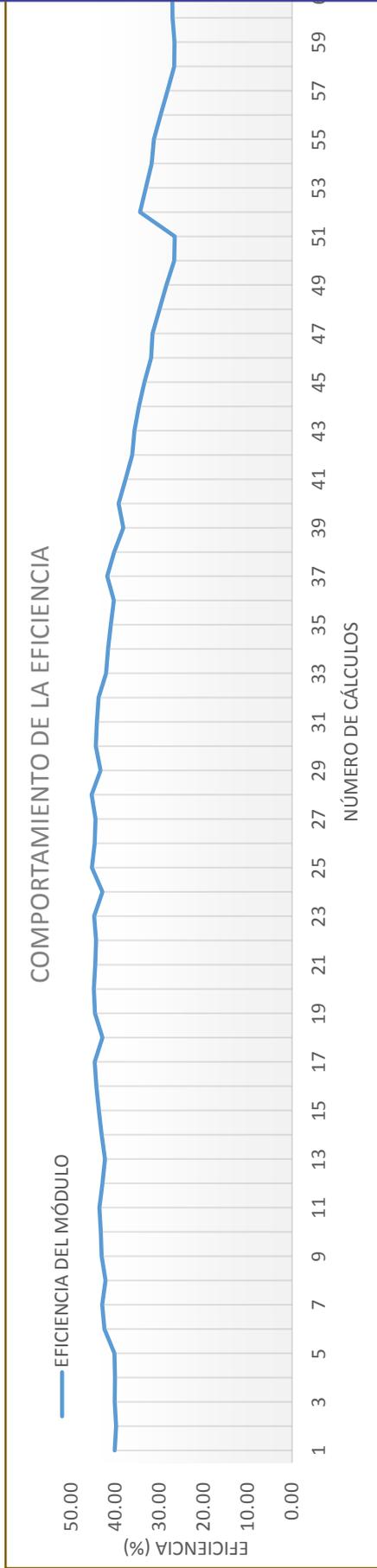


Figura 56: Comportamiento de la eficiencia en Yanamayo (antenas).



Elaboración: Propia.

d. Influencia de la velocidad del viento y la radiación solar en la eficiencia del módulo en Llavini (EPIME).

Figura 57: Comportamiento de la velocidad del viento en Llavini (EPIME).

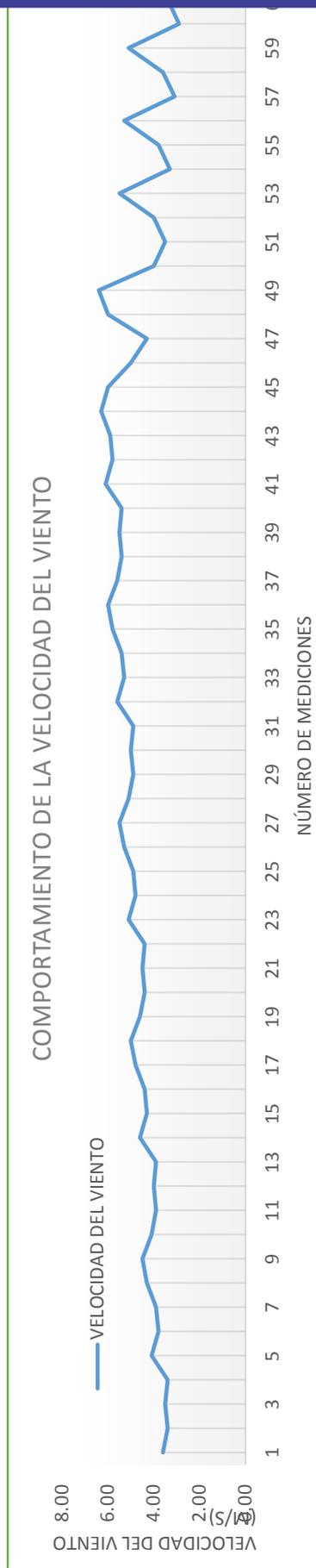


Figura 58: Comportamiento de la radiación solar en Llavini (EPIME).

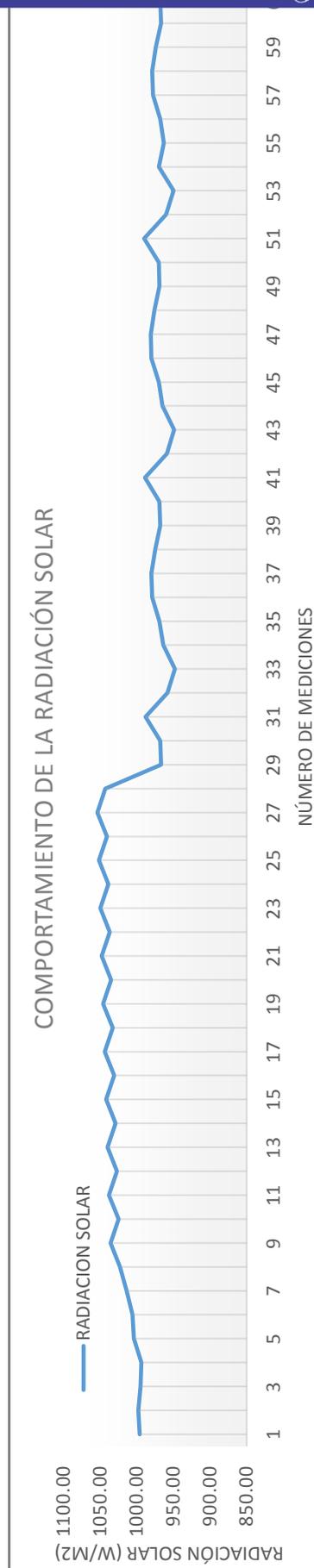
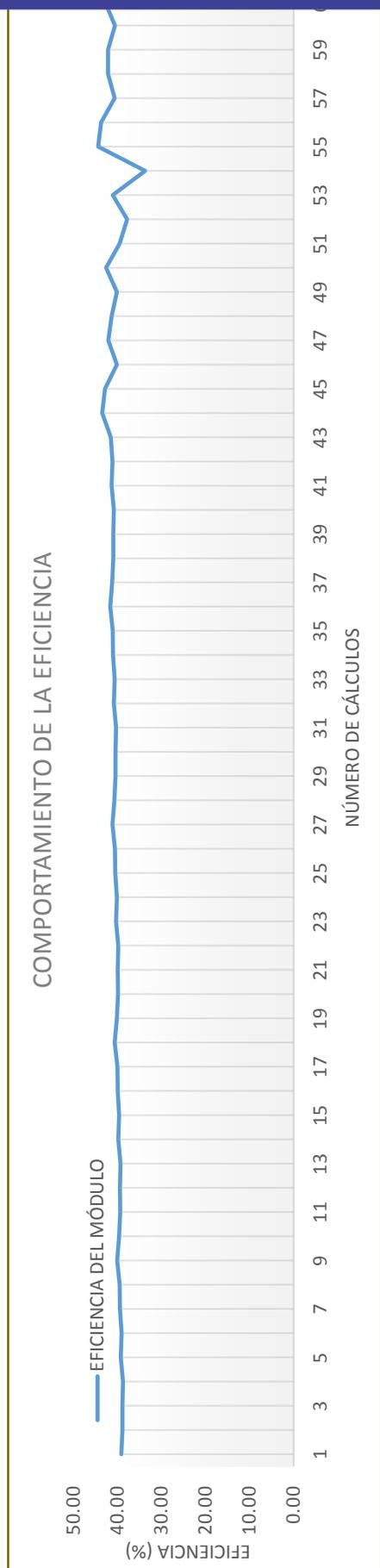


Figura 59: Comportamiento de la eficiencia en Llavini (EPIME).



Elaboración: Propia.

Comparando los gráficos de cada sector se observa, que cuando la velocidad del viento y la radiación solar varía, también lo hace la eficiencia; Para ello compararemos 2 puntos por sector.

En el sector de Salcedo, en la medición número 47 se observa el incremento de la velocidad del viento y de la radiación solar por lo cual también incrementa la eficiencia, tomando la medición número 56 se observa la reducción de la velocidad del viento y la radiación solar lo cual hace que la eficiencia también disminuya.

En el sector de Ventilla (Alto Puno), en la medición número 14 la velocidad del viento disminuye y la radiación solar incrementa por lo cual la eficiencia del módulo también incrementa, en la medición número 60 la velocidad del viento aumenta y la radiación solar disminuye por lo cual la eficiencia del módulo disminuye ligeramente ya que en este sector el aerogenerador aporta más potencia.

En el sector de Yanamayo (antenas), en la medición número 20 la velocidad del viento y la radiación solar permanecen casi constantes lo cual hace que la eficiencia también se mantenga constante, en la medición número 51 se observa que la velocidad del viento y la radiación solar disminuyen lo cual hace que la eficiencia también disminuya.

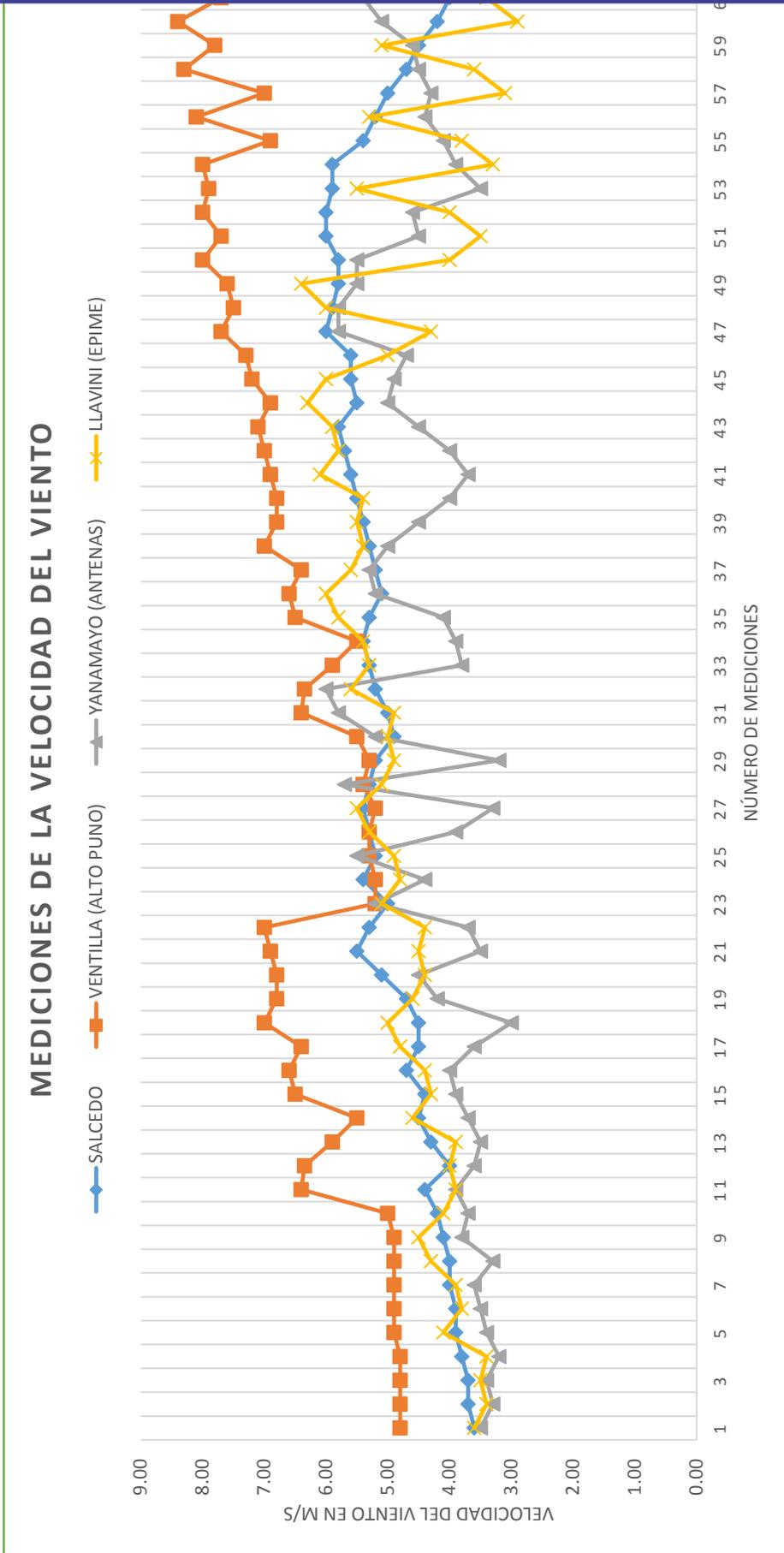
En el sector de Llavini (EPIME), la velocidad del viento desde la medición número 27 disminuye pero la radiación solar incrementa lo cual hace que la eficiencia sea casi constante.

Con los análisis anteriores se concluye que la variación de la velocidad del viento y la radiación solar influyen en la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico.

#### **4.2 DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EFICIENCIA DEL MÓDULO.**

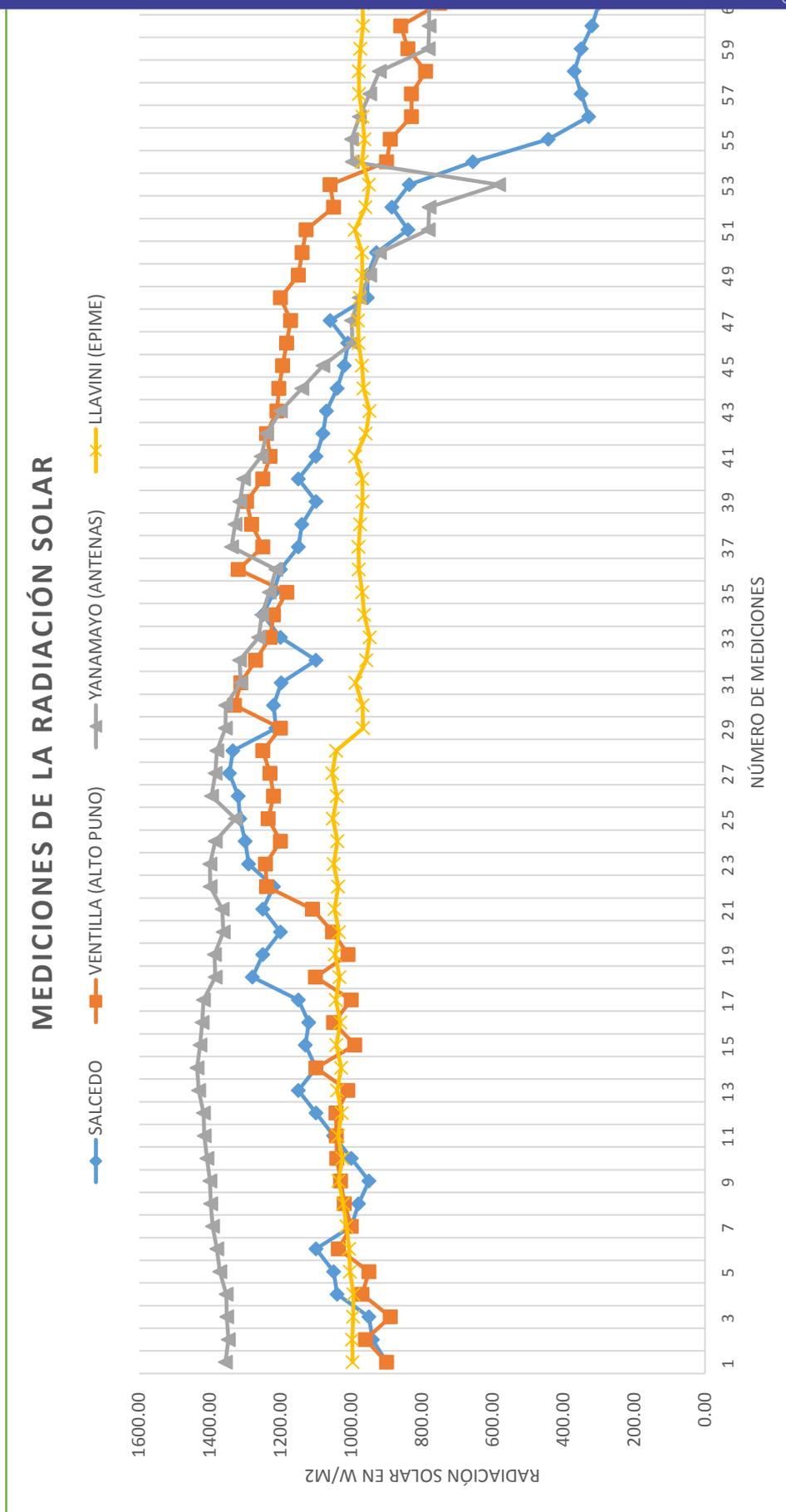
Para determinar la influencia de la ubicación geográfica, se muestran las mediciones de la velocidad del viento en un gráfico con los cuatro sectores, de igual manera la medición de la radiación solar, la medición de la potencia generada por el módulo híbrido solar-eólico y se hace el cálculo de la eficiencia para todos los datos tomados en campo también mostrándolo en un gráfico los cuatro sectores.

Figura 60: Mediciones de la velocidad del viento.



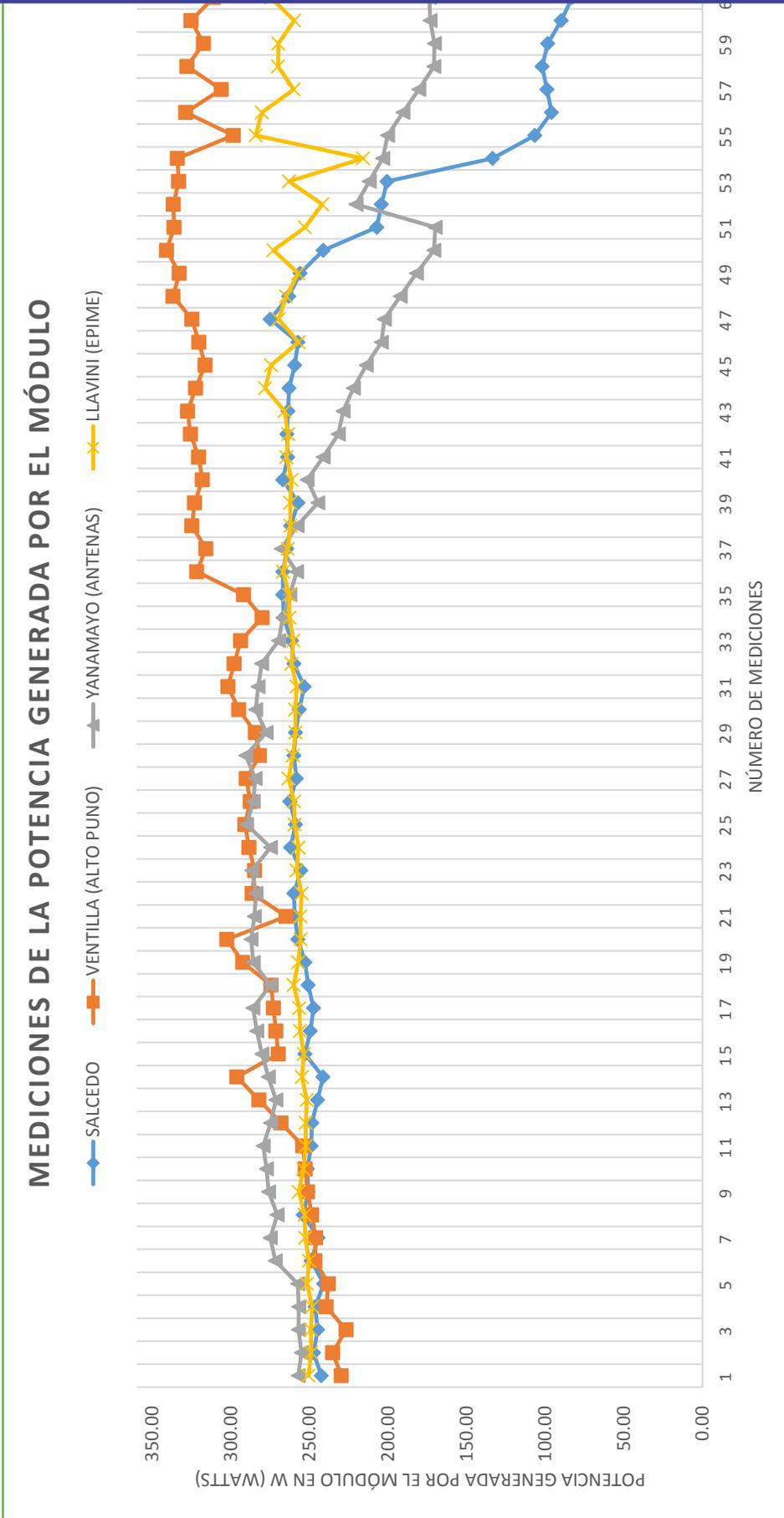
Elaboración: Propia.

Figura 61: Mediciones de la radiación solar.



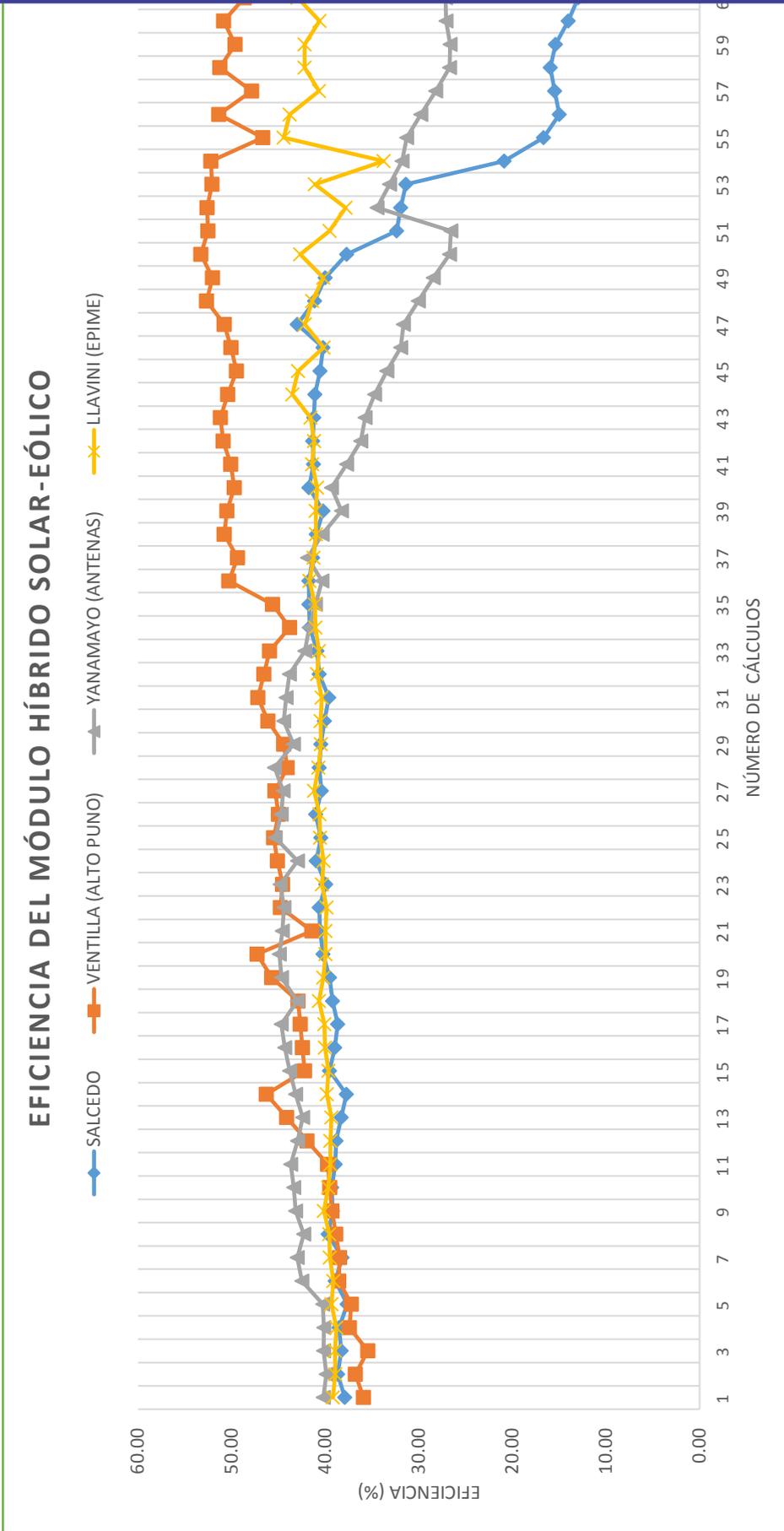
Elaboración: Propia.

Figura 62: Mediciones de la potencia generada por el módulo.



Elaboración: Propia.

Figura 63: Eficiencia del módulo híbrido solar-eólico.



Elaboración: Propia.

En las gráficas de las mediciones de la velocidad del viento, la radiación solar, la potencia generada y la eficiencia calculada son variables, ya que tienen diferente ubicación geográfica. Se tienen diferentes datos ambientales por lo cual se concluye que la ubicación geográfica influye en la variación de la eficiencia.

De la misma manera se hace un análisis con datos promedios en cada sector:

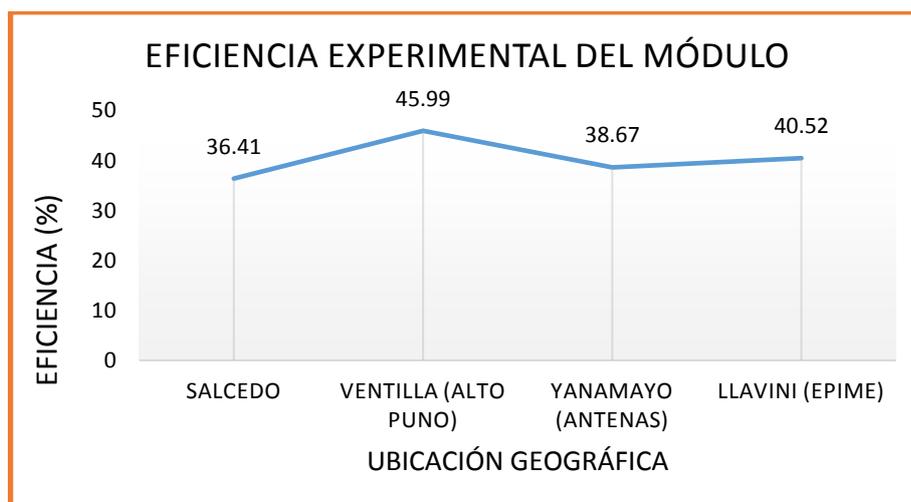
Tabla 18: Cálculo de la eficiencia del módulo híbrido.

<b>“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015”</b>							
N°	Fecha	Ubicación	Vel. Viento	Radiación solar	Potencia generada (Campo)	Potencia nominal (Fabricante)	Eficiencia del módulo
			m/s	Watts/m2	Watts	Watts	(%)
1	24/07/2016	SALCEDO	4.97	1014.00	233.04	640	36.41
2	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	6.43	1097.00	294.31	640	45.99
3	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	4.30	1222.55	247.51	640	38.67
4	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	4.69	997.18	259.35	640	40.52

Elaboración: Propia.

Con estos datos obtenidos de la eficiencia se hace la siguiente gráfica, con lo cual se hará un comparativo de la eficiencia en cada sector.

Figura 64: Eficiencia promedio del módulo híbrido.



Elaboración: Propia.

En el gráfico se observa la variación de la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico, teniendo un comportamiento diferente para cada ubicación geográfica, con lo cual se concluye que esta influye en la eficiencia del módulo.

### 4.3 ANÁLISIS DEL APORTE DE ENERGÍA POR CADA FUENTE.

La energía solar disponible en el medio ambiente por día se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19: Energía solar disponible en el medio ambiente.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA					
Potencia Nominal	Irradiación (W.h/m <sup>2</sup> )	Constante de medida de Potencia para módulos FV (W/m <sup>2</sup> )	Insolación (Horas Pico Solar)	Eficiencia del Panel Fotovoltaico (Unidad)	Energía Disponible Teórico (W.h)
240	5210	1000	5.21	0.9	562.68

Elaboración: Propia.

La energía solar disponible en todo un día es entonces 562.68 Watts.h/día.

La potencia disponible para ser producida por el aerogenerador es como se detalla en la tabla:

Tabla 20: Potencia eólica disponible en el medio ambiente.

Generación con energía eólica							
N°	Fecha	Ubicación	Densidad del aire (Kg/m3)	Área del Rotor (m2)	Velocidad del viento (m/s)	Constante de Betz	Potencia Disponible Teórico (W)
1	24/07/2016	SALCEDO	0.7665	2.27	4.97	0.59259259	106.94
2	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	0.7665	2.27	6.43	0.59259259	231.76
3	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	0.7665	2.27	4.30	0.59259259	69.01
4	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	0.7665	2.27	4.69	0.59259259	89.85

Elaboración: Propia.

Con el detalle de las condiciones para el departamento de Puno se hace una nueva curva de potencia del aerogenerador el cual es de la siguiente manera:

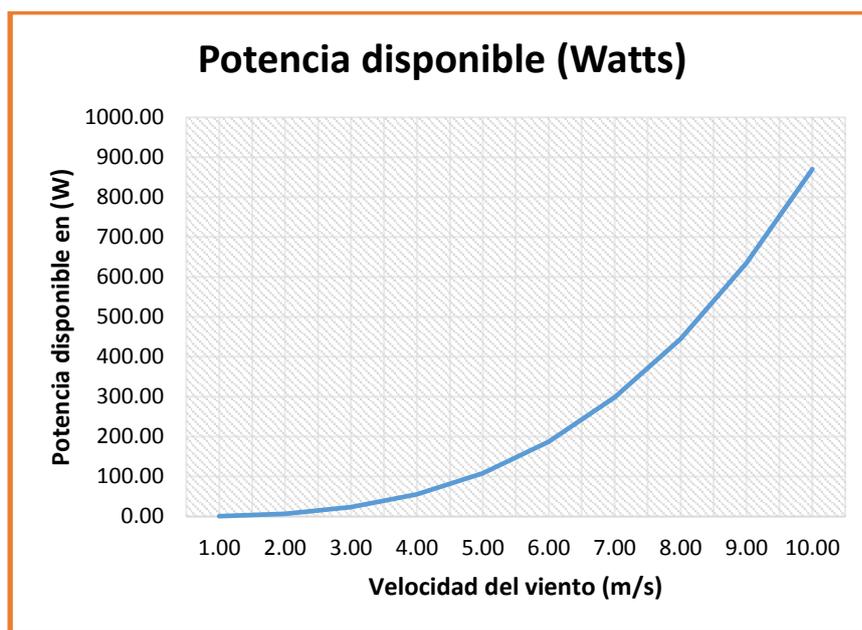
Tabla 21: Curva de potencia del aerogenerador para Puno.

CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR PARA PUNO				
Densidad del aire (Kg/m3)	Área del Rotor (m2)	Velocidad del viento (m/s)	Constante de Betz	Potencia Disponible (Watts)
0.7665	2.27	1.00	0.5926	0.87
0.7665	2.27	2.00	0.5926	6.96
0.7665	2.27	3.00	0.5926	23.49
0.7665	2.27	4.00	0.5926	55.68
0.7665	2.27	5.00	0.5926	108.75
0.7665	2.27	6.00	0.5926	187.92
0.7665	2.27	7.00	0.5926	298.40
0.7665	2.27	8.00	0.5926	445.43
0.7665	2.27	9.00	0.5926	634.21
0.7665	2.27	10.00	0.5926	869.98

Elaboración: Propia.

Con los datos de la tabla anterior se obtiene la siguiente curva de potencia del aerogenerador.

Figura 65: Curva de potencia del aerogenerador para Puno.



Elaboración: Propia.

Es necesario hacer una nueva curva de potencia para el aerogenerador esto con datos climatológicos del departamento de Puno con ello se tendrán nuevos valores de generación de potencia los cuales son similares a los que se tomaron en campo.

Teniendo en cuenta que el módulo está compuesto por dos tipos de generación de energía eléctrica se analizará el aporte que realiza cada uno de ellos.

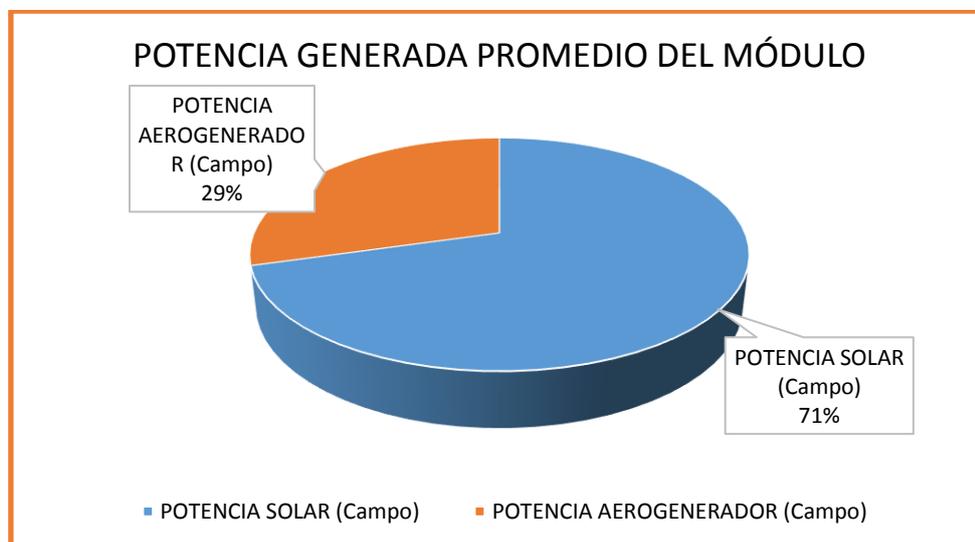
Tabla 22: Datos de campo y cálculo de la eficiencia del módulo híbrido.

<b>“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015”</b>							
N°	Fecha	Ubicación	Potencia solar (Campo)	Potencia aerogenerador (Campo)	Potencia generada (Campo)	Potencia nominal (Fabricante)	Eficiencia del módulo
			Watts	Watts	Watts	Watts	(%)
1	24/07/2016	SALCEDO	176.67	56.37	233.04	640	36.41
2	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	185.75	108.55	294.30	640	45.99
3	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	184.22	63.29	247.51	640	38.67
4	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	183.06	76.29	259.35	640	40.52
PROMEDIO			182.43	76.13	258.55	640.00	40.40

Elaboración: Propia.

En el gráfico se muestra el aporte de potencia de cada tipo de generación al módulo híbrido.

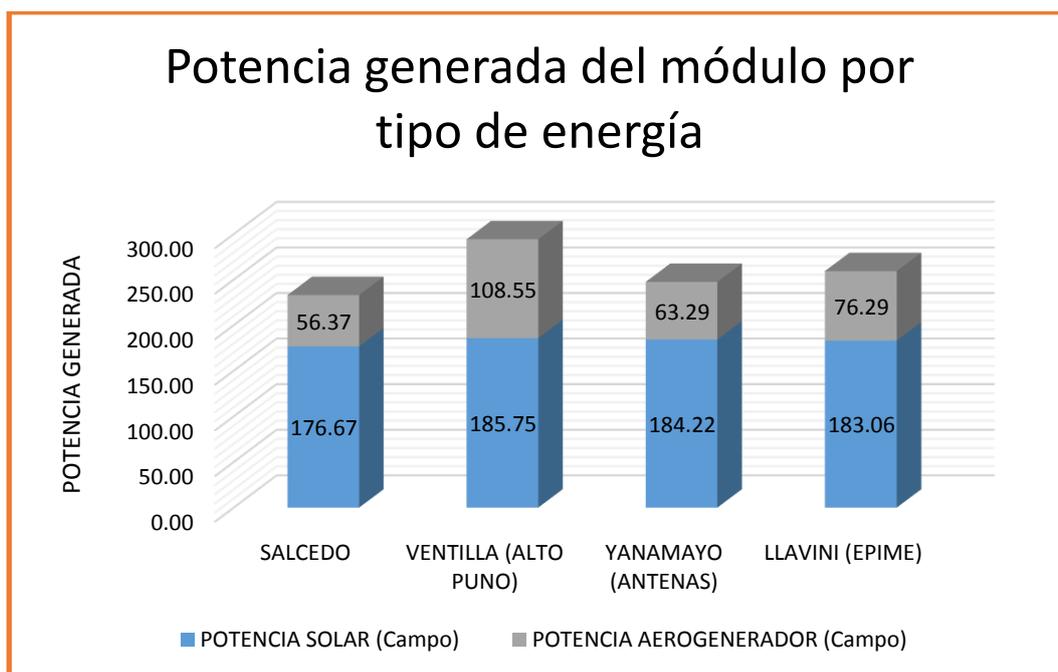
Figura 66: Potencia Generada del módulo.



Analizando la gráfica de la potencia total generada promedio del módulo híbrido solar-eólico, la fuente que aporta mayor potencia es la solar con un 71% y con un 29% la potencia producida por el aerogenerador lo cual es menor, esto se debe a que la velocidad del viento es baja.

En los siguientes gráficos se verá el aporte de potencia que realiza cada fuente en los cuatro sectores.

Figura 67: Potencia generada del módulo por tipo de energía.

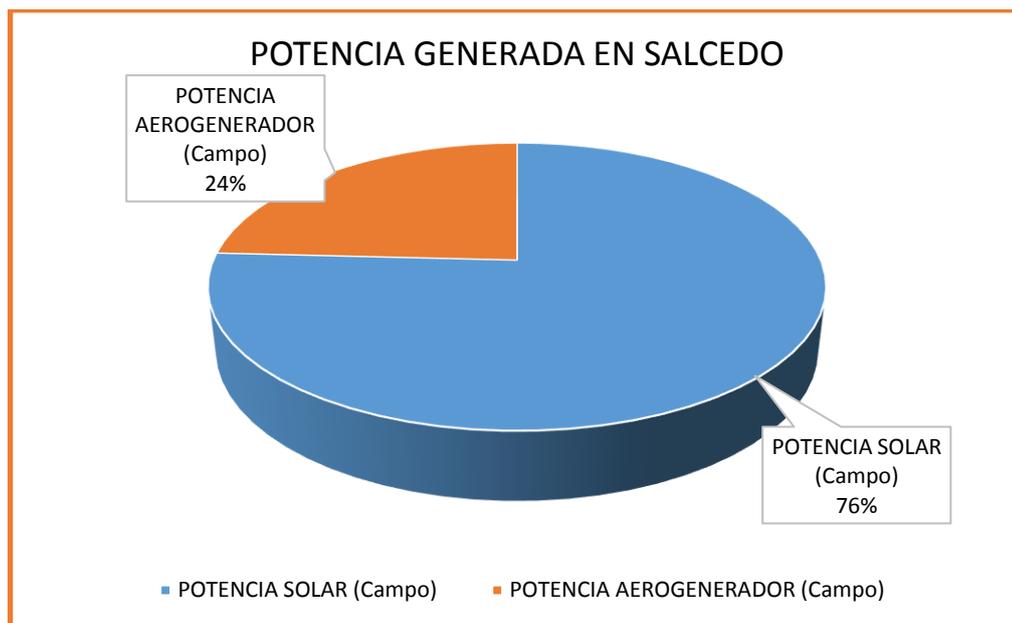


Elaboración: Propia.

En el gráfico se observa que en el sector de Ventilla existe mayor aporte de potencia por parte del aerogenerador, haciendo un total de 108.55 Watts, siendo el máximo, mientras en otros sectores no superan los 80 Watts, el aporte de potencia por parte de los paneles solares es también el más alto que en otros sectores.

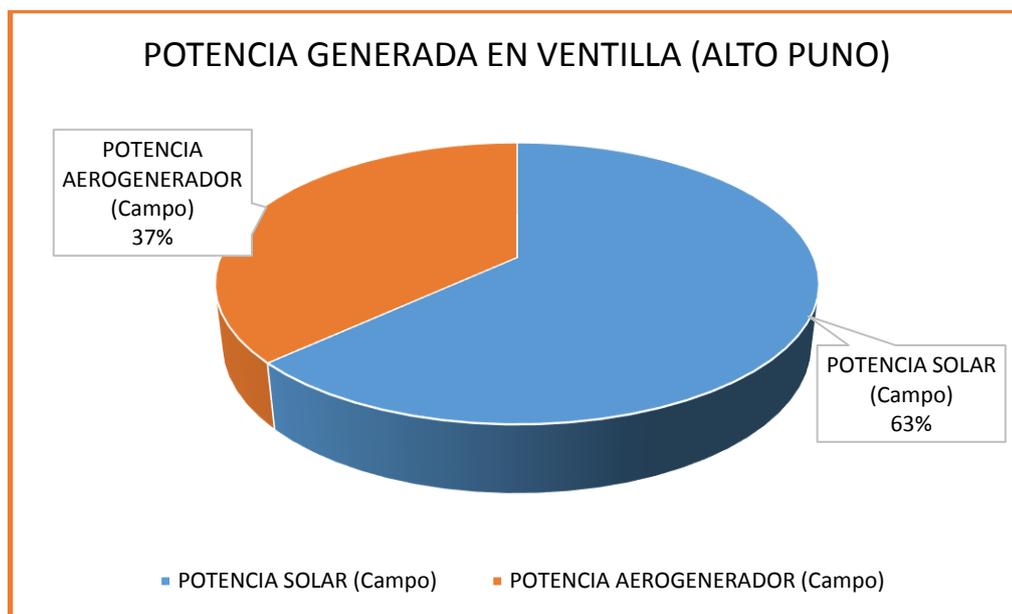
En el siguiente gráfico se mostrará el porcentaje de participación de cada tipo de energía en los sectores.

Figura 68: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Salcedo.



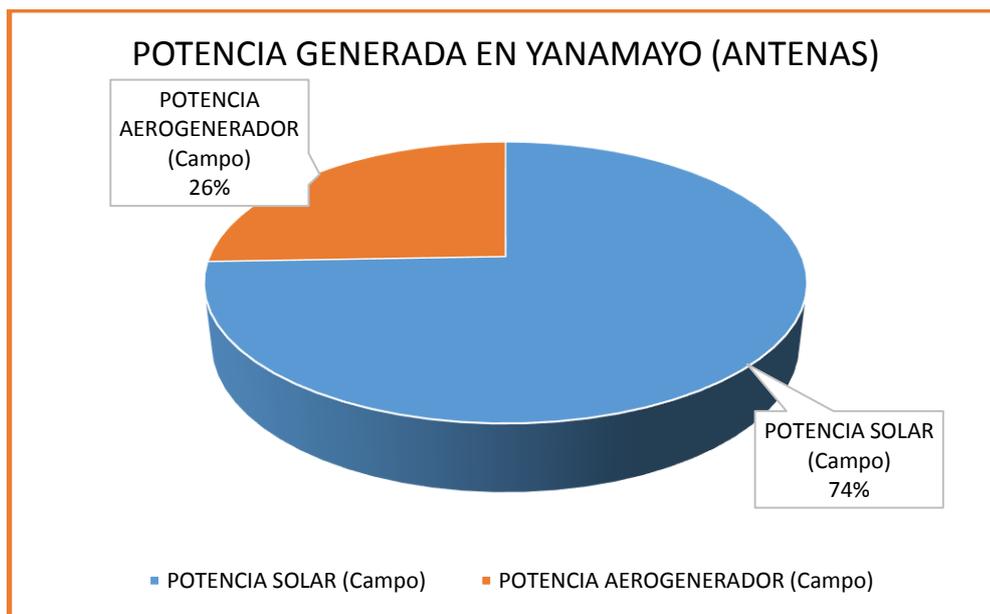
Elaboración: Propia.

Figura 69: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Ventilla (Alto Puno)



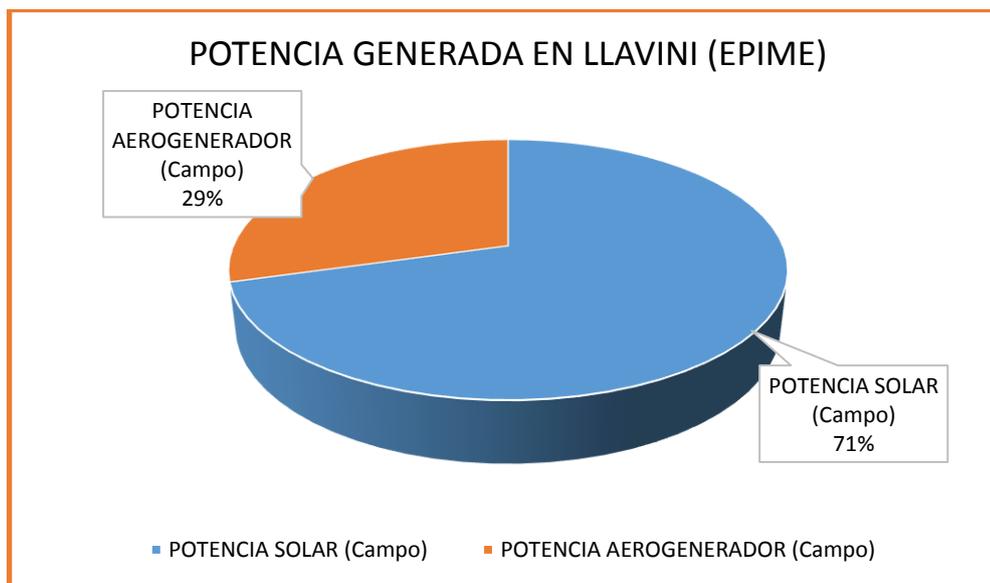
Elaboración: Propia.

Figura 70: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Yanamayo (Antenas).



Elaboración: Propia.

Figura 71: Potencia generada del módulo por tipo de energía en Llavini (EPIME).



Elaboración: Propia.

#### 4.4 Prueba de Hipótesis.

Las pruebas de las hipótesis se harán con Regresión lineal simple. Primeramente se presenta un análisis estadístico descriptivo de los datos tomados en campo.

Tabla 23: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Salcedo.

<b>SALCEDO 24/07/2016</b>						
<b>Tratamiento estadístico</b>	<b>Velocidad del viento</b>	<b>Radiación solar</b>	<b>Pot. aerog.</b>	<b>Pot. solar</b>	<b>Pot. generada por el módulo</b>	<b>Eficiencia del módulo</b>
	<b>m/s</b>	<b>W/m2</b>	<b>Watts</b>	<b>Watts</b>	<b>Amp.</b>	<b>%</b>
Media	4.97	1014.00	56.37	176.67	233.04	36.41
Mediana	5.20	1100.00	60.00	194.00	253.50	39.61
Moda	5.30	1100.00	67.50	195.00	257.50	40.23
Rango	2.40	1045.00	50.70	150.00	192.00	30.00
Desviación estándar	0.69	276.95	12.55	43.98	53.66	8.38
varianza	0.48	76702.17	157.46	1934.52	2879.56	70.30
Coficiente de variabilidad (%)	13.97	27.31	22.26	24.90	23.03	23.03

Elaboración: Propia.

Tabla 24: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Ventilla (Alto Puno).

<b>VENTILLA (ALTO PUNO) 30/07/2016</b>						
<b>Tratamiento estadístico</b>	<b>Velocidad del viento</b>	<b>Radiación solar</b>	<b>Pot. aerog.</b>	<b>Pot. solar</b>	<b>Pot. generada por el módulo</b>	<b>Eficiencia del módulo</b>
	<b>m/s</b>	<b>W/m2</b>	<b>Watts</b>	<b>Watts</b>	<b>Amp.</b>	<b>%</b>
Media	6.43	1097.00	108.55	185.75	294.31	45.99
Mediana	6.60	1110.00	105.00	185.00	295.20	46.13
Moda	4.90	1200.00	105.00	185.00	325.00	50.78
Rango	3.60	580.00	108.64	40.00	114.16	17.84
Desviación estándar	1.09	150.37	32.10	9.92	31.75	4.96
Varianza	1.18	22609.90	1030.60	98.46	1007.84	24.61
Coficiente de variabilidad (%)	16.89	13.71	29.57	5.34	10.79	10.79

Elaboración: Propia.

Tabla 25: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Yanamayo (antenas).

<b>YANAMAYO (ANTENAS) 28/07/2016</b>						
Tratamiento estadístico	Velocidad del viento	Radiación solar	Pot. aerog.	Pot. solar	Pot. generada por el módulo	eficiencia del módulo
	m/s	W/m2	Watts	Watts	Amp.	%
Media	4.30	1222.55	63.29	184.22	247.51	38.67
Mediana	4.10	1329.00	63.60	200.00	262.60	41.03
Moda	3.50	1385.00	63.60	221.00	274.90	42.95
Rango	3.00	852.50	15.45	115.00	120.55	18.84
Desviación estándar	0.81	222.21	3.75	40.31	39.79	6.22
Varianza	0.66	49378.86	14.09	1625.06	1583.22	38.65
Coefficiente de variabilidad (%)	18.91	18.18	5.93	21.88	16.08	16.08

Elaboración: Propia.

Tabla 26: Análisis estadístico descriptivo de los datos de campo, Llavini (EPIME).

<b>LLAVINI (EPIME) 10/08/2016</b>						
Tratamiento estadístico	Velocidad del viento	Radiación solar	Pot. aerog.	Pot. solar	Pot. generada por el módulo	Eficiencia del módulo
	m/s	W/m2	Watts	Watts	Amp.	%
Media	4.69	997.18	76.29	183.06	259.35	40.52
Mediana	4.80	988.00	76.00	182.80	259.10	40.48
Moda	3.90	968.00	83.00	183.00	260.20	40.66
Rango	3.50	106.00	67.00	15.00	68.40	10.69
Desviación estándar	0.89	33.22	9.80	1.94	9.90	1.55
Varianza	0.80	1103.48	96.01	3.76	97.98	2.39
Coefficiente de variabilidad (%)	19.07	3.33	12.84	1.06	3.82	3.82

Elaboración: Propia.

- Para la prueba de la primera hipótesis se tienen los siguientes gráficos utilizando Regresión lineal simple.

Utilizando la operacionalización de variables se han definido las siguientes correlaciones.

- a. La velocidad del viento influye en la eficiencia del módulo, para lo cual se tienen la siguiente Regresión lineal:

$$Y = f(X) + C \quad \dots(\text{Ec. 38})$$

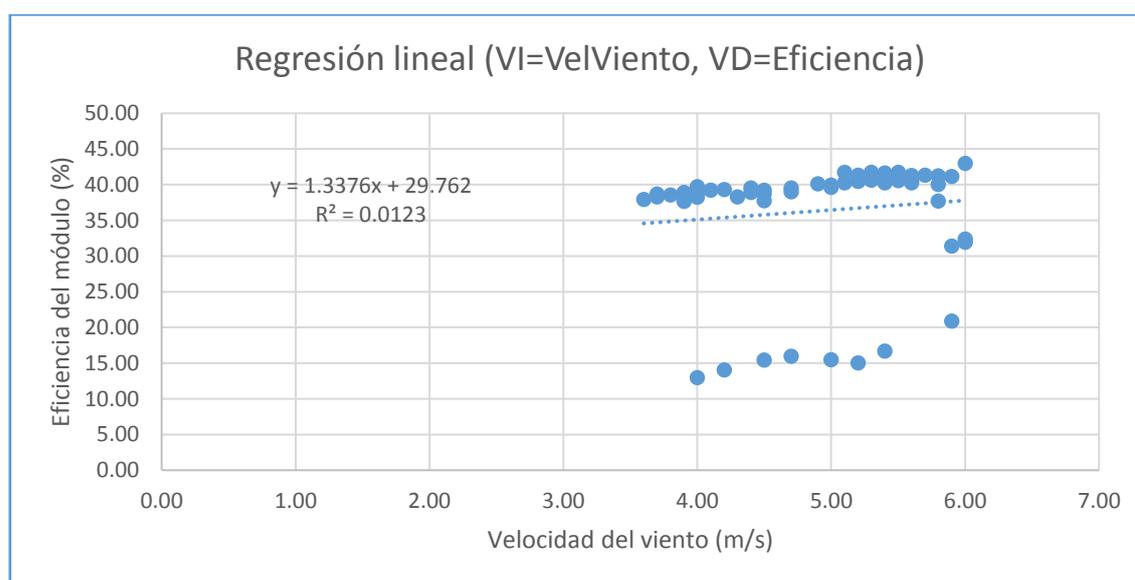
Donde:

Y: Eficiencia del módulo (%).

X: Velocidad del viento (m/s)

Para Salcedo:

Figura 72: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo.



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

Reemplazando en la ecuación (38) tenemos:

$$y = 1.3376x + 29.762$$

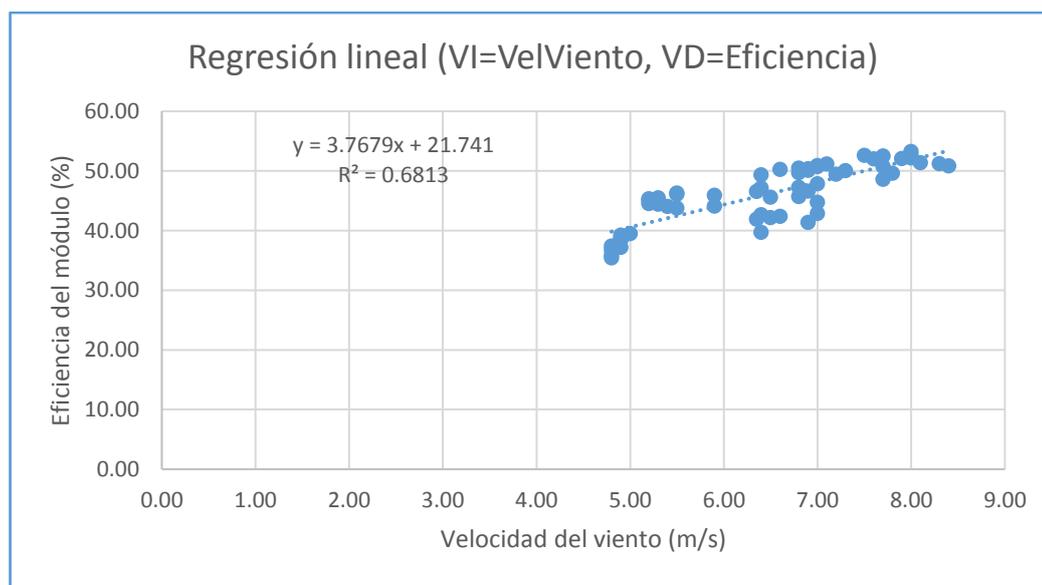
$$R^2 = 0.0123$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo no es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0,0123$  es cercano a 0, en concreto, el 1,23% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se

concluye que la velocidad del viento en Salcedo no influye de manera considerable en la eficiencia del módulo. La correlación es positiva muy débil.

Para Ventilla (Alto Puno):

Figura 73: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

Reemplazando en la ecuación (38) tenemos:

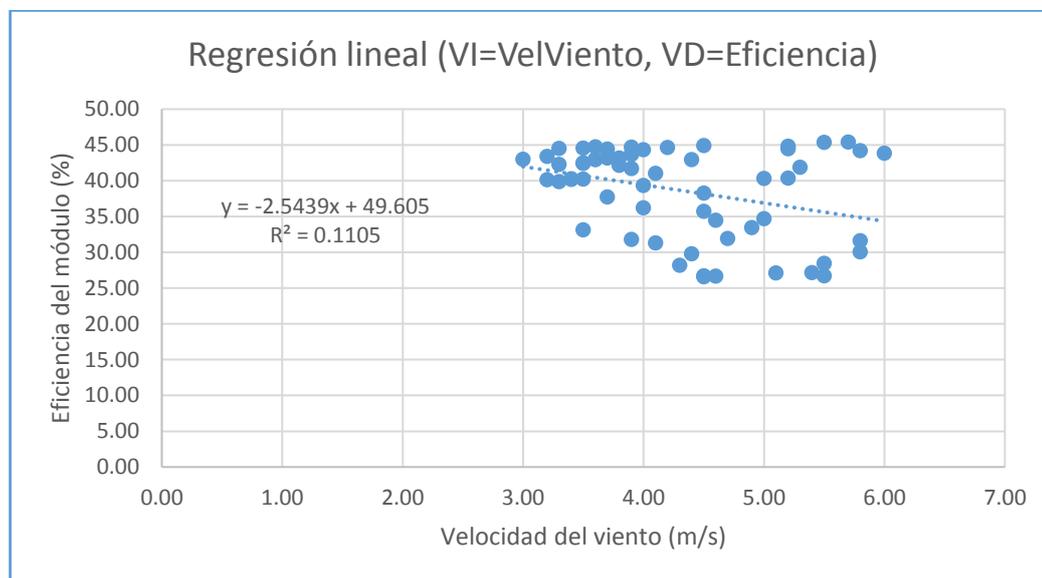
$$y = 3.7679x + 21.741$$

$$R^2 = 0.6813$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0,6813$  es cercano a 1, en concreto, el 68,13% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno) influye de manera considerable en la eficiencia del módulo. La correlación es positiva considerable.

Para Yanamayo (antenas):

Figura 74: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

Reemplazando en la ecuación (38) tenemos:

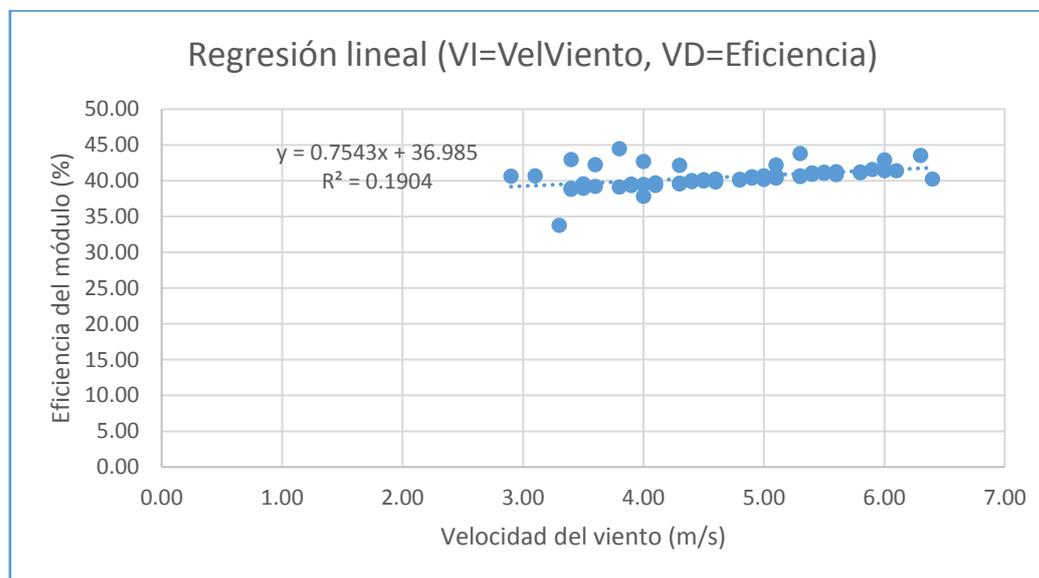
$$y = -2.5439x + 49.605$$

$$R^2 = 0.1105$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo no es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0,01105$  es cercano a 0, en concreto, el 1,11% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la velocidad del viento en Yanamayo (antenas) no influye de manera considerable en la eficiencia del módulo. La correlación es positiva muy débil.

Para Llavini (EPIME)

Figura 75: Análisis de regresión lineal, variable independiente velocidad del viento y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo en Llavini (EPIME).



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

Reemplazando en la ecuación (38) tenemos:

$$y = 0.7543x + 36.985$$

$$R^2 = 0.1904$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0,1904$  es cercano a 1, en concreto, el 19,04% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la velocidad del viento en Llavini (EPIME) influye en la eficiencia del módulo. La correlación es positiva débil.

- b. La radiación solar influye en la eficiencia del módulo, para lo cual se tienen la siguiente Regresión lineal:

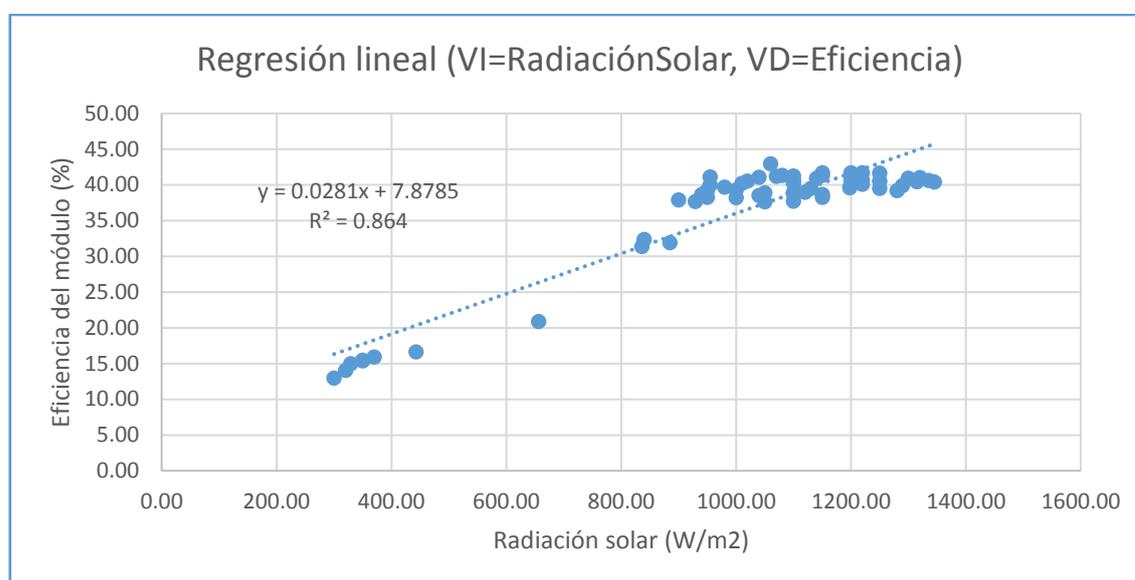
Donde:

Y: Eficiencia del módulo (%).

X: Radiación solar (w/m2).

Para Salcedo:

Figura 76: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo.

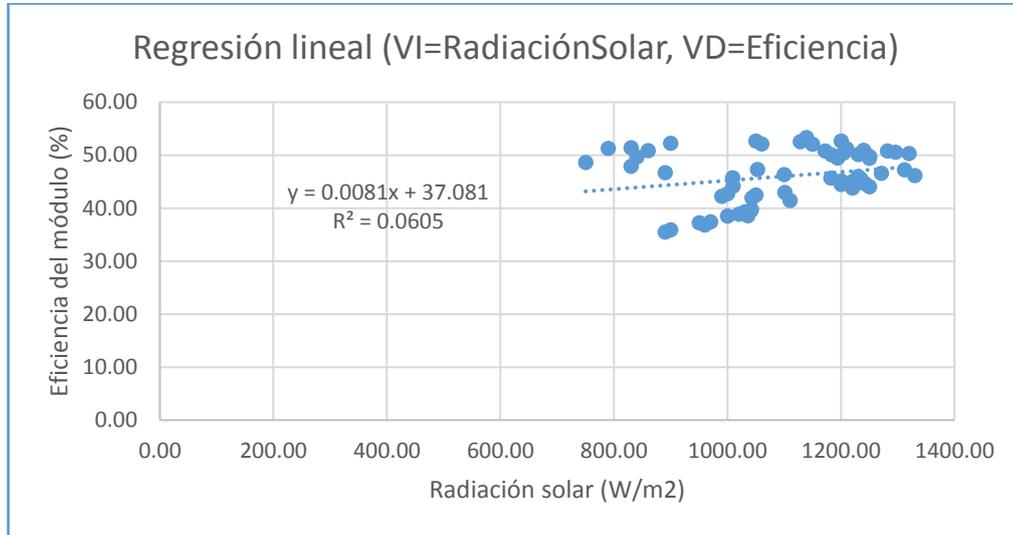


Elaboración: Propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores de R2, se concluye que la radiación solar influye en la eficiencia del módulo ya que el grado de influencia de la variable independiente es de 86,4 % hacia la dependiente. La correlación es positiva muy fuerte.

Para Ventilla (Alto Puno):

Figura 77: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).

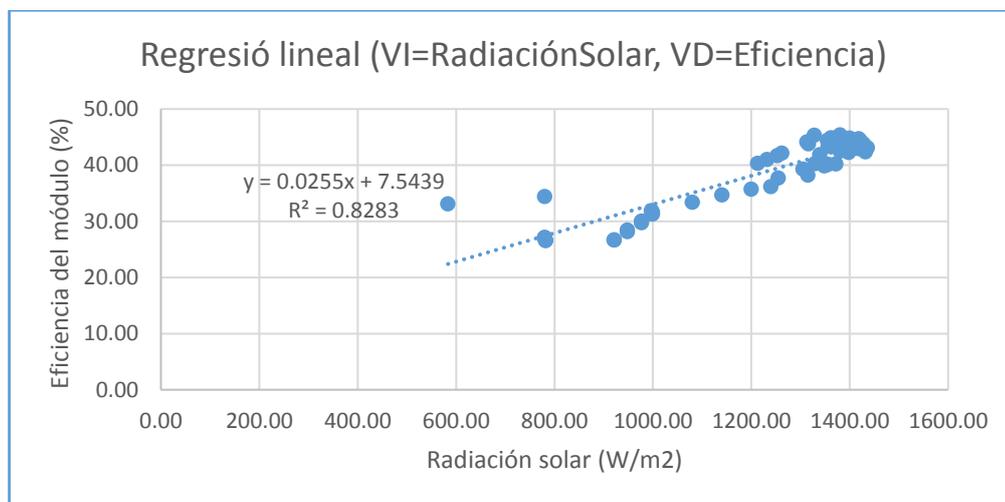


Elaboración: Propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores de R2, se concluye que la radiación solar no influye en la eficiencia del módulo ya que el grado de influencia de la variable independiente es de 6,05 % hacia la dependiente. La correlación es positiva muy débil.

Para Yanamayo (antenas):

Figura 78: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).

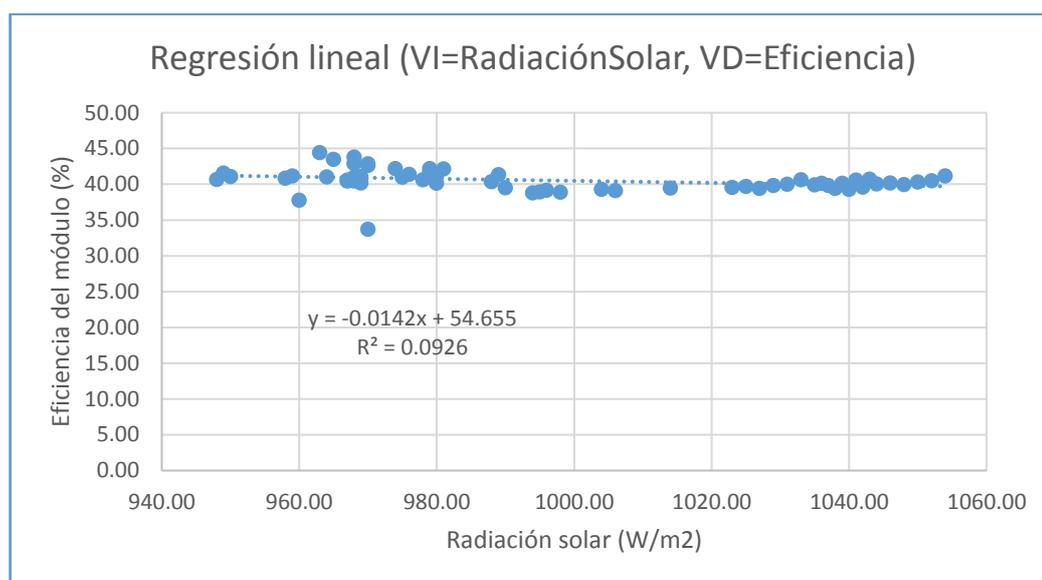


Elaboración: Propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores de R<sup>2</sup>, se concluye que la radiación solar influye en la eficiencia del módulo ya que el grado de influencia de la variable independiente es de 82,83 % hacia la dependiente. La correlación es positiva muy fuerte.

Para Llavini (EPIME):

Figura 79: Análisis de regresión lineal, variable independiente radiación solar y variable dependiente eficiencia del módulo en Llavini (EPIME).



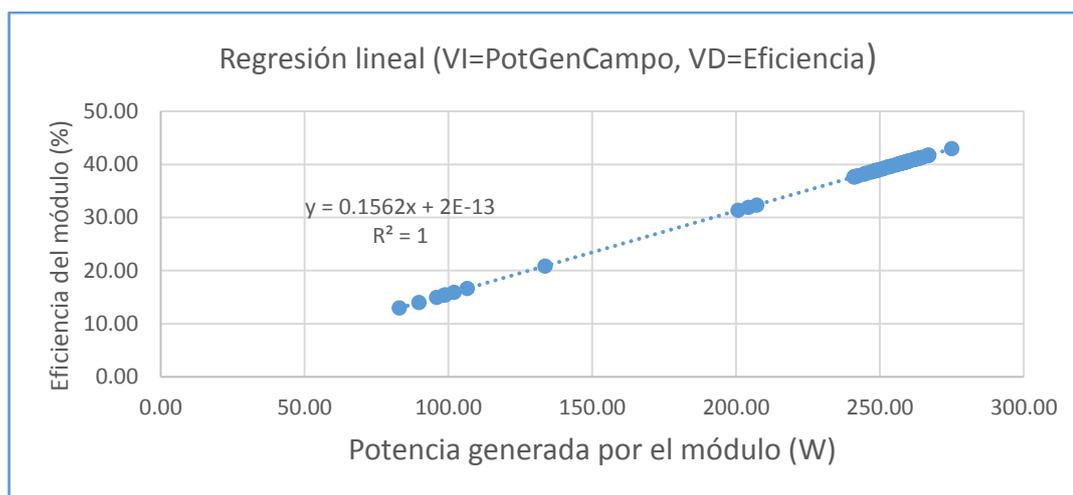
Elaboración: Propia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores de R<sup>2</sup>, se concluye que la radiación solar no influye en la eficiencia del módulo ya que el grado de influencia de la variable independiente es de 9,26 % hacia la dependiente. La correlación es positiva muy débil.

- c. La potencia generada por el módulo influye en la eficiencia del mismo, para lo cual se tienen la siguiente Regresión lineal:

Para Salcedo:

Figura 80: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Salcedo.



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

Reemplazando en la ecuación (38) tenemos:

$$y = 0.1562x + 2E-13$$

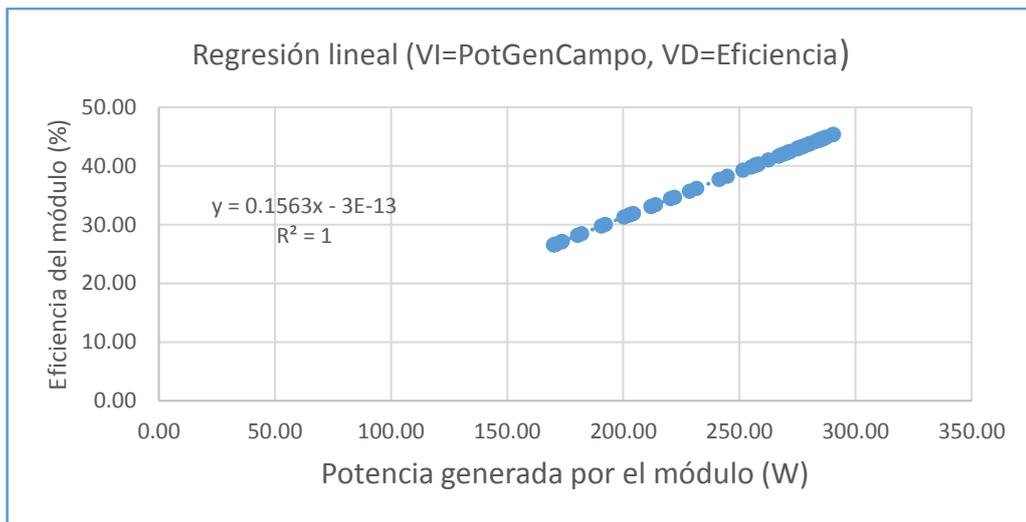
$$R^2 = 1$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 1$  es igual a 1, en concreto, el 100% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la potencia generada en Salcedo influye de manera considerable en la eficiencia del módulo. Se da el mismo caso para los otros sectores, esto debido a que la eficiencia del

módulo fue calculada en relación de la potencia generada y la potencia nominal. La correlación es positiva perfecta.

Para Ventilla (Alto Puno):

Figura 81: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Ventilla (Alto Puno).

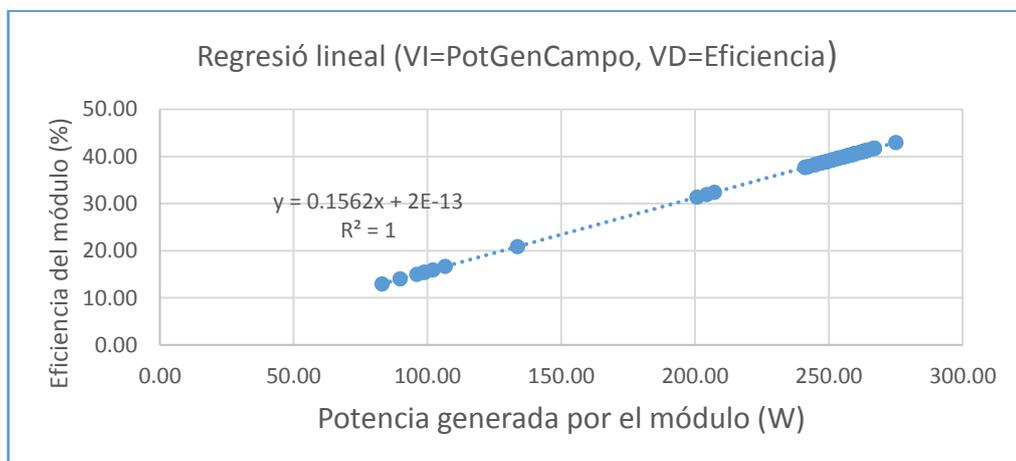


Elaboración: Propia.

La correlación es positiva perfecta.

Para Yanamayo (Antenas):

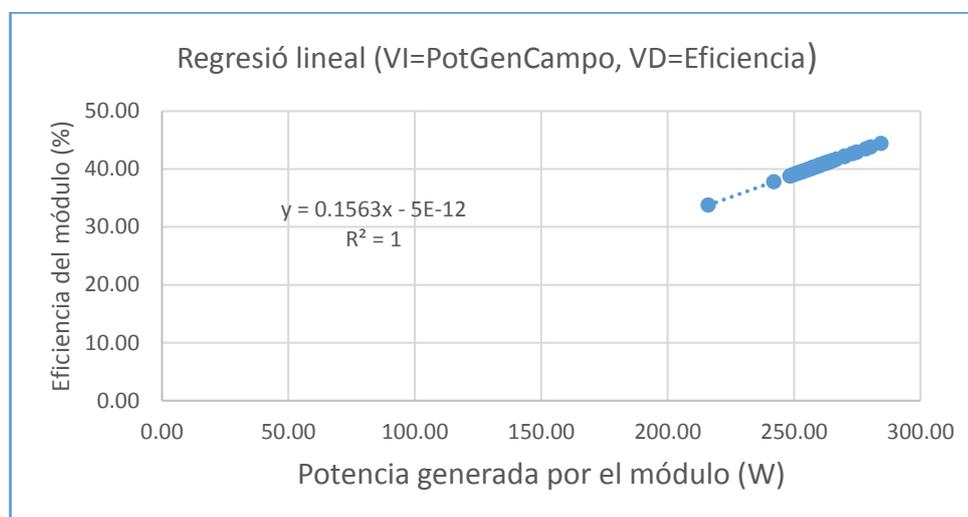
Figura 82: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Yanamayo (antenas).



Elaboración: Propia.

Para Llavini (EPIME):

Figura 83: Análisis de regresión lineal, variable independiente potencia generada y variable dependiente eficiencia del módulo en Llavini (EPIME).



Elaboración: Propia.

La correlación es positiva perfecta.

Según Valderrama Mendoza 2015, se acepta la primera hipótesis, ya que los valores de la correlación son mayores a 1.

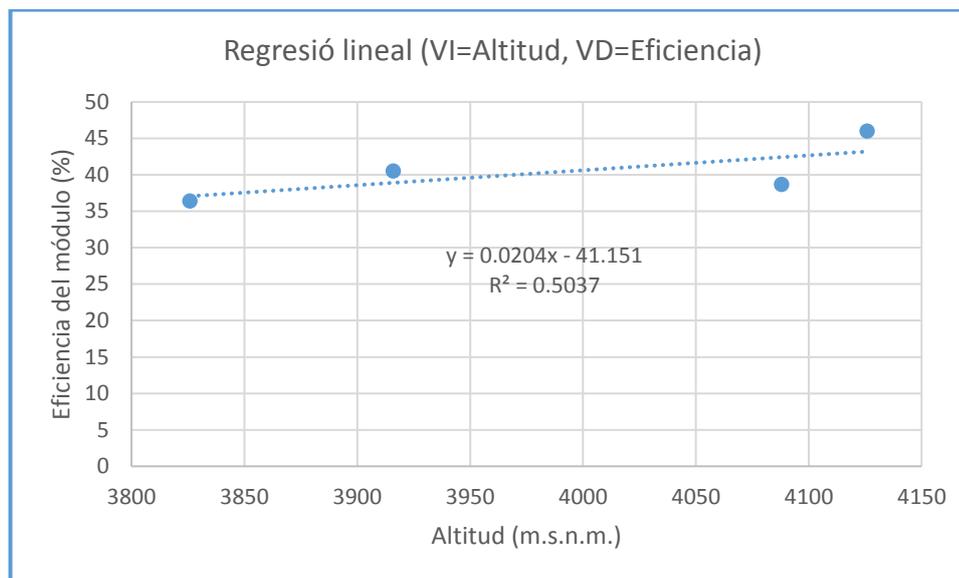
- Para la prueba de la segunda hipótesis se tienen los siguientes gráficos utilizando Regresión lineal simple.

La ubicación geográfica (por la altitud) influye en la eficiencia del módulo, para lo cual se tienen la siguiente Regresión lineal de la ecuación (38):

$$Y = f(X)$$

Se tiene la siguiente Regresión lineal:

Figura 84: Análisis de regresión lineal, variable independiente ubicación geográfica (Altitud) y variable dependiente eficiencia del módulo.



Elaboración: Propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos la siguiente ecuación y el coeficiente de determinación:

$$y = 0.0204x - 41.151$$

$$R^2 = 0.5037$$

A la vista del resultado podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de  $R^2 = 0.5037$  es cercano a 1, en concreto, el 50.37% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la ubicación geográfica influye de manera considerable en la eficiencia del módulo. La correlación es positiva media. Por lo tanto se acepta la segunda hipótesis.

#### 4.5 VELOCIDAD DEL VIENTO Y RADIACIÓN SOLAR EN OTRAS FUENTES.

El Ministerio de energía y minas tiene como objetivo Promover el desarrollo sostenible y competitivo del sector energético, priorizando la inversión privada y la

diversificación de la matriz energética; a fin de asegurar el abastecimiento de los requerimientos de energía en forma eficiente y eficaz para posibilitar el desarrollo de las actividades productivas y la mejora de las condiciones de vida de la población. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

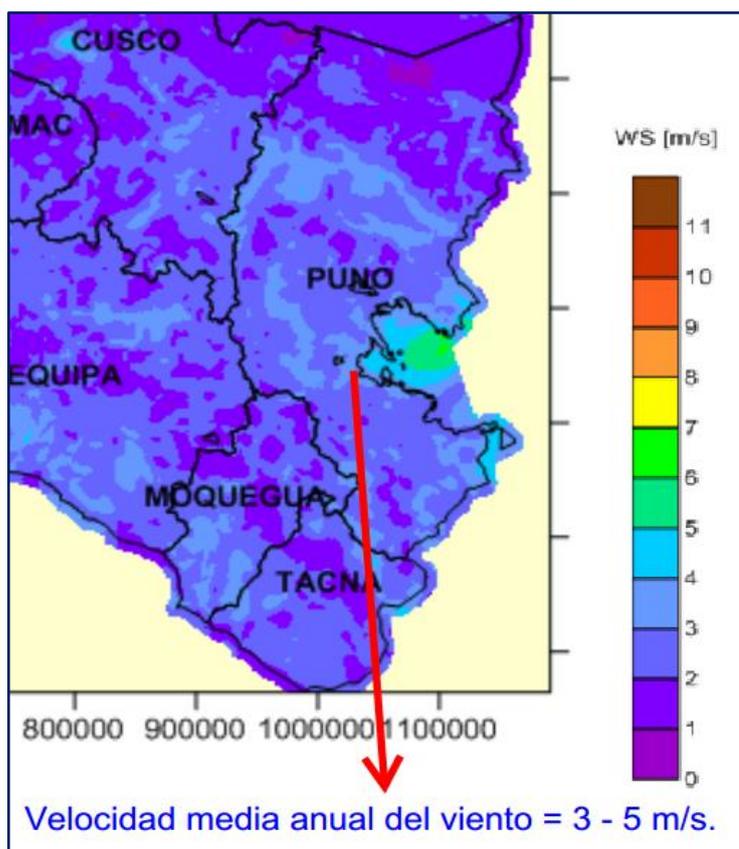
En este sentido, la Dirección General de Electricidad, busca fomentar el aprovechamiento y desarrollo sostenible de los recursos energéticos renovables y no renovables, el uso racional y eficiente de la energía y el desarrollo de nuevas tecnologías para su utilización en generación de energía eléctrica. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

De esta manera, en el año 2015 dentro del Programa para la Gestión Eficiente y Sostenible de los Recursos Energéticos del Perú (PROSEMER), se convocó el concurso para el desarrollo del “Estudio para Aprovechamiento Eólico con Fines Energéticos y Actualización del Atlas Eólico del Perú”, con el fin de actualizar el Atlas Eólico, cuyo objetivo es mejorar la estimación del potencial eólico nacional y disponer de información actualizada, orientada a promover de manera eficaz y descentralizada el uso de energía eléctrica producida con recursos eólicos. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Como resultado del estudio desarrollado se ha obtenido el Atlas Eólico del Perú 2016, la empresa ganadora fue el Consortio Vortex compuesta por las empresas Barlovento Recursos Naturales y Barlovento Renovables Latinoamérica. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

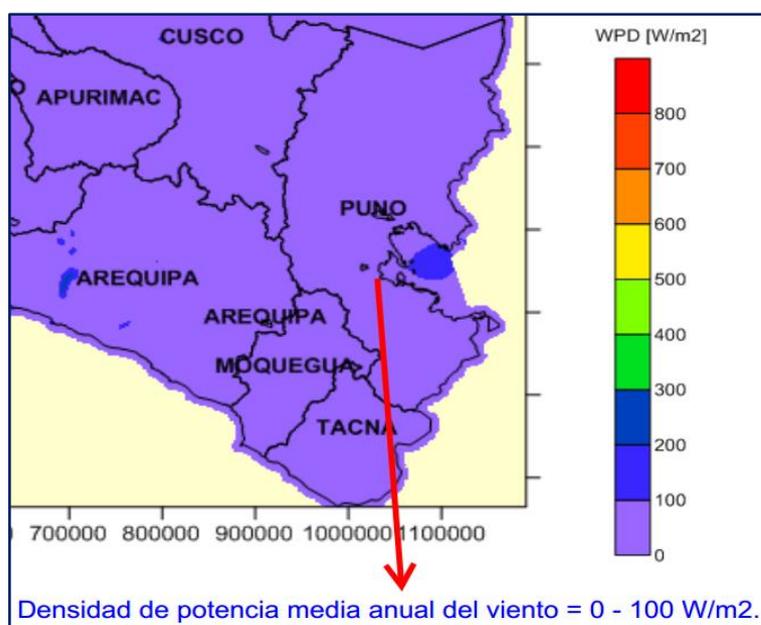
Los datos obtenidos para el departamento de Puno fueron los siguientes:

Figura 85: Velocidad media anual del viento en Puno.



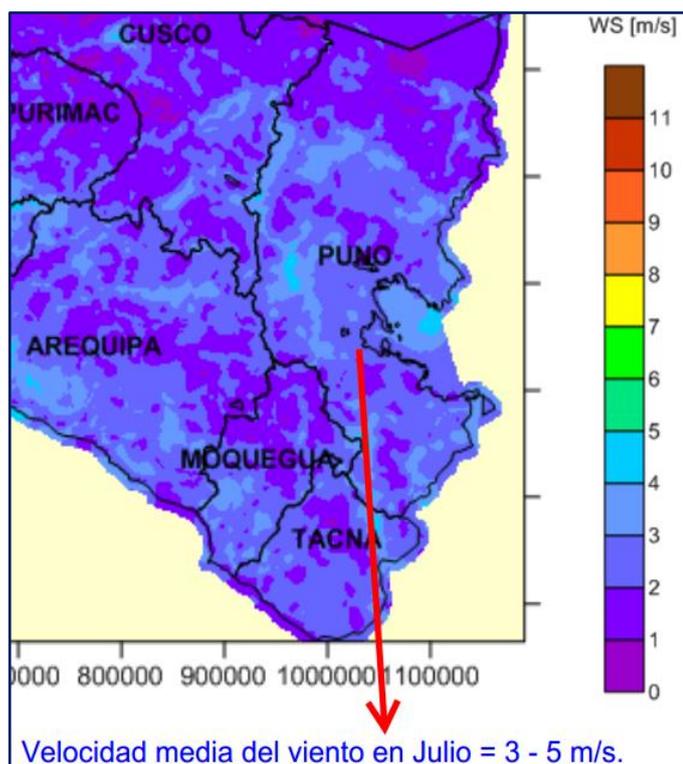
Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Figura 86: Densidad de potencia media anual del viento en Puno.



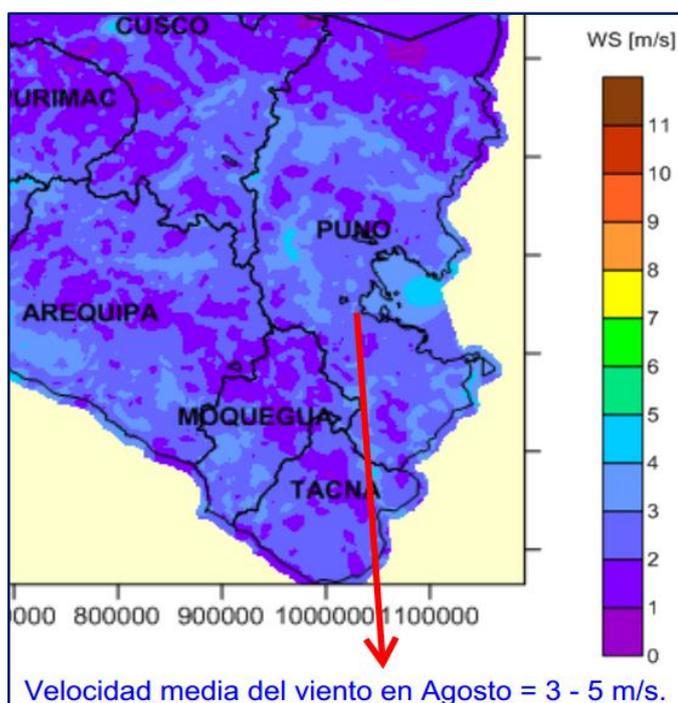
Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Figura 87: Velocidad media del viento en Julio en Puno.



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Figura 88: Velocidad media del viento en Agosto en Puno.

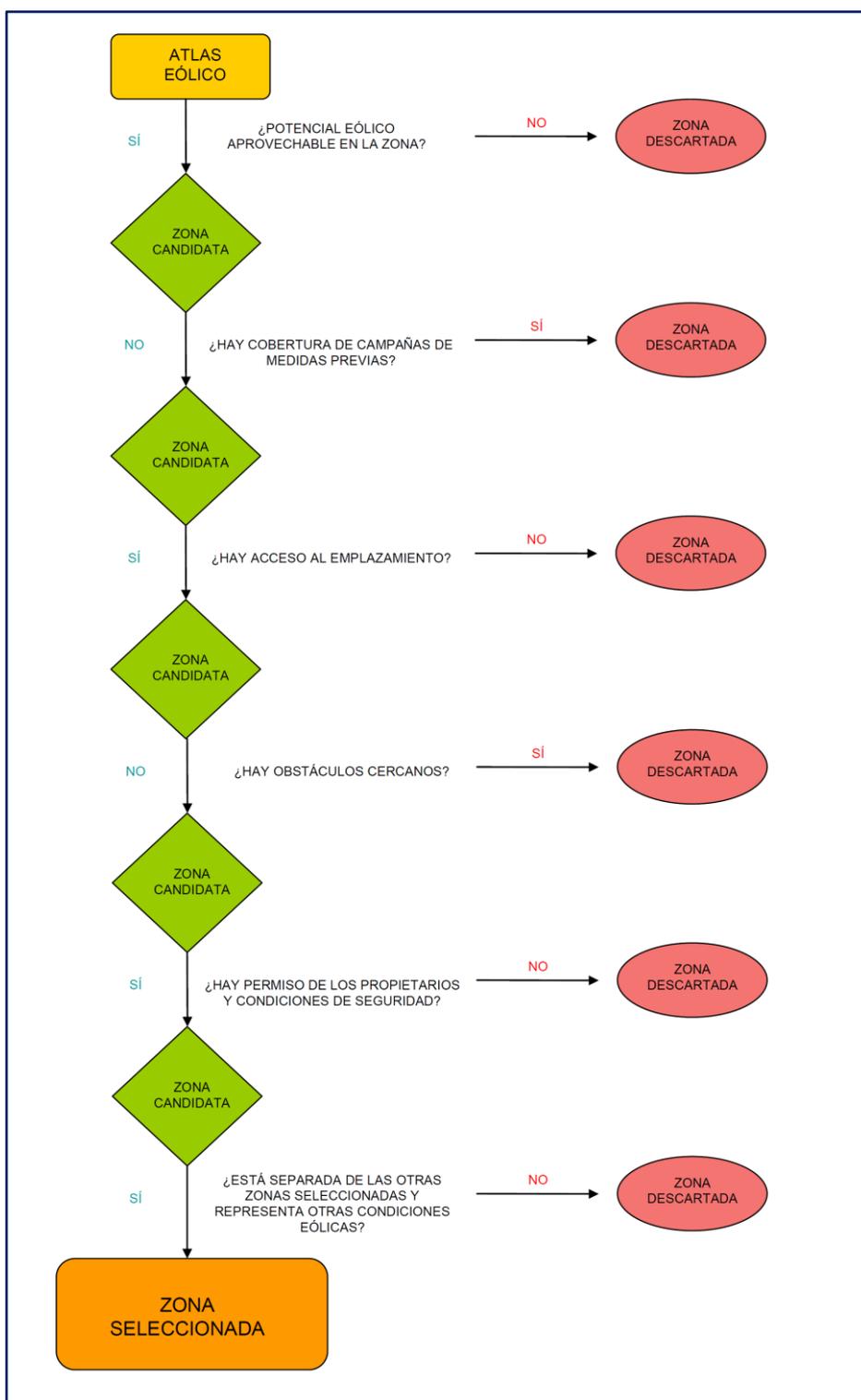


Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Tomando en cuenta la figura 72 se tiene que la velocidad media del viento anual está entre 3 a 5 m/s, este comportamiento también se da en los meses de Julio y Agosto, por otro lado la densidad media de la potencia anual está de 0 a 100 W/m<sup>2</sup>.

Para la validación de datos han empleado 3 torres meteorológicas de 20 metros de altura durante un periodo de 6 meses, y un equipo de medición remota (SODAR) durante un periodo de 3 meses. Para la selección de emplazamientos han utilizado el siguiente flujo.

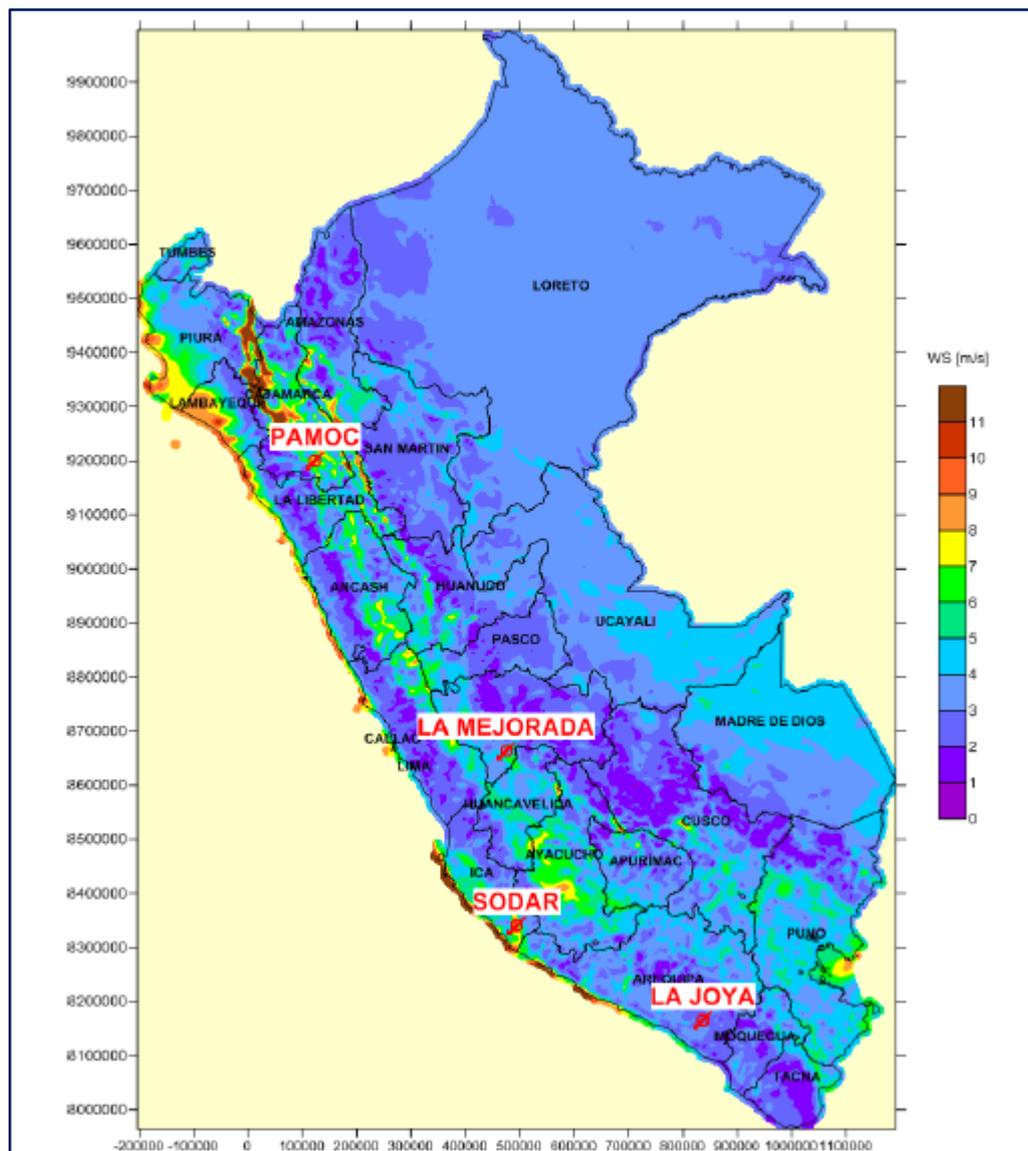
Figura 89: Esquema de selección de emplazamientos de medida para validación según Vortex.



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Obteniendo los siguientes sectores:

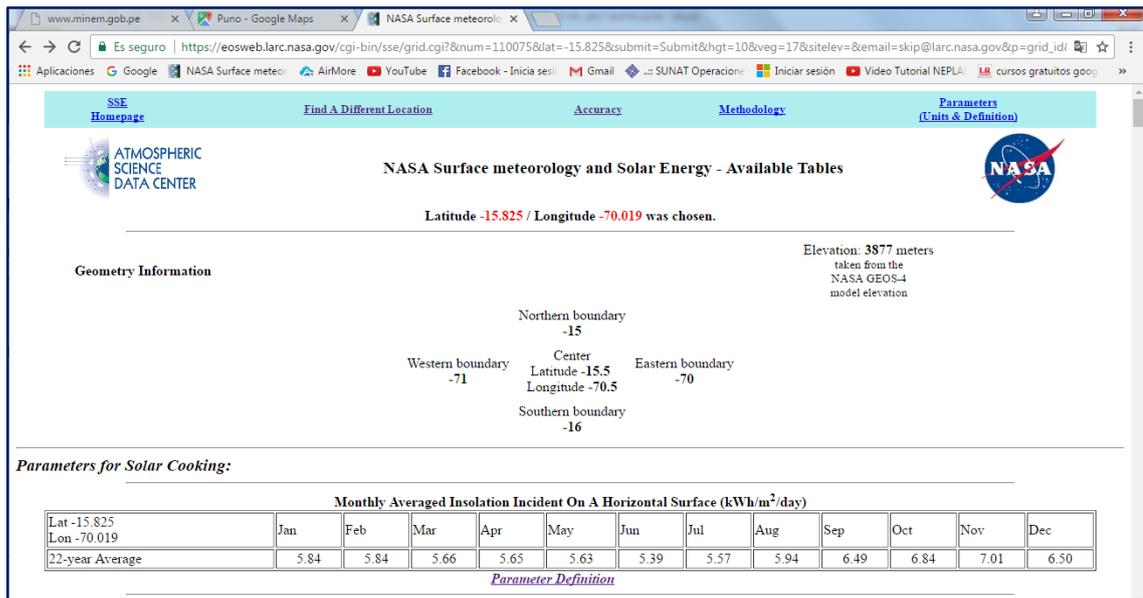
Figura 90: Zonas de medida. (Atlas Eólico a 100 m, resolución 1 km).



Fuente: (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

Los valores obtenidos en la página web de la Nasa de la insolación promedio mensual en una superficie horizontal son los siguientes:

Figura 91: Página web de la Nasa.



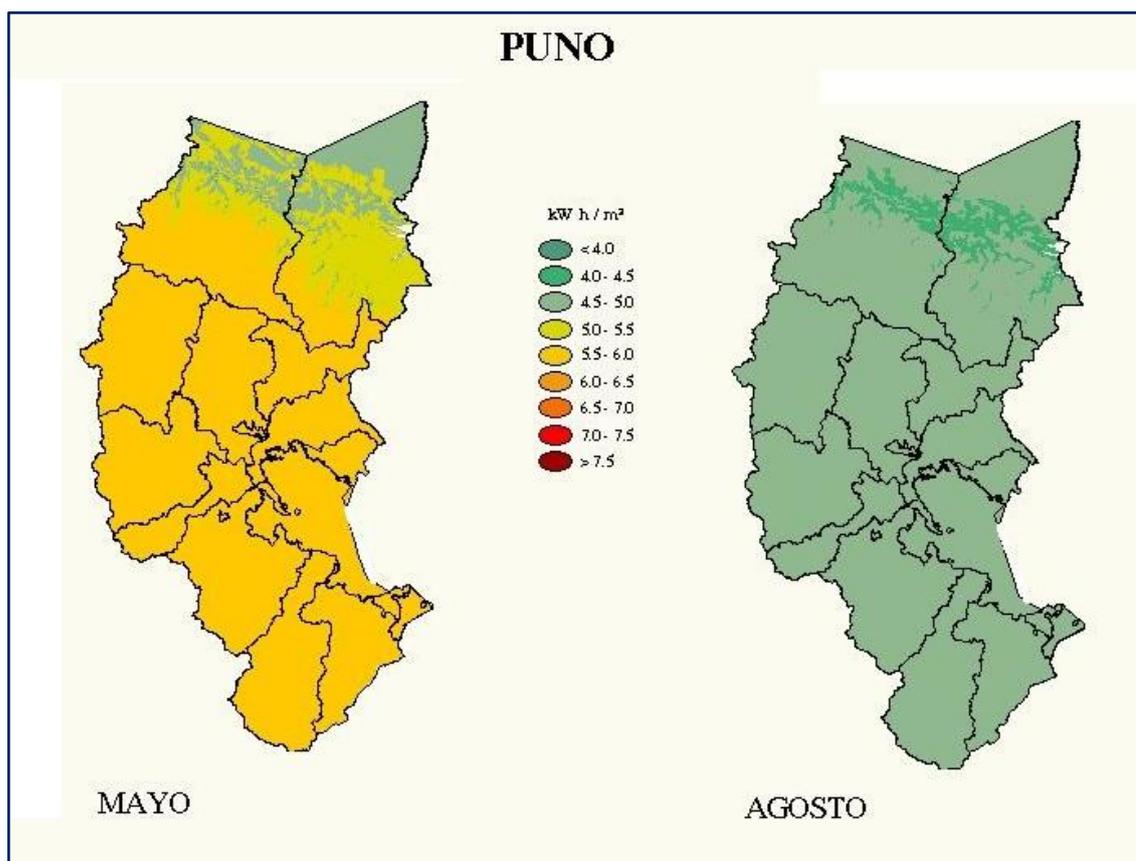
Fuente: Página web de la Nasa (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&email=skip@larc.nasa.gov&step=1&p=&lat=155026.1&submit=Submit&lon=700140.6>), recuperado el 21/06/2017.

Tabla 27: Incidencia de insolación promedio mensual en un superficie horizontal.

Incidencia de insolación promedio mensual en una superficie horizontal (kWh / m <sup>2</sup> / día)												
Lat -15.825	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Lon -70.019												
Promedio de 22 años	5.84	5.84	5.66	5.65	5.63	5.39	5.57	5.94	6.49	6.84	7.01	6.5

Fuente: Página web de la Nasa (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&email=skip@larc.nasa.gov&step=1&p=&lat=155026.1&submit=Submit&lon=700140.6>), recuperado el 21/06/2017.

Figura 92: Energía solar incidente diaria en Puno.



Fuente: Atlas solar del Perú, Senamhi.

Las mediciones se han realizado en el mes de Julio por lo tanto se ha tomado un valor de 5.21 kWh/m<sup>2</sup> para hacer los cálculos.

#### 4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CON LOS ANTECEDENTES

En esta sección se hará la discusión con los resultados y conclusiones de los antecedentes.

- La velocidad del viento del primer antecedente fue simulada con un ventilador obteniendo un promedio de 4.2 m/s, con esta simulación se han llegado a datos erróneos ya que la velocidad simulada no es la que está disponible, en nuestra tesis se ha logrado tener datos de campo verídicos, medido en los mismos sectores,

teniendo una velocidad promedio de 5.1 m/s. En cuanto a la radiación solar han obtenido un promedio de 1790 W/m<sup>2</sup> haciendo mediciones reales, en nuestra tesis hemos realizado mediciones en campo obteniendo un valor mínimo de 1082.68 W/m<sup>2</sup> y un máximo de 1436 W/m<sup>2</sup>, haciendo un comparativo el valor que medido por ellos es muy elevado lo cual solo se puede conseguir con un seguidor solar, mejorando la inclinación y la orientación del panel solar lo cual no han hecho, el módulo diseñado por ellos no tiene un correcto soporte del panel solar.

- La inclinación del panel solar que han determinado en el segundo antecedente es de 20° a 25° orientado al norte, en nuestra tesis hemos obtenido una inclinación de 15° utilizando la latitud de nuestro departamento y la inclinación óptima para el día 192 es 18.67°.

El nivel de radiación solar en su tesis es de 900W/m<sup>2</sup> a 1000 W/m<sup>2</sup>, en nuestra tesis el promedio alcanzado es 1082.68 W/m<sup>2</sup> estos valores se aproximan por lo tanto son correctos.

- En el tercer antecedente su objetivo principal ha sido dar viabilidad a su proyecto centrándose más en describir la zona de influencia y las características y bondades de los equipos y materiales a utilizar.
- La medición de la velocidad del viento obtenido por el consorcio Vortex es de 3 a 5 m/s, este valor fue aproximado con los datos del senamhi para Puno, ya que ellos solo han instalado 3 torres en todo el Perú, ubicados en Cajamarca, Ica y Arequipa, en nuestra tesis el valor promedio de la velocidad del viento fue de 5.1 m/s, este valor es casi aproximado a su medición, pero el de nosotros es un valor real medido en campo.
- Los valores de insolación registrados en la Nasa y en al atlas solar del Perú se aproximan, por lo cual se puede utilizar los dos fuentes.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Con la instalación del módulo híbrido solar-eólico en los sectores de Salcedo, Ventilla (Alto Puno), Yanamayo (antenas) y Llavini (EPIME) en nuestro departamento de Puno. Se ha logrado tomar datos de campo teniendo un promedio en la radiación solar 1082.68 watts/m<sup>2</sup> y la velocidad del viento 5.10 m/s, con estos datos ambientales se ha logrado producir una potencia promedio de 258.55 Watts, obteniendo una eficiencia promedio de 40.40%, con lo cual se concluye que los recursos renovables son suficientes para producir energía eléctrica. Analizando el módulo híbrido solar-eólico se concluye que el arreglo fotovoltaico aporta el 71% de potencia y el aerogenerador aporta un 29 % promedio de los cuatro sectores. Con los cuales se concluye que se ha logrado estudiar la eficiencia de manera experimental en nuestro departamento.

**SEGUNDO:** La velocidad de viento y la radiación solar varían constantemente en cada medición realizada esto se aprecia en las figuras N° 48, 49, 51, 52, 54, 55, 57 y 58, en los cuatro sectores donde se realizaron las mediciones, teniendo un efecto en la eficiencia del módulo lo cual se aprecia en las figuras N° 50, 53, 56 y 59 de los cuatro sectores, con lo cual se concluye que la velocidad del viento y la radiación solar influyen en la eficiencia del módulo.

**TERCERO:** La influencia de la ubicación geográfica se ha logrado determinar haciendo mediciones e instalando el módulo híbrido solar-eólico en los cuatro sectores, en los cuales se ha logrado diferente producción de potencia esto se aprecia en la figura N° 62, por efecto la eficiencia es variable en los cuatro sectores lo cual se aprecia en la figura N° 63, con esto se concluye que la ubicación geográfica influye en la eficiencia del módulo. En la localidad de Ventilla (Alto Puno) el aerogenerador logra aportar un 37% de potencia

y es el valor más alto, con esto se concluye que en este sector se tiene bastante potencial eólico, lo cual es factible para instalar módulos híbridos en esta.

**CUARTO:** Con la donación del módulo y la elaboración de guías de laboratorio se tiene el apoyo suficiente para que puedan realizar prácticas en nuestra escuela profesional.

## SUGERENCIAS

**PRIMERO:** En el sector de Ventilla (Alto Puno) la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico es alta, por lo cual se sugiere hacer un estudio de viento a largo plazo.

**SEGUNDO:** Con el apoyo de las guías de laboratorio y la donación del módulo híbrido solar-eólico se podrán realizar los ensayos y de esa manera tener más experiencia en el manejo de estos.

**TERCERO:** Para una próxima tesis se sugiere mejorar la eficiencia del panel fotovoltaico con seguidores solares, de igual manera la eficiencia del aerogenerador, contando con estudios de viento a largo plazo y determinar un sector con bastante potencial eólico.

**CUARTO:** Teniendo en cuenta que la eficiencia alcanza un 40.40%, esta se puede mejorar agregando un seguidor solar en los paneles y ubicando un sector con bastante potencial eólico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ávila Rojas, L. (2009). *Metodología de Investigación*. Puno: Altiplano EIRL.
- Briconatur, 2. (07 de 10 de 2012). *Energía eólica: Componentes principales de un aerogenerador*. Obtenido de <http://blog.briconatur.com/energía-eólica-componentes-principales-de-un-aerogenerador/>
- Cahui Cahui, D., & Cruz Balcona, J. W. (2013). *DISEÑO Y MONTAJE DE UN MÓDULO HÍBRIDO FOTOVOLTAICO SOLAR Y EÓLICO PARA LA GENERACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA*. PUNO.
- Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (s.f.). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Editex.
- Chavez Vallejo, L. H. (2011). *Estudio técnico Económico de Electrificación Atraves de Sistemas Híbridos (Eólico-Solar) en la Isla Taquile*. Puno: UNA-PUNO.
- Consorcio Vortex (MINEM). (2016). *SBCC-05/PROSEMER-MINEM ESTUDIO PARA APROVECHAMIENTO EÓLICO CON FINES ENERGÉTICOS Y ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS EÓLICO DEL PERÚ*. Lima.
- Electricidad, S. (31 de 01 de 2012). *Perú: El potencial eólico aprovechable alcanza los 22GW*. Obtenido de <http://www.sectorelectricidad.com/404/peru-el-potencial-eólico-supera-los-60-000mw/>
- Enríque Baldovino Fernandini, G. R. (2008). En G. R. Enríque Baldovino Fernandini, *Energía eólica en Perú* (págs. 59-60). Lima: Pearson Education México S.A.
- Enríquez Harper, G. (2011). *El ABC de las Instalaciones en Sistemas Eólicos y Fotovoltaico*. Mexico: Limusa.

- Hualpa Huamani, M. T. (2006). *Estudio de Factibilidad de sistema Híbrido Eólico-Solar en el Departamento de Moquegua*. Moquegua: Tesis.
- Juana Sardón, J. M., Francisco García, A., Santos García, F., Herrero García, M. Á., & Crespo Martínez, A. (2003). *Energías Alternativas para el Desarrollo*. Magallanes - Madrid: Thomson Paraninfo.
- McElroy, M. B. (2009).
- Pacco Ramírez, K. (06 de 07 de 2008). *Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) de Baja Potencia*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml#>
- Pacco Ramírez, K. L. (06 de 07 de 2008). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico2.shtml>
- Pari Percca, E., & Aguilar Calcina, W. T. (2014). *Estudio y Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable con energía solar para las comunidades de Vilacollo y Chasqui del Distrito de Pilcuyo, Provincia el Collao*. Collao: UNA-PUNO.
- Rodríguez Rodríguez, L. M., & Mendez Muñiz, J. M. (1995). *Energía Eólica*. Madrid - España: Fundación Confemetal.
- Salgado, J. M. (2011). Guía Completa de la Energía Eólica. En J. M. Salgado, *Guía Completa de la Energía Eólica* (págs. 44-48). Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones.

Samulat, G. (Junio de 2012). *El futuro de la energía eólica*. Obtenido de

<http://www.investigaciónyciencia.es/revistas/investigación-y-ciencia/numero/429/el-futuro-de-la-energía-eólica-8652>

Sánchez Maza, M. A. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Mexico: Limusa.

Valderrama Mendoza, S. (2015). *Pasos Para Elaborar proyectos de Investigación Científica*. Lima: San Marcos.

## ANEXOS

**Anexo N° 01: Datos medidos en campo, Salcedo.**

**Anexo N° 02: Datos medidos en campo, Ventilla (Alto Puno).**

**Anexo N° 03: Datos medidos en campo, Yanamayo (antenas).**

**Anexo N° 04: Datos medidos en campo, Llavini (EPIME).**

**Anexo N° 05: Guías de laboratorio.**

**Anexo N° 06: Manual de usuario del aerogenerador.**

**Anexo N° 07: Especificaciones técnicas de la batería.**

**Anexo N° 08: Especificaciones técnicas de los paneles solares.**

**Anexo N° 09: Atlas eólico y solar del Perú.**

Anexo N° 01: Datos medidos en campo, Salcedo.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015 SALCEDO														
N° HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO m/s	RADIACIÓN SOLAR N W/m2	CORRIENTE AMP.	TENSIÓN AEROG. Volt	POT. AEROG. Watts	CORRIENTE AEROG. Amp.	RPM AEROG.	POT. SOLAR Watts	TENSIÓN SOLAR. Volt	CORRIENTE SOLAR Amp.
			ESTE	NORTE										
1	08:00	24/07/2016	394237	8245903	3.60	900.00	1.54	214.00	49.50	21.00	320.00	193.00	21.00	0.80
2	08:10	24/07/2016	394237	8245903	3.70	940.00	1.53	215.00	52.50	22.00	313.00	195.00	22.00	0.60
3	08:20	24/07/2016	394237	8245903	3.70	950.00	1.54	215.00	51.00	23.00	310.00	194.00	23.00	0.70
4	08:30	24/07/2016	394237	8245903	3.80	1040.00	1.54	215.00	49.50	22.00	315.00	197.00	22.00	0.80
5	08:40	24/07/2016	394237	8245903	3.90	1050.00	1.54	215.00	45.00	21.50	320.00	196.00	21.50	0.70
6	08:50	24/07/2016	394237	8245903	3.90	1100.00	1.54	215.00	54.00	21.00	325.00	195.00	21.00	0.80
7	09:00	24/07/2016	394237	8245903	4.00	1000.00	1.56	215.00	55.50	22.00	318.00	189.00	22.00	0.70
8	09:10	24/07/2016	394237	8245903	4.00	980.00	1.57	215.00	57.00	21.00	315.00	197.00	21.00	0.70
9	09:20	24/07/2016	394237	8245903	4.10	950.00	1.58	215.00	57.00	22.00	320.00	194.00	22.00	0.80
10	09:30	24/07/2016	394237	8245903	4.20	1000.00	1.58	215.00	55.50	21.00	325.00	196.00	21.00	0.80
11	09:40	24/07/2016	394237	8245903	4.40	1050.00	1.60	215.00	54.00	21.50	330.00	195.00	21.50	0.70
12	09:50	24/07/2016	394237	8245903	4.00	1100.00	1.60	215.00	52.50	22.50	323.00	196.00	22.50	0.70
13	10:00	24/07/2016	394237	8245903	4.30	1150.00	1.60	215.00	51.00	21.50	320.00	194.00	21.50	0.80
14	10:10	24/07/2016	394237	8245903	4.50	1100.00	1.60	216.00	52.50	21.30	325.00	189.00	21.30	0.70
15	10:20	24/07/2016	394237	8245903	4.40	1130.00	1.60	216.00	54.00	21.50	330.00	199.00	21.50	0.80
16	10:30	24/07/2016	394237	8245903	4.70	1120.00	1.60	216.00	55.50	22.00	335.00	194.00	22.00	0.70
17	10:40	24/07/2016	394237	8245903	4.50	1150.00	1.61	216.00	55.50	21.00	328.00	192.00	21.00	0.80
18	10:50	24/07/2016	394237	8245903	4.50	1280.00	1.78	216.00	57.00	21.00	325.00	194.00	21.00	0.70
19	11:00	24/07/2016	394237	8245903	4.70	1250.00	1.78	216.00	60.00	22.00	330.00	193.00	22.00	0.80
20	11:10	24/07/2016	394237	8245903	5.10	1200.00	1.69	216.00	61.50	23.00	335.00	196.00	23.00	0.80
21	11:20	24/07/2016	394237	8245903	5.50	1250.00	1.70	216.00	64.50	21.00	340.00	195.00	21.00	0.80
22	11:30	24/07/2016	394237	8245903	5.30	1220.00	1.58	216.00	66.00	22.00	333.00	194.00	22.00	0.70
23	11:40	24/07/2016	394237	8245903	5.00	1290.00	1.60	216.00	67.50	22.00	330.00	188.00	22.00	0.80
24	11:50	24/07/2016	394237	8245903	5.40	1300.00	1.77	216.00	66.00	24.30	335.00	196.00	24.30	0.80
25	12:00	24/07/2016	394237	8245903	5.20	1315.00	1.77	216.00	66.00	22.50	340.00	193.00	22.50	0.70
26	12:10	24/07/2016	394237	8245903	5.30	1320.00	1.47	216.00	67.50	23.00	345.00	195.00	23.00	0.70
27	12:20	24/07/2016	394237	8245903	5.40	1345.00	1.47	217.00	64.50	23.00	338.00	194.00	23.00	0.70
28	12:30	24/07/2016	394237	8245903	5.30	1335.00	1.47	217.00	63.00	25.00	335.00	197.00	25.00	0.80
29	12:40	24/07/2016	394237	8245903	5.20	1213.00	1.48	217.00	63.00	24.00	340.00	196.00	24.00	0.80
30	12:50	24/07/2016	394237	8245903	4.90	1220.00	1.48	217.00	61.50	23.00	345.00	195.00	23.00	0.90
31	13:00	24/07/2016	394237	8245903	5.00	1198.00	1.55	216.00	64.50	23.00	350.00	189.00	23.00	0.90
32	13:10	24/07/2016	394237	8245903	5.20	1100.00	1.55	218.00	63.00	23.00	343.00	197.00	23.00	0.80

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015																
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO	RADIACIÓN N SOLAR	CORRIENTE	TENSIÓN N	POT.		CORRIENTE AERO.	RPM AERO.	POT. SOLAR	TENSIÓN SOLAR.	CORRIENTE SOLAR
				ESTE	NORTE					W/m <sup>2</sup>	Amp.					
33	13:20	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.30	1200.00	1.37	217.00	67.50	24.00	1.70	340.00	194.00	24.00	1.00
34	13:30	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.40	1250.00	1.55	218.00	70.50	25.00	1.70	345.00	196.00	25.00	0.90
35	13:40	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.30	1220.00	1.66	215.00	72.00	24.00	1.60	350.00	195.00	24.00	0.80
36	13:50	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.10	1200.00	1.76	219.00	69.00	23.00	1.80	355.00	198.00	23.00	0.70
37	14:00	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.20	1150.00	1.76	218.00	67.50	24.00	1.80	348.00	197.00	24.00	0.80
38	14:10	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.30	1140.00	1.54	217.00	66.00	22.00	1.70	345.00	196.00	22.00	0.80
39	14:20	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.40	1100.00	1.55	217.00	67.50	23.00	1.60	350.00	190.00	23.00	0.80
40	14:30	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.50	1150.00	1.55	216.00	69.00	22.50	1.50	355.00	198.00	22.50	0.70
41	14:40	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.60	1100.00	1.54	217.00	69.00	22.00	1.70	360.00	195.00	22.00	0.80
42	14:50	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.70	1080.00	1.45	218.00	67.50	23.50	1.60	365.00	197.00	23.50	0.80
43	15:00	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.80	1070.00	1.58	219.00	67.80	23.00	1.40	370.00	196.00	23.00	0.90
44	15:10	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.50	1040.00	1.76	219.00	66.00	22.50	1.60	375.00	197.00	22.50	0.70
45	15:20	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.60	1020.00	1.76	217.00	64.50	23.00	1.70	370.00	195.00	23.00	0.70
46	15:30	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.60	1010.00	1.77	218.00	67.50	23.50	1.30	365.00	190.00	23.40	0.80
47	15:40	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	6.00	1060.00	1.76	220.00	75.00	24.00	1.80	370.00	200.00	24.20	0.70
48	15:50	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.90	955.00	1.77	222.00	68.25	23.50	1.90	345.00	195.00	23.90	0.90
49	16:00	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.80	955.00	1.77	219.00	63.00	23.90	1.80	350.00	193.00	24.10	0.80
50	16:10	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.80	929.00	1.77	221.00	51.30	24.10	1.80	330.00	190.00	24.30	1.00
51	16:20	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	6.00	840.00	1.78	210.00	37.20	21.00	1.60	230.00	170.00	21.00	0.60
52	16:30	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	6.00	885.00	1.77	210.00	24.30	20.90	1.60	180.00	180.00	20.90	0.40
53	16:40	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.90	836.00	1.78	211.00	30.75	22.00	1.50	220.00	170.00	21.80	0.60
54	16:50	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.90	656.00	1.67	210.00	33.60	20.70	1.60	230.00	100.00	20.00	0.60
55	17:00	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.40	443.00	1.64	206.00	36.60	20.60	1.50	280.00	70.00	20.60	0.50
56	17:10	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.20	329.00	1.62	205.00	36.00	21.50	1.70	260.00	60.00	20.50	0.60
57	17:20	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	5.00	350.00	1.63	210.00	36.00	22.60	1.60	265.00	63.00	20.10	0.70
58	17:30	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	4.70	370.00	1.62	208.00	36.00	22.00	1.80	260.00	66.00	21.00	0.80
59	17:40	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	4.50	350.00	1.55	213.00	34.50	21.00	1.60	258.00	64.00	20.70	0.80
60	17:50	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	4.20	320.00	1.49	211.00	34.80	22.50	1.70	259.00	55.00	21.00	0.70
61	18:00	24/07/2016	SALCEDO	394237	8245903	4.00	300.00	1.43	208.00	33.00	25.00	1.80	259.00	50.00	21.50	0.90

Anexo N° 02: Datos medidos en campo, Ventilla (Alto Puno).

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015 VENTILLA (ALTO PUNO)															
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO m/s	RADIACIÓN SOLAR W/m <sup>2</sup>	CORRIENTE TENSIÓN Amp. Volt	POT. AEROG. Watts	TENSIÓN AEROG. Volt	CORRIENTE AEROG. Amp.	RPM AEROG. rpm	POT. SOLAR Watts	TENSIÓN SOLAR. Volt	CORRIENTE SOLAR Amp.
				ESTE	NORTE										
1	08:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	900.00	1.85	211.00	53.76	23.90	283.00	176.00	23.20	0.72
2	08:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	960.00	1.85	212.00	55.30	23.70	283.00	180.00	23.15	0.70
3	08:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	890.00	1.85	211.03	56.84	23.60	283.00	170.00	23.10	0.65
4	08:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	970.00	1.85	212.00	58.38	23.70	268.00	181.00	22.90	0.66
5	08:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	950.00	1.85	211.70	60.06	23.90	270.00	178.00	23.50	0.67
6	08:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	1036.00	1.85	212.50	61.60	23.90	285.00	185.00	23.40	0.74
7	09:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	1000.00	1.85	211.90	63.14	23.90	285.00	183.00	23.35	0.74
8	09:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	1020.00	1.85	213.10	64.68	23.70	285.00	184.00	23.30	0.72
9	09:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	1030.00	1.85	212.00	66.22	23.80	270.00	185.00	23.10	0.67
10	09:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.00	1041.00	1.85	211.60	67.76	24.00	272.00	185.00	23.70	0.68
11	09:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	1042.00	1.85	212.00	69.30	24.00	287.00	185.00	23.60	0.69
12	09:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.35	1043.00	1.85	213.00	83.30	24.00	287.00	185.00	23.55	0.76
13	10:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.90	1010.00	1.85	212.50	97.30	23.80	287.00	185.00	23.50	0.76
14	10:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	1100.00	1.85	212.30	111.30	23.90	272.00	185.00	23.30	0.74
15	10:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.50	990.00	1.85	211.20	84.98	24.10	274.00	185.00	23.90	0.69
16	10:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.60	1050.00	1.85	213.00	86.52	24.10	289.00	185.00	23.80	0.70
17	10:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	1000.00	1.85	212.00	88.06	24.10	289.00	185.00	23.75	0.71
18	10:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	1101.00	1.85	214.00	89.60	23.90	289.00	185.00	23.70	0.78
19	11:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	1009.00	1.85	213.50	103.60	23.80	274.00	189.00	23.50	0.78
20	11:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	1053.00	1.85	212.20	117.60	23.90	276.00	185.00	24.10	0.76
21	11:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	1110.00	1.85	211.00	84.98	24.10	291.00	180.00	24.00	0.71
22	11:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	1240.00	1.86	213.00	86.52	24.10	291.00	200.00	23.95	0.72
23	11:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	1243.00	1.86	211.50	88.06	24.10	291.00	197.00	23.90	0.73
24	11:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	1200.00	1.86	212.00	89.60	23.90	276.00	199.00	23.70	0.80
25	12:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	1235.00	1.86	213.00	91.14	24.00	278.00	200.00	24.30	0.80
26	12:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	1220.00	1.86	210.50	92.82	24.20	293.00	195.00	24.20	0.78
27	12:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	1230.00	1.86	212.00	94.36	24.20	293.00	196.00	24.15	0.73
28	12:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.40	1250.00	1.86	212.50	95.90	24.20	293.00	186.00	24.10	0.74
29	12:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	1200.00	1.86	211.60	97.44	24.00	278.00	187.00	23.90	0.75
30	12:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	1330.00	1.82	214.20	95.20	24.10	280.00	200.00	24.50	0.82
31	13:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	1312.00	1.82	213.80	105.00	24.30	295.00	197.00	24.40	0.82
32	13:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.35	1271.00	1.85	212.65	105.00	24.30	295.00	193.00	24.35	0.80

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015**  
**VENTILLA (ALTO PUNO)**

N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO m/s	RADIACIÓN SOLAR W/m2	CORRIENTE Amp.	TENSIÓN Volt	POT. AEROG. Watts	TENSIÓN AEROG. Volt	CORRIENTE AEROG. Amp.	RPM AEROG. rpm	POT. SOLAR Watts	TENSIÓN SOLAR. Volt	CORRIENTE SOLAR Amp.
				ESTE	NORTE											
33	13:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.90	1230.00	1.88	211.50	105.00	24.30	1.10	295.00	189.00	24.30	0.75
34	13:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	1220.00	1.88	210.10	95.20	24.10	1.00	280.00	185.00	24.10	0.76
35	13:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.50	1182.00	1.87	212.40	112.00	23.90	1.00	279.00	180.00	24.90	0.80
36	13:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.60	1320.00	1.87	211.00	121.80	24.10	1.00	281.00	200.00	24.20	0.80
37	14:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	1250.00	1.86	211.30	119.00	24.10	1.10	296.00	197.00	24.15	0.78
38	14:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	1282.00	1.84	210.50	126.00	24.10	1.00	296.00	199.00	24.10	0.73
39	14:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	1296.00	1.84	211.00	123.20	23.90	1.00	296.00	200.00	23.90	0.74
40	14:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	1250.00	1.86	210.20	123.20	24.00	1.00	281.00	195.00	24.50	0.75
41	14:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	1230.00	1.88	211.40	124.60	24.20	1.00	280.00	196.00	24.40	0.82
42	14:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	1240.00	1.90	210.20	128.80	24.20	1.10	282.00	197.00	24.35	0.82
43	15:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.10	1210.00	1.85	210.40	131.60	24.20	1.00	297.00	196.00	24.30	0.80
44	15:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	1205.00	1.88	212.00	124.60	24.00	1.00	297.00	198.00	24.10	0.75
45	15:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.20	1194.00	1.87	211.00	131.60	23.80	1.00	297.00	185.00	23.70	0.76
46	15:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.30	1183.00	1.85	212.00	134.40	24.00	1.00	282.00	186.00	24.30	0.77
47	15:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	1172.00	1.85	210.30	140.00	24.00	1.00	281.00	185.00	24.20	0.84
48	15:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.50	1200.00	1.86	211.40	147.00	24.00	1.10	283.00	190.00	24.15	0.84
49	16:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.60	1150.00	1.86	212.30	147.00	23.80	1.00	298.00	186.00	24.10	0.82
50	16:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	1139.00	1.88	211.20	154.00	23.90	1.00	298.00	187.00	23.90	0.77
51	16:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	1128.00	1.87	210.20	151.20	24.10	1.10	298.00	185.00	23.50	0.78
52	16:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	1050.00	1.87	209.90	156.80	24.10	1.00	283.00	180.00	24.10	0.82
53	16:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.90	1060.00	1.88	210.10	155.40	24.10	1.10	282.00	178.00	24.00	0.82
54	16:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	900.00	1.87	211.50	158.20	23.90	1.00	284.00	176.00	23.95	0.80
55	17:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	890.00	1.87	213.20	124.60	23.70	1.10	299.00	174.00	23.90	0.75
56	17:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.10	830.00	1.86	211.60	156.80	23.90	1.00	299.00	172.00	23.70	0.76
57	17:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	830.00	1.85	213.00	137.20	23.90	1.00	299.00	169.00	23.30	0.77
58	17:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.30	790.00	1.84	214.00	161.00	23.90	1.10	284.00	167.00	23.90	0.84
59	17:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.80	840.00	1.84	214.50	152.60	23.70	1.00	283.00	165.00	23.80	0.84
60	17:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.40	860.00	1.87	211.00	162.40	23.80	1.10	285.00	163.00	23.75	0.82
61	18:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	750.00	1.87	212.90	151.20	24.00	1.00	300.00	160.00	23.70	0.77

Anexo N° 03: Datos medidos en campo, Yanamayo (antenas).

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015															YANAMAYO	
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO	RADIACIÓN SOLAR	CORRIENTE	TENSIÓN	POT. AEROG.	TENSIÓN AEROG.	CORRIENTE AEROG.	RPM AEROG.	POT. SOLAR	TENSIÓN SOLAR	CORRIENTE SOLAR
				ESTE	NORTE											
1	08:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.50	1356.00	1.54	213.80	57.30	24.00	1.00	278.00	200.00	24.30	1.00
2	08:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.30	1348.00	1.53	213.40	57.15	23.80	1.00	277.00	198.00	24.20	1.00
3	08:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.40	1352.00	1.54	213.60	57.00	24.00	1.10	276.00	200.00	42.00	1.10
4	08:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.20	1354.00	1.54	214.20	56.85	23.90	1.20	279.00	200.00	24.10	1.20
5	08:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.40	1372.00	1.54	213.60	57.60	23.80	1.40	284.00	200.00	24.10	1.40
6	08:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.50	1380.00	1.54	216.40	57.90	24.10	1.50	288.00	214.00	24.20	1.50
7	09:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.60	1392.00	1.56	218.20	59.10	24.20	1.40	290.00	216.00	24.10	1.40
8	09:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.30	1398.00	1.57	218.50	57.60	24.10	1.30	279.00	213.00	24.20	1.30
9	09:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.80	1400.00	1.58	219.60	60.15	24.20	1.40	296.00	216.00	24.10	1.40
10	09:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.70	1408.00	1.58	220.00	59.40	24.10	1.30	294.00	218.00	24.20	1.30
11	09:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.90	1416.00	1.60	220.20	60.45	24.20	1.60	302.00	219.00	24.30	1.60
12	09:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.60	1418.00	1.60	220.10	57.90	24.00	1.50	298.00	217.00	24.10	1.50
13	10:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.50	1432.00	1.60	219.80	56.40	24.10	1.40	296.00	215.00	24.00	1.40
14	10:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.70	1436.00	1.60	220.30	58.20	24.20	1.60	303.00	218.00	24.20	1.60
15	10:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.90	1428.00	1.60	220.20	60.30	24.30	1.70	306.00	220.00	24.30	1.70
16	10:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.00	1422.00	1.60	220.10	63.45	24.20	1.90	308.00	220.20	24.20	1.90
17	10:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.60	1418.00	1.61	220.40	65.10	24.20	2.00	312.00	221.00	24.50	2.00
18	10:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.00	1385.00	1.78	215.70	55.05	24.20	1.60	292.00	220.00	25.70	1.60
19	11:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.20	1387.00	1.78	214.20	64.80	24.40	1.80	296.00	221.00	25.60	1.80
20	11:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.50	1362.00	1.69	216.60	66.30	24.60	1.70	308.00	221.00	25.50	1.70
21	11:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.50	1365.00	1.70	213.60	64.20	24.50	1.60	298.00	221.00	25.50	1.60
22	11:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.70	1399.00	1.58	216.50	65.10	24.30	1.50	306.00	219.00	25.50	1.50
23	11:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.20	1400.00	1.60	216.20	67.80	24.80	1.90	312.00	219.00	25.50	1.90
24	11:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.40	1385.00	1.77	210.90	63.90	24.30	1.80	296.00	211.00	25.50	1.80
25	12:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.50	1328.00	1.77	210.50	69.15	25.00	2.10	314.00	221.00	25.50	2.10
26	12:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.90	1395.00	1.47	219.30	64.95	24.40	1.70	294.00	221.00	25.50	1.70
27	12:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.30	1385.00	1.47	219.20	63.75	24.40	1.60	294.00	221.00	25.50	1.60
28	12:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.70	1380.00	1.47	219.00	69.60	25.20	2.20	316.00	221.00	25.50	2.20
29	12:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.20	1356.00	1.48	219.40	63.60	24.20	1.70	294.00	214.00	24.30	1.70
30	12:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.20	1355.00	1.48	214.50	68.40	24.60	1.80	314.00	216.00	25.50	1.80
31	13:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.80	1313.00	1.55	218.80	69.75	25.30	2.20	318.00	213.00	25.40	2.20
32	13:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	6.00	1316.00	1.55	218.50	70.50	25.40	2.30	319.00	210.00	25.40	2.30

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-BÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015 (ANTENAS)														YANAMAYO		
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO	RADIACIÓN SOLAR	CORRIENTE	TENSIÓN	POT. AEROG.	TENSIÓN AEROG.	CORRIENTE AEROG.	RPM AERO.	POT. SOLAR	TENSIÓN SOLAR.	CORRIENTE SOLAR
				ESTE	NORTE											
33	13:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.80	1262.00	1.37	217.20	64.80	24.30	1.70	296.00	205.00	25.40	1.70
34	13:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.90	1253.00	1.55	218.00	64.95	24.40	1.70	295.00	202.00	25.30	1.70
35	13:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.10	1232.00	1.66	211.70	63.60	24.20	1.60	294.00	199.00	25.20	1.60
36	13:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.20	1213.00	1.76	210.00	68.25	24.50	1.80	312.00	190.00	25.10	1.80
37	14:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.30	1339.00	1.76	209.70	68.10	24.40	1.80	313.00	200.00	25.20	1.80
38	14:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.00	1329.00	1.54	218.50	67.95	24.30	1.70	310.00	190.00	25.20	1.70
39	14:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.50	1315.00	1.55	218.00	64.80	24.30	1.60	296.00	180.00	25.30	1.60
40	14:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.00	1305.00	1.55	217.40	63.60	24.20	1.50	288.00	188.00	25.40	1.50
41	14:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.70	1255.00	1.54	218.30	63.30	24.10	1.70	292.00	178.00	25.10	1.70
42	14:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.00	1240.00	1.45	219.00	61.65	24.40	1.60	294.00	170.00	25.30	1.60
43	15:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.50	1200.00	1.58	217.00	63.60	24.20	1.40	296.00	165.00	25.40	1.40
44	15:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.00	1140.00	1.76	222.00	65.10	24.40	1.60	298.00	157.00	25.00	1.60
45	15:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.90	1080.00	1.76	215.20	63.90	24.30	1.70	298.00	150.00	24.40	1.70
46	15:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.70	997.00	1.77	212.20	63.30	24.10	1.30	294.00	141.00	24.60	1.30
47	15:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.80	999.00	1.76	213.00	65.40	24.40	1.80	300.00	137.00	24.90	1.80
48	15:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.80	977.00	1.77	212.90	65.25	24.60	1.90	299.00	127.00	25.00	1.90
49	16:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.50	948.00	1.77	213.00	65.10	24.50	1.80	296.00	117.00	24.80	1.80
50	16:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.50	921.00	1.77	211.10	64.95	24.40	1.80	298.00	106.00	24.70	1.80
51	16:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.50	782.00	1.78	214.70	63.45	24.30	1.60	294.00	106.60	24.60	1.60
52	16:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.60	780.00	1.77	214.50	63.45	24.20	1.60	296.00	157.00	24.70	1.60
53	16:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.50	583.50	1.78	214.80	61.95	24.10	1.50	288.00	150.00	24.40	1.50
54	16:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	3.90	997.00	1.67	218.00	62.40	24.30	1.60	292.00	141.00	24.30	1.60
55	17:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.10	999.00	1.64	218.20	63.30	24.20	1.50	286.00	137.00	24.30	1.50
56	17:10	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.40	977.00	1.62	218.60	63.60	24.10	1.70	294.00	127.00	24.20	1.70
57	17:20	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.30	948.00	1.63	219.30	63.45	24.30	1.60	297.00	117.00	24.10	1.60
58	17:30	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.50	921.00	1.62	218.50	64.95	24.20	1.80	301.00	106.00	24.20	1.80
59	17:40	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	4.60	782.00	1.55	218.30	63.90	24.10	1.60	306.00	106.60	24.00	1.60
60	17:50	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.10	780.00	1.49	219.10	66.75	24.30	1.70	312.00	106.60	24.10	1.70
61	18:00	28/07/2016	YANAMAYO (ANTENAS)	390879	8251826	5.40	780.00	1.43	218.80	67.20	24.20	1.80	324.00	106.60	24.00	1.80

Anexo N° 04: Datos medidos en campo, Llavini (EPIME).

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015																
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO m/s	RADIACIÓN SOLAR W/m <sup>2</sup>	CORRIENTE AEROG. Amp.	TENSIÓN AEROG. Volt	POT. AEROG. Watts	TENSIÓN AEROG. Volt	CORRIENTE AEROG. Amp.	RPM AEROG.	POT. SOLAR Watts	TENSIÓN SOLAR. Volt	CORRIENTE SOLAR Amp.
				ESTE	NORTE											
1	08:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.60	996.00	1.72	219.50	69.20	24.00	1.10	252.00	181.50	23.60	1.10
2	08:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.40	998.00	1.68	220.00	67.30	24.10	1.20	248.00	181.80	23.80	1.20
3	08:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.50	995.00	1.73	219.80	68.40	24.20	1.30	250.00	180.80	24.10	1.30
4	08:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.40	994.00	1.74	218.50	66.80	24.30	1.20	246.00	181.60	23.50	1.20
5	08:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.10	1004.00	1.76	219.50	69.40	23.80	1.40	254.00	182.20	23.80	1.40
6	08:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.80	1006.00	1.75	220.20	68.60	24.20	1.30	252.00	181.80	24.20	1.30
7	09:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.90	1014.00	1.78	220.40	70.40	24.10	1.20	251.00	182.40	24.10	1.20
8	09:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.30	1023.00	1.82	218.80	69.80	24.20	1.50	262.00	183.40	24.30	1.50
9	09:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.50	1036.00	1.86	219.60	73.50	24.30	1.60	272.00	183.40	24.20	1.60
10	09:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.10	1025.00	1.76	219.50	72.20	24.90	1.50	254.00	181.80	23.50	1.50
11	09:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.90	1038.00	1.72	218.20	70.30	25.00	1.10	250.00	182.10	23.70	1.10
12	09:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.00	1027.00	1.77	219.20	71.40	24.50	1.10	252.00	181.10	24.00	1.10
13	10:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.90	1040.00	1.78	219.90	69.80	25.00	1.00	248.00	181.90	23.40	1.00
14	10:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.60	1029.00	1.80	220.10	72.40	25.10	0.80	256.00	182.50	23.70	0.80
15	10:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.30	1042.00	1.79	218.50	71.60	24.70	1.10	254.00	182.10	24.10	1.10
16	10:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.40	1031.00	1.82	219.30	73.40	25.00	1.20	253.00	182.70	24.00	1.20
17	10:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.80	1044.00	1.86	219.20	72.80	25.10	0.80	264.00	183.70	24.20	0.80
18	10:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.00	1033.00	1.90	217.90	76.50	24.70	0.60	274.00	183.70	24.10	0.60
19	11:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.60	1046.00	1.80	218.90	75.20	24.50	0.80	256.00	182.10	23.40	0.80
20	11:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.40	1035.00	1.76	219.60	73.30	24.60	1.00	252.00	182.40	23.60	1.00
21	11:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.50	1048.00	1.81	219.80	74.40	24.80	0.80	254.00	181.40	23.90	0.80
22	11:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.40	1037.00	1.82	218.20	72.80	24.50	1.20	250.00	182.20	23.30	1.20
23	11:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.10	1050.00	1.84	219.00	75.40	24.30	1.20	258.00	182.80	23.60	1.20
24	11:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.80	1039.00	1.83	218.90	74.60	24.80	1.10	256.00	182.40	24.00	1.10
25	12:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.90	1052.00	1.86	217.60	76.40	24.90	0.90	255.00	183.00	23.90	0.90
26	12:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.30	1041.00	1.90	218.60	75.80	24.40	1.20	266.00	184.00	24.10	1.20
27	12:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.50	1054.00	1.94	219.30	79.50	24.90	1.30	276.00	184.00	24.00	1.30
28	12:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.10	1043.00	1.84	219.50	78.20	25.00	0.90	258.00	182.40	23.30	0.90
29	12:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.90	967.00	1.80	217.90	76.30	24.60	0.70	254.00	182.70	23.50	0.70
30	12:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.00	968.00	1.85	218.70	77.40	24.90	0.90	256.00	181.70	23.80	0.90
31	13:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.90	988.00	1.86	218.60	75.80	25.00	1.10	252.00	182.50	23.20	1.10
32	13:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.60	958.00	1.88	217.30	78.40	24.60	0.90	260.00	183.10	23.50	0.90

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015 LLAVINI (EPIME)																
N°	HORA	FECHA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO m/s	RADIACIÓN SOLAR W/m2	CORRIENTE Amp.	TENSIÓN Volt	POT. AEROG. Watts	TENSIÓN AEROG. Volt	CORRIENTE AEROG. Amp.	RPM AEROG. rpm	POT. SOLAR Watts	TENSIÓN SOLAR. Volt	CORRIENTE SOLAR Amp.
				ESTE	NORTE											
33	13:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.30	948.00	1.87	218.30	77.60	24.40	1.30	258.00	182.70	23.90	1.30
34	13:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.40	964.00	1.90	219.00	79.40	24.50	1.30	257.00	183.30	23.80	1.30
35	13:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.80	969.00	1.94	219.20	78.80	24.70	1.20	268.00	184.30	24.00	1.20
36	13:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.00	979.00	1.98	217.60	82.50	24.40	1.00	278.00	184.30	23.90	1.00
37	14:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.60	980.00	1.88	218.40	81.20	24.20	1.30	260.00	182.70	23.20	1.30
38	14:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.40	975.00	1.84	218.30	79.30	24.70	1.40	256.00	183.00	23.40	1.40
39	14:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.50	968.00	1.89	217.00	80.40	24.80	1.00	258.00	182.00	23.70	1.00
40	14:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.40	969.00	1.90	218.00	78.80	24.30	0.80	254.00	182.80	23.10	0.80
41	14:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.10	989.00	1.92	218.70	81.40	24.80	1.00	262.00	183.40	23.40	1.00
42	14:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.80	959.00	1.91	218.90	80.60	24.90	1.20	260.00	183.00	23.80	1.20
43	15:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.90	949.00	1.94	217.30	82.40	24.50	1.00	259.00	183.60	23.70	1.00
44	15:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.30	965.00	1.80	222.70	97.00	24.80	1.40	288.00	181.40	23.80	1.40
45	15:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.00	970.00	1.80	222.00	93.00	24.90	1.40	286.00	181.50	23.70	1.40
46	15:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.00	980.00	1.80	223.00	73.00	24.50	1.30	275.00	184.00	23.80	1.30
47	15:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.30	981.00	1.81	227.60	83.00	24.30	1.10	260.00	186.80	23.60	1.10
48	15:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.00	976.00	1.81	220.00	83.00	24.40	1.40	285.00	181.90	23.00	1.40
49	16:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	6.40	969.00	1.80	221.00	73.00	24.60	1.50	290.00	184.30	23.90	1.50
50	16:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.00	970.00	1.80	223.00	88.00	24.30	1.10	265.00	185.00	24.00	1.10
51	16:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.50	990.00	1.80	224.00	58.00	24.10	0.90	250.00	195.00	24.10	0.90
52	16:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	4.00	960.00	1.86	221.00	59.00	24.60	1.10	263.00	183.00	23.80	1.10
53	16:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.50	950.00	1.80	220.00	83.00	24.70	1.30	274.00	180.00	23.70	1.30
54	16:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.30	970.00	1.79	220.00	33.00	24.20	1.10	250.00	183.00	24.80	1.10
55	17:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.80	963.00	1.78	227.55	100.00	24.70	1.40	288.00	184.40	184.40	1.40
56	17:10	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.30	968.00	1.78	219.95	96.00	24.80	1.00	277.00	184.30	184.30	1.00
57	17:20	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.10	978.00	1.78	220.95	76.00	24.40	0.80	262.00	184.20	184.20	0.80
58	17:30	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.60	979.00	1.84	222.95	86.00	24.20	1.00	287.00	184.10	184.10	1.00
59	17:40	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	5.10	974.00	1.78	223.95	86.00	24.30	1.20	292.00	184.00	184.00	1.20
60	17:50	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	2.90	967.00	1.77	220.95	76.00	24.50	1.00	267.00	183.90	183.90	1.00
61	18:00	10/08/2016	LLAVINI (EPIME)	390844	8250109	3.40	968.00	1.76	219.95	91.00	24.20	1.30	252.00	183.80	183.80	1.30

**Anexo N° 05: Guías de laboratorio.****GUÍA DE LABORATORIO N° 01**

- I. TÍTULO DE LA PRÁCTICA: "Reconocimiento de los equipos: Aerogenerador, panel solar, controlador, inversor, baterías y carga del módulo híbrido solar-eólico"
- II. INTRODUCCIÓN:  
Es importante conocer las características y especificaciones técnicas de los equipos que se utilizarán en el laboratorio, con cual se hará el uso correcto de estos.
- III. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA:
- Conocer las características y especificaciones técnicas de todos los equipos y accesorios del módulo híbrido solar-eólico.
- IV. FUNDAMENTO TEÓRICO  
Definir los siguientes términos:
- Aerogenerador.
  - Tipos de aerogeneradores.
  - Paneles solares fotovoltaicos.
  - Tipos de paneles solares fotovoltaicos.
  - Controlador híbrido solar-eólico.
  - Inversor de corriente.
  - Tipos de soportes para aerogeneradores.
  - Tipos de soportes para paneles solares.
  - Conductores.
  - Banco de carga.
- V. MATERIALES Y EQUIPOS
- Un aerogenerador de 400 Watts.
  - Dos paneles solares de 120 Watts cada uno.
  - Un controlador híbrido solar-eólico de 1000 watts.
  - Un inversor de corriente de 24 V / 350 Watts.
  - Conductores tripolares.
- VI. PROCEDIMIENTO  
Teniendo ya montado todo el módulo híbrido solar eólico reconocer y analizar las especificaciones del aerogenerador, paneles solares, controlador, inversor y demás accesorios.
- VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES  
Discutir los tipos de aerogeneradores, paneles solares, controladores, inversores y otros accesorios.
- VIII. BIBLIOGRAFÍA  
Revisar manuales y libros.

## GUÍA DE LABORATORIO N° 02

- I. TÍTULO DE LA PRÁCTICA: "Medición de la velocidad del viento y radiación solar".
- II. INTRODUCCIÓN:  
Es importante conocer los recursos que se tiene en la región para analizar y de esa manera definir el potencial energético disponible en nuestra región.
- III. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA:
  - Medir la velocidad del viento y la radiación solar.
- IV. FUNDAMENTO TEÓRICO  
Definir los siguientes términos:
  - Anemómetro.
  - Tipos de anemómetros.
  - Piranómetro.
  - Solarímetro.
  - Tipos de solarímetros.
- V. MATERIALES Y EQUIPOS
  - Un anemómetro digital
  - Un piranómetro digital
- VI. PROCEDIMIENTO  
Realizar las mediciones con los equipos donde está instalado el sistema híbrido Solar-Eólico, rellenar los siguientes cuadros, las mediciones se deberán realizar cada 20 minutos empezando a las 8:00 a.m. y culminando a las 18:00 p.m. teniendo un total de 31 datos.

Potencial eólico disponible						
N°	Hora	Coordenadas (Este, Norte)		Ubicación	Velocidad del viento (m/s)	Densidad del aire (Kg/m3)
1	08:00					0.7665
2	08:20					0.7665
3	08:40					0.7665
4	09:00					0.7665
5	09:20					0.7665
6	09:40					0.7665
7	10:00					0.7665
8	10:20					0.7665
9	10:40					0.7665
10	11:00					0.7665
11	11:20					0.7665
12	11:40					0.7665
13	12:00					0.7665
14	12:20					0.7665
15	12:40					0.7665
16	13:00					0.7665
17	13:20					0.7665
18	13:40					0.7665
19	14:00					0.7665
20	14:20					0.7665
21	14:40					0.7665
22	15:00					0.7665
23	15:20					0.7665
24	15:40					0.7665
25	16:00					0.7665
26	16:20					0.7665
27	16:40					0.7665
28	17:00					0.7665
29	17:20					0.7665
30	17:40					0.7665
31	18:00					0.7665

VII. Evaluación:

Con los datos obtenidos completar el potencial de energía disponible con las siguientes tablas:

POTENCIAL EÓLICO DISPONIBLE									
N°	Hora	Coordenadas (Este, Norte)		Ubicación	Velocidad del viento (m/s)	Densidad del aire (Kg/m <sup>3</sup> )	Área del Rotor (m <sup>2</sup> )	Constante de Betz	Potencia disponible teórico (W)
1	08:00					0.7665	2.27	0.592592593	
2	08:20					0.7665	2.27	0.592592593	
3	08:40					0.7665	2.27	0.592592593	
4	09:00					0.7665	2.27	0.592592593	
5	09:20					0.7665	2.27	0.592592593	
6	09:40					0.7665	2.27	0.592592593	
7	10:00					0.7665	2.27	0.592592593	
8	10:20					0.7665	2.27	0.592592593	
9	10:40					0.7665	2.27	0.592592593	
10	11:00					0.7665	2.27	0.592592593	
11	11:20					0.7665	2.27	0.592592593	
12	11:40					0.7665	2.27	0.592592593	
13	12:00					0.7665	2.27	0.592592593	
14	12:20					0.7665	2.27	0.592592593	
15	12:40					0.7665	2.27	0.592592593	
16	13:00					0.7665	2.27	0.592592593	
17	13:20					0.7665	2.27	0.592592593	
18	13:40					0.7665	2.27	0.592592593	
19	14:00					0.7665	2.27	0.592592593	
20	14:20					0.7665	2.27	0.592592593	
21	14:40					0.7665	2.27	0.592592593	
22	15:00					0.7665	2.27	0.592592593	
23	15:20					0.7665	2.27	0.592592593	
24	15:40					0.7665	2.27	0.592592593	
25	16:00					0.7665	2.27	0.592592593	
26	16:20					0.7665	2.27	0.592592593	
27	16:40					0.7665	2.27	0.592592593	
28	17:00					0.7665	2.27	0.592592593	
29	17:20					0.7665	2.27	0.592592593	
30	17:40					0.7665	2.27	0.592592593	
31	18:00					0.7665	2.27	0.592592593	

5 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO				
Potencia Nominal	Irradiancia (W.h/m <sup>2</sup> )	Insolación (Horas Pico Solar)	Eficiencia del Panel Fotovoltaico (Unidad)	Energía disponible teórico (W.h)
240		5.21	0.9	

VIII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Analizar y discutir el potencial energético que se tiene en nuestro departamento de Puno.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Revisar manuales y libros.

### GUÍA DE LABORATORIO N° 03

- I. TÍTULO DE LA PRÁCTICA: "Medición de la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico".
- II. INTRODUCCIÓN:  
Es importante conocer y analizar la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico en nuestra región de Puno.
- III. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA:
  - Analizar y calcular la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico.
- IV. FUNDAMENTO TEÓRICO  
Definir los siguientes términos:
  - Potencia disponible en el medio ambiente.
  - Eficiencia
  - Potencia generada por módulo híbrido.
- V. MATERIALES Y EQUIPOS
  - Un anemómetro digital
  - Un piránometro digital
  - Un aerogenerador.
  - Dos paneles solares fotovoltaicos.
  - Un controlador híbrido solar-eólico.
  - Un inversor de corriente.
  - Conductores.
  - Banco de carga.
- VI. PROCEDIMIENTO  
Realizar las mediciones en el controlador donde muestra la potencia generada por el sistema solar y eólico, rellenar los siguientes cuadros, las mediciones se deberán realizar cada 20 minutos empezando a las 8:00 a.m. y culminando a las 18:00 p.m. teniendo un total de 31 datos.

Eficiencia del módulo híbrido solar-eólico							
N°	Hora	Coordenadas (Este, Norte)		Ubicación	Potencia generada solar	Potencial generada eólica	Potencia total generada
1	08:00						
2	08:20						
3	08:40						
4	09:00						
5	09:20						
6	09:40						
7	10:00						
8	10:20						
9	10:40						
10	11:00						
11	11:20						
12	11:40						
13	12:00						
14	12:20						
15	12:40						
16	13:00						
17	13:20						
18	13:40						
19	14:00						
20	14:20						
21	14:40						
22	15:00						
23	15:20						
24	15:40						
25	16:00						
26	16:20						
27	16:40						
28	17:00						
29	17:20						
30	17:40						
31	18:00						

Potencial eólico disponible						
N°	Hora	Coordenadas (Este, Norte)		Ubicación	Velocidad del viento (m/s)	Densidad del aire (Kg/m3)
1	08:00					0.7665
2	08:20					0.7665
3	08:40					0.7665
4	09:00					0.7665
5	09:20					0.7665
6	09:40					0.7665
7	10:00					0.7665
8	10:20					0.7665
9	10:40					0.7665
10	11:00					0.7665
11	11:20					0.7665
12	11:40					0.7665
13	12:00					0.7665
14	12:20					0.7665
15	12:40					0.7665
16	13:00					0.7665
17	13:20					0.7665
18	13:40					0.7665
19	14:00					0.7665
20	14:20					0.7665
21	14:40					0.7665
22	15:00					0.7665
23	15:20					0.7665
24	15:40					0.7665
25	16:00					0.7665
26	16:20					0.7665
27	16:40					0.7665
28	17:00					0.7665
29	17:20					0.7665
30	17:40					0.7665
31	18:00					0.7665

VII. Evaluación:

Con los datos obtenidos completar el siguiente cuadro y calcular la eficiencia del módulo híbrido solar-eólico.

Eficiencia del módulo híbrido solar-eólico							
N°	Hora	Coordenadas (Este, Norte)		Ubicación	Potencia generada (A)	Potencial nominal (B)	Eficiencia del sistema (A/B)
1	08:00						
2	08:20						
3	08:40						
4	09:00						
5	09:20						
6	09:40						
7	10:00						
8	10:20						
9	10:40						
10	11:00						
11	11:20						
12	11:40						
13	12:00						
14	12:20						
15	12:40						
16	13:00						
17	13:20						
18	13:40						
19	14:00						
20	14:20						
21	14:40						
22	15:00						
23	15:20						
24	15:40						
25	16:00						
26	16:20						
27	16:40						
28	17:00						
29	17:20						
30	17:40						
31	18:00						

VIII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Analizar y discutir la eficiencia calculada del módulo híbrido solar-eólico.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Revisar manuales y libros.

**Anexo N° 06: Manual de usuario del aerogenerador.**

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060*

*Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490*

**Web:** [www.fotovoltacooperu.com](http://www.fotovoltacooperu.com)

[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)

**E-mail:** [fovoltacooperu@fovoltacooperu.com](mailto:fovoltacooperu@fovoltacooperu.com)

**TURBINA EOLICA LIDERS****1. Modelo: TGWT-400M****2. Características**

- 1). Puede trabajar con 3 o 5 cuchillas opcionales para diferentes zonas de velocidad del viento.
- 2). Fácil instalación.
- 3). Las Cuchillas están hechas aplicando el nuevo arte del moldeo por inyección de precisión, la estructura de forma aerodinámica optimizada, que mejoran la utilización de la energía eólica y la producción anual.
- 4). Cuerpo es hecho de fundición de aleación de aluminio, cuenta con 2 cojinetes giran, para sobrevivir al viento más fuerte y girar de forma más segura.
- 5). El Generador diseñado con imanes permanentes de neodimio con estator especial para reducir efectivamente el par.

Lima: Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
(01)3873983 / RPC: 958957597 / RPM#6908060

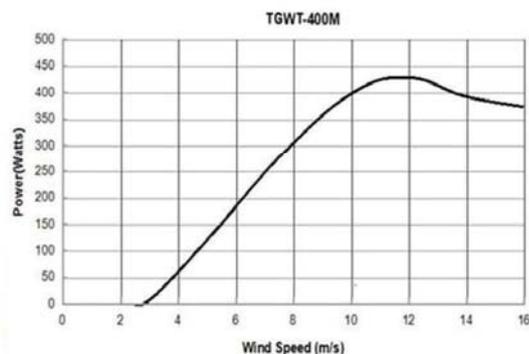
Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

Web: [www.fotovoltaiacosperu.com](http://www.fotovoltaiacosperu.com)  
[www.panelezoilarsperu.com](http://www.panelezoilarsperu.com)

E-mail: [fovoltaiacosperu@fovoltaiacosperu.com](mailto:fovoltaiacosperu@fovoltaiacosperu.com)



### 3. curva de potencia



### 4. Parámetros de rendimiento

Modelo	TGWT-400M
Potencia nominal	400W
Máxima potencia	430w
Voltaje nominal	12/24v
Velocidad del viento para puesta en marcha.	2.5m/s
Velocidad nominal	10m/s
Velocidad de supervivencia	45m/s
Peso neto	13 kg
Diámetro	1.7m
Numero de cuchillas	3/5
Material de las hélices	Fibra de nylon
Tipo de generador	Trifásico de imanes permanentes AC generador síncrono.
Material de imán	NdFeB
Material del Generador	Fundición de aleación de aluminio
Sistema de control	Electroimán / viento rueda de guiñada
Velocidad de regulación	Ajusta automáticamente la dirección de barlovento
Temperatura de trabajo	-40°C - 80°C
Diseño de vida	20
Altura de la torre (m)	6m(3m*2)
Peso bruto	12.5kg

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060

**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaiacooperu.com](http://www.fotovoltaiacooperu.com)  
[www.panelesolarasperu.com](http://www.panelesolarasperu.com)

**E-mail:** [fovoltaiacooperu@fovoltaiacooperu.com](mailto:fovoltaiacooperu@fovoltaiacooperu.com)



**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3873985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060

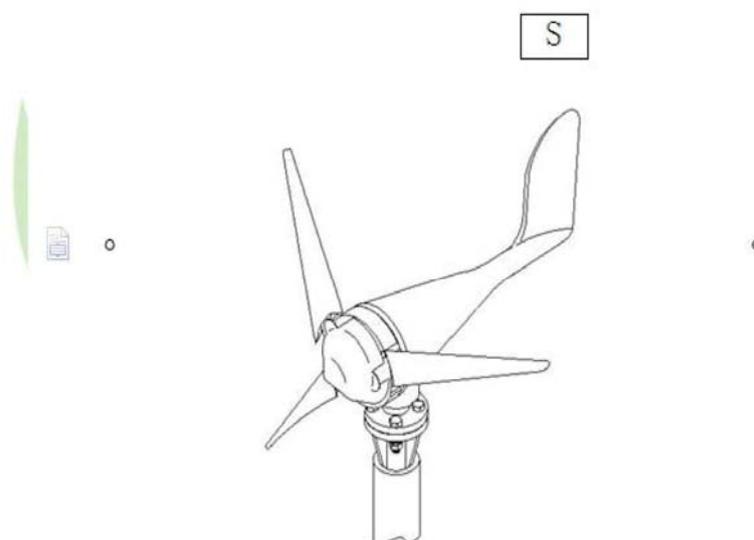
**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaiaco Peru.com](http://www.fotovoltaiaco Peru.com)  
[www.panelesolares Peru.com](http://www.panelesolares Peru.com)

**E-mail:** [ftovoltaiaco Peru@ftovoltaiaco Peru.com](mailto:ftovoltaiaco Peru@ftovoltaiaco Peru.com)



# USER'S MANUAL



**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060

**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:957845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltacooperu.com](http://www.fotovoltacooperu.com)  
[www.panelesolarezperu.com](http://www.panelesolarezperu.com)

**E-mail:** [ftovoltacooperu@ftovoltacooperu.com](mailto:ftovoltacooperu@ftovoltacooperu.com)



**Distinguished Users:**

We are very glad that you choose our company's products and feel sure that you will find the convenience that our products bring to you and the joy of promoting the policy of "low carbon and environmental protection".

Please do not forget to read the "User Installation Manual" before installing of the products.

**Catalogue**

Part1. Safety Warning and the Attention	-----3
Part2. Product Description	-----6
Part3. Tower and Accessories Production	-----7
Part4. The Wind Turbine Installation Steps	-----9
Part5. The Connection between Transmission Line and the Controller	-----12
Part6. The Maintenance and Attention in Operation	-----13
Part7. Packing list	-----14
Part8. Quality Guarantee	-----15

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875983 / RPC: 958957597 / RPM#6908060*

*Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:957845078 / RPM#966612490*

*Web: www.fotovoltaiacosperu.com  
www.panelesolaresperu.com*

*E-mail: fotovoltaiacosperu@fotovoltaiacosperu.com*



## Part1. Safety Warning and the Attention



### Attention :

For correct installation and use of this equipment, please read carefully the safety warning and attention and strictly follow the instructions.

### Basic requirements :

- Do not disassemble the equipment by yourself. Please contact the specified maintenance department when the equipment is out of order.
- Without authority, no company or individual are allowed to change the equipment structure, safety and performance design.
- please obey local laws and regulations when using this product

### Assembly Requirements :

1. Before the assembly of the wind generator or in the process of maintenance, please be sure to read the users manual first.
2. Please don't install the wind turbines in rainy days or when the wind scale is at Level 3 or above.
3. After opening the package, it is advised to short circuit the three leads of the wind turbines (the exposed copper parts should be screwed together).

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3873985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaiacooperu.com](http://www.fotovoltaiacooperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)  
**E-mail:** [fotovoltaiacooperu@fotovoltaiacooperu.com](mailto:fotovoltaiacooperu@fotovoltaiacooperu.com)



4. Before the installation of the wind turbine, lightning grounding must be prepared. You can arrange the facilities according to national standards, or you may arrange them according to the local environment and soil condition.

5. When assembling the Wind turbine, all the parts should be fastened with fasteners specified in table1.

5. When assembling the Wind turbine, all the parts should be fastened with fasteners specified in table2

Table 1

Seria#	Fasteners	spec	quantity	tightening torque (N*M)	remarks	Executive standard
1	Flange bolts	M12*55	4		galvanized	
2	Flat washer	D12.2	8		galvanized	
3	Spring washer	D12.2	4		galvanized	
4	Lock nut	M12	4	≥58	one-time use	
5	Bolts for blades	M6*40	6/10			
6	Lock nut for blades	M6	6/10	≥13.6	one-time use	
7	Lock nut on shaft	M16	1	≥68	one-time use	

6. Before the connection between the wind turbine flange and the tower flange, please connect the three leads of the wind turbine to the three leads of the tower accordingly. When using the hinge method, every pair of wires should be no less than 30mm in length and be wrapped with Acetate cloth tape for three layers, then sheathed with spun glass paint tube. With this method, connect the

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490*

*Web: www.fotovoltacooperu.com  
www.panelesolaresperu.com  
E-mail: fotovoltacooperu@fotovoltacooperu.com*



three pairs of wires (attention: the joint of the wires can't bear the weight of the tower leads directly, so wires 100mm downward from the joint should be wrapped with adhesive tape and then stuffed into the steel pipe. After that, wind turbine flange and tower flange can be connected.

7. Before hoisting the wind turbines, the end (which should be connected with controller) of the tower lead should be cut away the insulating layer for 10mm or so. Then screw the three exposed leads (short circuit) together.

8. During the installation, it is prohibited to revolve the rotor blades roughly (the ends of wind turbine leads or the tower leads are short-circuited at this moment). Only after all the installation and the examination is finished and the security of the erection crew is guaranteed, it is allowed to dismantle short circuited leads and then connect with controller and battery before running.

#### **Attention:**

**Battery should be connected with controller before wind turbine connected with controller**

**If above stated instruction are not followed when assembling and installing the wind turbines, we are sorry that any problem or failure resulted are not to be covered by warranty.**

## **Part2. Product Description**

1. low start up speed; high wind energy utilization; beautiful appearance; low vibration
2. Human friendly design, easy installation, maintenance and repair.
3. precise injection molding blades together with the optimized design of aerodynamic contour and structure, the blades have such advantages: high utilization of wind energy which contributes to the annual energy output.

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490

**Web:** www.fotovoltacooperu.com  
www.panelesolaresperu.com  
**E-mail:** fotovoltacooperu@fotovoltacooperu.com



4.the generators, adopting patented permanent magnet rotor alternator, with a special kind of stator design, efficiently decrease resistance torque. Meanwhile, it makes the wind turbines match the generators quite well and increase its reliability

Model	TGWT-100S	TGWT-200S	TGWT-300S
Rated power	100W	200W	300W
Maximum power	130W	230W	310W
Nominal voltage	12/24V	12/24V	12/24V
Start-up wind speed	2.0m/s	2.0m/s	2.0m/s
Rated wind speed	10m/s	11m/s	13m/s
Survival wind speed	50m/s	50m/s	50m/s
Generator net weight	6.0Kg	6.5Kg	6.5kg
Wind wheel diameter	1.2m	1.3m	1.3m
Blades number	3/5		
Blade material	Nylon fiber		
Generator	Permanent magnet synchronous generator with three-phase alternating current		
Controller system	Electromagnetic/yaw		
Regulating way	Automatic adjustment of wind angle		
Working temperature	-40°C~80°C		

### Part 3. Tower and Accessories Production

1. Its flange base is suggested to be installed on an iron barrel-type tower whose OD is 48mm and thickness is 4.5mm.
- 2, Iron pipe length is suggested to choose based on local wind scales and geographical environment.
- 3, Tower accessories, including (1) the upper tower. (2) The cable group. (3) Tightening line

Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
 (01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
 Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
 (054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490

Web: www.fotovoltaicooperu.com  
 www.panelesolaresperu.com  
 E-mail: fotovoltaicooperu@fotovoltaicooperu.com



device. (4) Anchor. (5) Line hook. (6) Tower base. (7) Anti-tarnish, anticorrosive, coating materials.

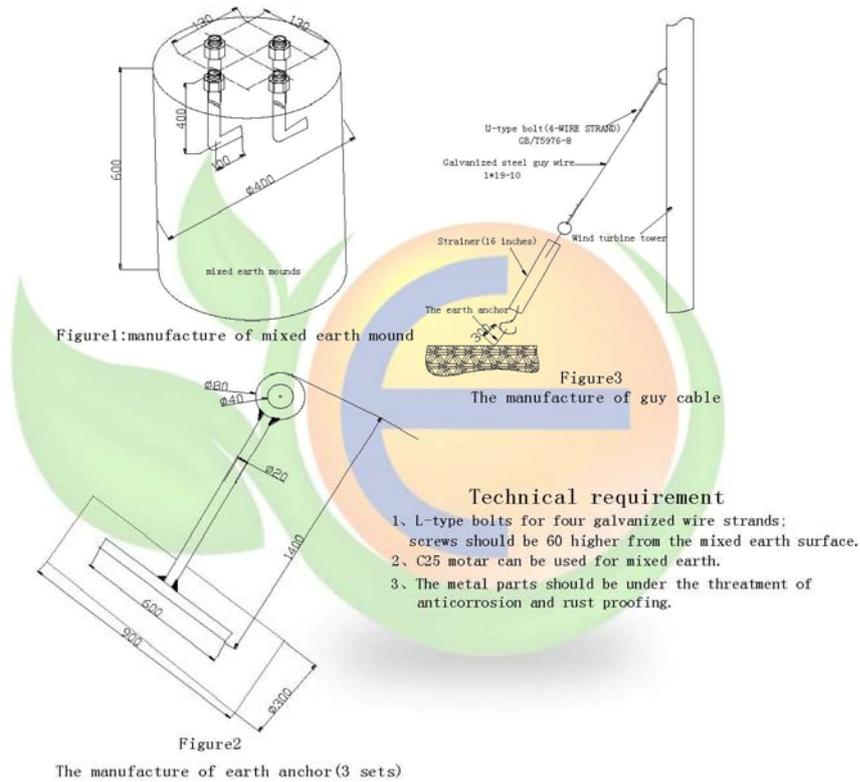


Figure 1 the fabrication of anchor, lasso and guy cable

4. The making and size of the upper tower is shown in figure 2. Its requirement: solid welding; no leak at the weld zone; the earth lug must be welded 20cm away from the ground (clearly visible). It will be connected to the lightening grounding device.

Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
 (01)3873985 / RPC: 958957597 / RPM\*6908060  
 Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
 (054)231932 / RPC: 957845078 / RPM#966612490

Web: [www.fotovoltaiacosperu.com](http://www.fotovoltaiacosperu.com)  
[www.paneleolaresperu.com](http://www.paneleolaresperu.com)  
 E-mail: [fotovoltaiacosperu@fotovoltaiacosperu.com](mailto:fotovoltaiacosperu@fotovoltaiacosperu.com)

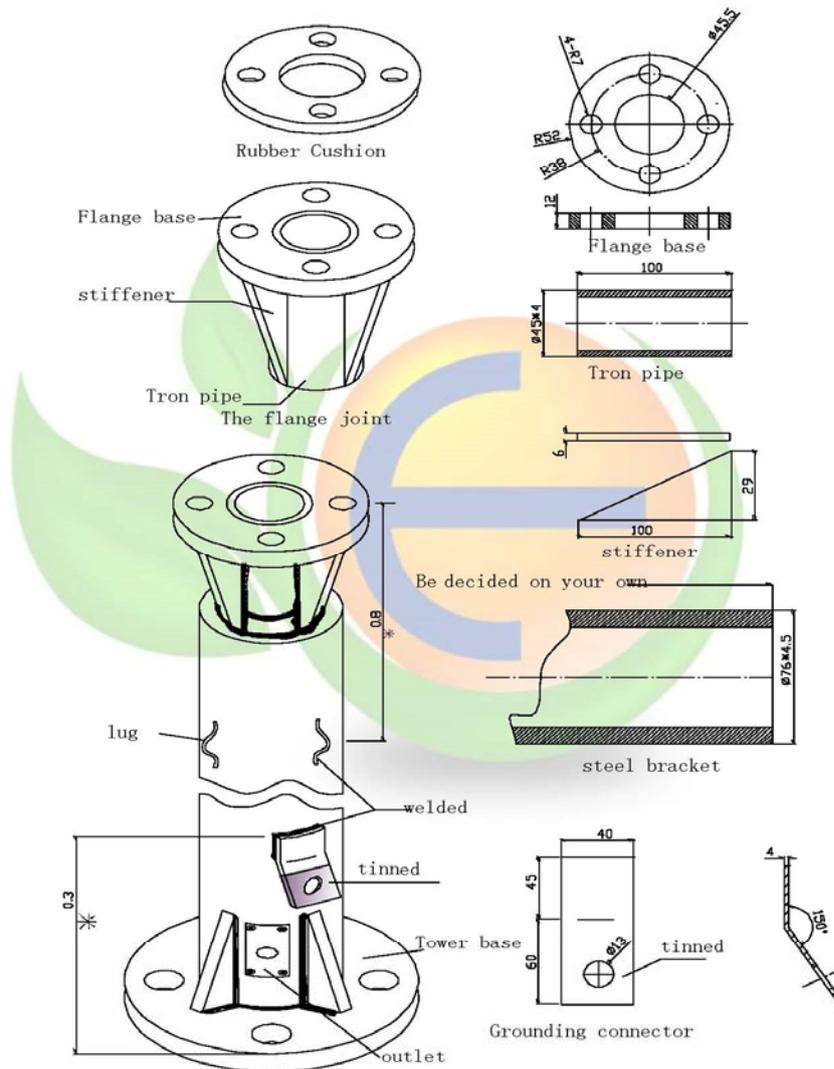


Figure 2 wind turbine flange connection in the top of tower

5. Please refer to the national standard, or the European standard, or American standard or figure 1 in this manual to arrange grounding device.
6. Tower and its accessories can be provided individually according to your requirements

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3873985 / RPC: 958957597 / RPM\*6908060

**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaiacooperu.com](http://www.fotovoltaiacooperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)

**E-mail:** [otovoltaiacooperu@otovoltaiacooperu.com](mailto:otovoltaiacooperu@otovoltaiacooperu.com)



## Part 4. The Wind Turbine Installation Steps

 **It is prohibited to assemble and install wind turbines in rainy days.**

1. The insulated current transmission wires: transmission lines are built in the iron pipe tower. The upper end is led out through the center bore of the wind turbine flange, while the bottom end are led out from the pipe opening which is 30cm away from the ground. The section from the opening to the point which is 60cm beneath ground should be protected by iron pipes who's O.D should be 17mm to 21mm. The underground paths of the transmission lines to the controller can made arrayed and covered with iron pipe or a plastic pipe.

2. The installation sequence of the wind turbines can follow the steps as illustrated in figure3.

2-1. Place the steel bracket on the ground; block up the flange joint to 1.3m.

2-2. Align the wind turbine flange to the tower flange. Cut away insulating layer of current transmission wire end (which are to be connected with controller) for 10mm, then short circuit the exposed copper wires (screwed together)

2-3. after the flange bolt (9) is mounted with the flat washer (10), plug it in the correspondent holes of the wind turbine flange with the bolt's head up, then through tower flange holes. Set the bolt into the flat washer, spring washer and then use a spanner to tighten the nut with the flange bolts. Similarly, plug other bolts, flat washer, spring washer and nuts in the corresponding holes. Screw tight all nuts; please refer to table 2 about the potency dimension needed to tighten them.

3. Align the 2 holes in the blade (6) with 2 holes in the groove of hub (5), align accurately, then put stainless steel bolt (13) from blade to groove through the holes, then screw lock nut (14) (Attention: lock nut is one time use, screw tight, do not screw loose, otherwise it will be out of

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM\*6908060*

*Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490*

*Web: www.fotovoltacooperu.com  
www.paneleolaroperu.com*

*E-mail: fotovoltacooperu@fotovoltacooperu.com*



use), installation of other blades follow the same operation, please refer to table 2 on force dimension of installation

4. First put the bigger end of lock nut into hexagonal hole centered in the hub, then onto the threaded shaft of the generator, press nut with left hand while rotate wheel clockwise with right hand, push nut, then use the lengthening hex wrench to assist right handed rotation of wheel, finally lock the nut (Attention: nut can only push forward, withdrawal is prohibited.) please refer to table 2 on force dimension of installation

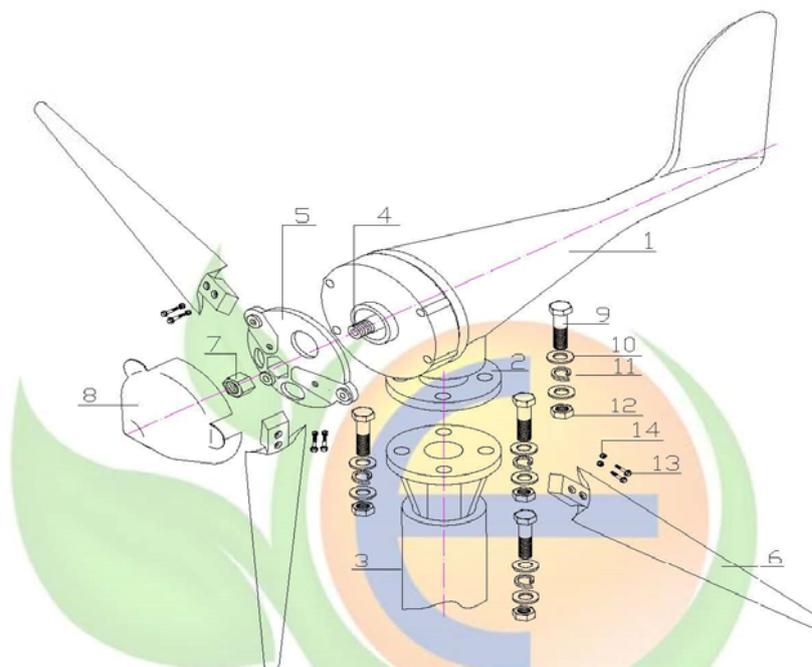
5. Clasp fairing(8) with wheel hub(5), align the three notches with blades, clasp the cone of fairing to get notches to the seam of wheel hub

6. The lifting of the wind turbines and tower should be proceeded with the presence of skilled slingers and the security should be guaranteed. The tower's stance should be executed on the basis of the relevant requirement of permanent construction.

7. After installation of tower and lightning protection is finished, use 500V megger to measure insulating resistance between transmission lines and earth (earth wire can act as ground) in the case of not losing the short circuited leads of transmission lines, measurement should not be less than  $5M\Omega$ , otherwise, insulating layer may be crushed, damaged or moistened, should be dealt with immediately.

Lima: Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
 (01)3875985 / RPC: 958957397 / RPM\*6908060  
 Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
 (054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

Web: www.fotovoltaiacosperu.com  
 www.panelesolaresperu.com  
 E-mail: fotovoltaiacosperu@fotovoltaiacosperu.com



The decomposition of wind turbine

- 1. body frame; 2. flange base; 3. steel bracket (tower); 4. axis; 5. hub; 6. blade;
- 7. anti-slack nut; 8. fairing; 9. bolt; 10. flat washer; 11. elastic washer;
- 12. nut; 13. stainless screw; 14. anti-slack;

Figure 3 wind turbine decomposition

### Part5. The Transmission Line Connection With current collectors



Avoid heavy rain days for the first commissioning. Priority should be given to the days with gentle breeze or strong wind (wind speed: 5~13m/s).

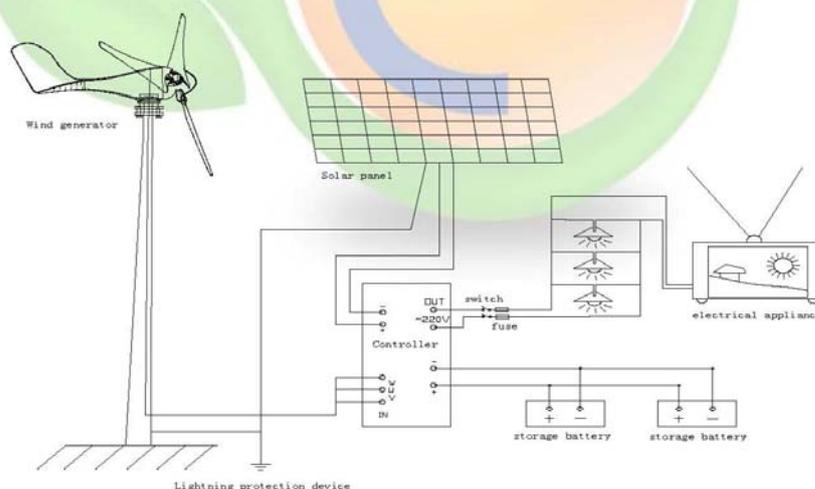
1. connect correctly the positive and negative pole of battery to the positive and negative pole of control inverter (control inverter specially for wind solar hybrid) (solar terminal is for spare use)

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaicosperu.com](http://www.fotovoltaicosperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)  
**E-mail:** [fotovoltaicosperu@fotovoltaicosperu.com](mailto:fotovoltaicosperu@fotovoltaicosperu.com)



2. The load circuit connected to the socket on the back of control inverter by way of fuses, switches, plugs.
3. Connect the three current transmission lines of wind turbine to the three terminals on the back of control inverter. Please refer to control inverter manuals for detailed instruction.
4. Battery selection generally lead-acid battery preferred, 100w-300W wind turbine 100AH - 200AH battery optional, 300W-600W wind generator ,200 ~ 400AH battery optional, the upper and lower limits of charging voltage controlled by the inverter. The wind turbine using floating charge to battery, the floating current is affected by battery condition.
5. The controller should be placed in dry, well ventilated place, moisture and dust-protected, inverter shell should be kept grounded and more than 1.5 meters away from the batteries to avoid acid gas pollution.
6. Battery should be put in the dry, ventilated place, cool in summer, warm in winter, in such environment, battery can be better maintained



**Connection diagram of wind turbine, solar panel & electrical appliance**

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490*

**Web:** [www.fotovoltacosperu.com](http://www.fotovoltacosperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)  
**E-mail:** [fovovoltacosperu@fovovoltacosperu.com](mailto:fovovoltacosperu@fovovoltacosperu.com)



## **Part6. Maintenance and Precautions**

1. Wind generators often work at poor environment, thus please make sure to check regularly with your sight and hearing; check whether the tower is swaying or whether the cable is loose (using a telescope is also a good idea).
2. Timely inspection should be made after a heavy storm. If there is any problem, please put down the tower slowly for maintenance. With regard to the wind turbines for streetlights, there should be electrician climbing the pole to check if there is any problem when wind turbine have been short circuited and security protection measures prepared.
3. The free maintenance batteries should be kept externally clear.
4. Do not disassemble the equipment by yourself. Please contact sales department when the equipment is out of order

## **Part 7.Paking List**

Serial#	Item	Quantity	Remarks
1	Wind generator	1	
2	hub	1	
3	blades	3/5	optional
4	lock nut on shaft (M16)	1	
5	bolt for blades (M6*40)	6/10	optional
6	lock nut for blades (M6)	6/10	optional

**Lima:** Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060

**Arequipa:** Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490

**Web:** [www.fotovoltaicosperu.com](http://www.fotovoltaicosperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)

**E-mail:** [fotovoltaicosperu@fotovoltaicosperu.com](mailto:fotovoltaicosperu@fotovoltaicosperu.com)



7	flange bolt (M12*55)	4	
8	nut (M12)	4	
9	flat washer	8	
10	spring washer	4	
11	bolt for blades (M6*40)	1	optional
12	lock nut for blades (M6)	2	optional
13	L spanner	1	optional
14	hex wrench	1	optional
15	Controller / inverter	1	optional
16	tower	1	optional

### Par8. Quality Guarantee

1. The company guarantees customers that generator is of excellent quality, function is good, the body is complete, rigorously checked before delivery,

2,We provide 1 year's warranty for wind generator and 1 year for controller since the date of sale, damages occurred in the following situation: Dismantle optionally by yourself or seriously violate operation (not according to instructions use) are not covered by warranty.

3, the documents are as a product warranty certificate, please keep it properly.

*Lima: Av. Los Nogales 530 -2º piso Urb. Canto Bello  
(01)3875985 / RPC: 958957397 / RPM\*6908060*

*Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 218 Cercado  
(054)231932 / RPC: 987845078 / RPM#966612490*

**Web:** [www.fotovoltaiicoaperu.com](http://www.fotovoltaiicoaperu.com)  
[www.panelesolaresperu.com](http://www.panelesolaresperu.com)

**E-mail:** [fovovoltaiicoaperu@fovovoltaiicoaperu.com](mailto:fovovoltaiicoaperu@fovovoltaiicoaperu.com)



**User information table :**

Sales company :	Purchase company :
Purchase time :	Contact person :
SBBH :	Contact :
Model :	Zip code :

**Maintenance records:**

Date	Maintenance species	Summary	SMT rework

Anexo N° 07: Especificaciones técnicas de la batería.



**RA12-100 (12V100Ah)**

RA12-100 is a general purpose battery with 10 years floating design life, meet with IEC, JIS .BS and Eurobat standard. With heavy duty grid, thickness plates, special additives, RA series battery have long and reliable standby service life. Our RA Series batteries keep high consistent for better performance in series usage.

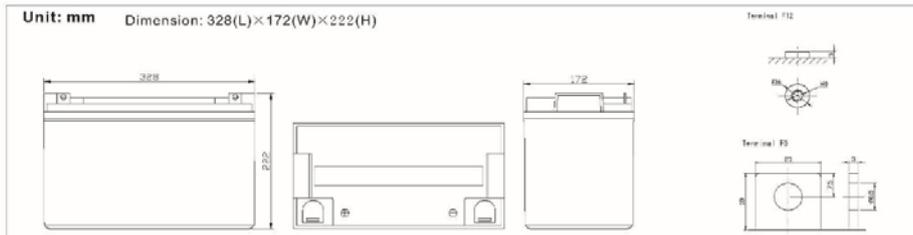


**Specification**

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 30.0 Kg
Max. Discharge Current	1000A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 5mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	30 A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F5/F12
Container Material	A. B. S. (UL94-HB). Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.

**Dimensions**

Unit: mm Dimension: 328(L)×172(W)×222(H)



**Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)**

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	320.7	226.9	181.4	112.7	65.00	38.89	26.88	22.03	18.03	12.42	10.50	5.777
10.0V	311.4	215.8	177.7	110.8	64.70	38.60	26.78	21.93	17.93	12.32	10.40	5.672
10.2V	302.2	208.2	174.9	109.8	64.10	38.31	26.57	21.83	17.82	12.22	10.30	5.567
10.5V	271.3	192.1	166.5	107.1	63.50	38.02	26.47	21.62	17.61	12.12	10.20	5.462
10.8V	244.9	175.2	153.5	102.4	62.00	37.33	25.75	21.11	17.29	11.92	10.10	5.357
11.1V	209.1	156.6	137.7	95.91	58.90	35.68	24.62	20.09	16.55	11.41	9.796	5.041

**Constant Power Discharge Characteristics: W(25°C)**

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.6V	3317	2416	1996	1284	751.1	458.4	319.9	262.6	215.1	148.3	125.5	69.26
10.0V	3251	2342	1964	1269	749.3	456.0	320.0	262.3	214.6	147.6	124.7	68.06
10.2V	3214	2280	1941	1260	743.5	453.3	318.6	261.7	213.9	146.6	123.6	66.80
10.5V	2926	2123	1852	1230	736.8	450.0	317.4	259.3	211.3	145.4	122.4	65.54
10.8V	2665	1957	1712	1179	723.2	444.2	308.7	253.4	207.5	143.0	121.2	64.28
11.1V	2341	1770	1541	1108	692.3	427.7	295.4	241.1	198.6	136.9	117.6	60.50

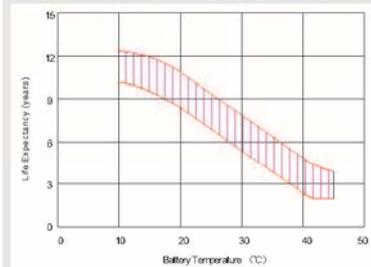
All mentioned values are average values.

# RA12-100

12V100Ah



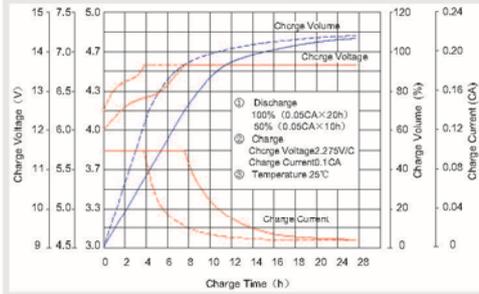
### Effect of temperature on long term float life



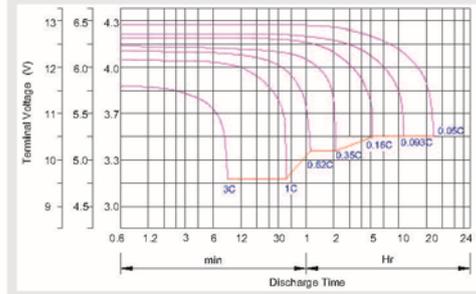
### Storage characteristic



### Charge characteristic Curve for standby use



### Discharge characteristic Curve



### Capacity Factors With Different Temperature

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL Battery	6V&12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%
	2V	60%	75%	85%	88%	92%	99%	100%	103%	105%	106%
AGM Battery	6V&12V	46%	66%	76%	83%	90%	98%	100%	103%	107%	109%
	2V	55%	70%	80%	85%	92%	99%	100%	104%	108%	110%

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V/cell	1.76V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤ 0.2C	0.2C < (A) < 1.0C	(A) ≥ 1.0C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	-0.2Cx2h+2.4-2.45V/cellx24h,Max. Current 0.3CA
Constant Current	-0.2Cx2h+0.1CAx12h
Fast	-0.2Cx2h+0.3CAx4.0h

### Maintenance & Cautions

<b>Float Service:</b>
※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
※ Every three months, recommend equalization charge for one time.
<b>Equalization charge method:</b>
Discharge: 100% rate capacity discharge.
Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 2.4-2.45V/Cell charge 24h.
※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/°C/Cell.
※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.

SHENZHEN RITAR POWER CO.,LTD.  
 URL:www.ritarpower.com

Address: Rm405, Tower C, Huahan Building, Langshan Rd16, Nanshan District, ShenZhen, 518057, China  
 Tel:+86-755-33981868 Fax:86-755-8347-5180

2010-Version 1

Anexo N° 08: Especificaciones técnicas de los paneles solares.

Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bello  
 (01)3875985 / RPC: 958957597 / RPM#6908060  
 Arequipa: Calle Pancarpata 130 Of. 218 Cercado  
 (054)231932 / RPC:987845078 / RPM#966612490  
 Web: www.fotovoltaiacooperu.com  
 www.panelesolaresperu.com  
 E-mail: fotovoltaiacooperu@fotovoltaiacooperu.com



**Panel Solar Monocristalino CNBM (120W)**

**Características**

Potencia Max. de voltaje Vmp (V)	17.6V
Potencia Max. de corriente Imp (A)	6.82A
Voltaje en circuito abierto (V)	22.4V
Corriente de corto circuito Isc (A)	7.09A
Potencia Max. Pm (W)	120

**Coefficiente de Temperatura de Celdas**

NOCT	47 ±2°C
Coefficiente de Temperatura Isc (%/°C)	0.06
Coefficiente de Temperatura Voc (%/°C)	-0.32
Coefficiente de Temperatura Pmp (%/°C)	-0.45

**Datos**

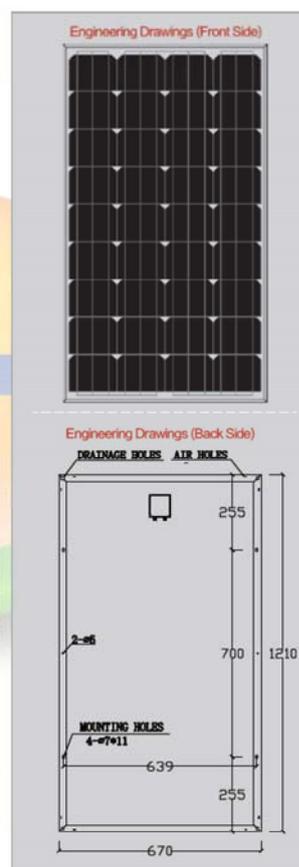
Dimensión	1210x670 x30 mm
Peso	9.0kg
Tolerancia	±3%

**Limites**

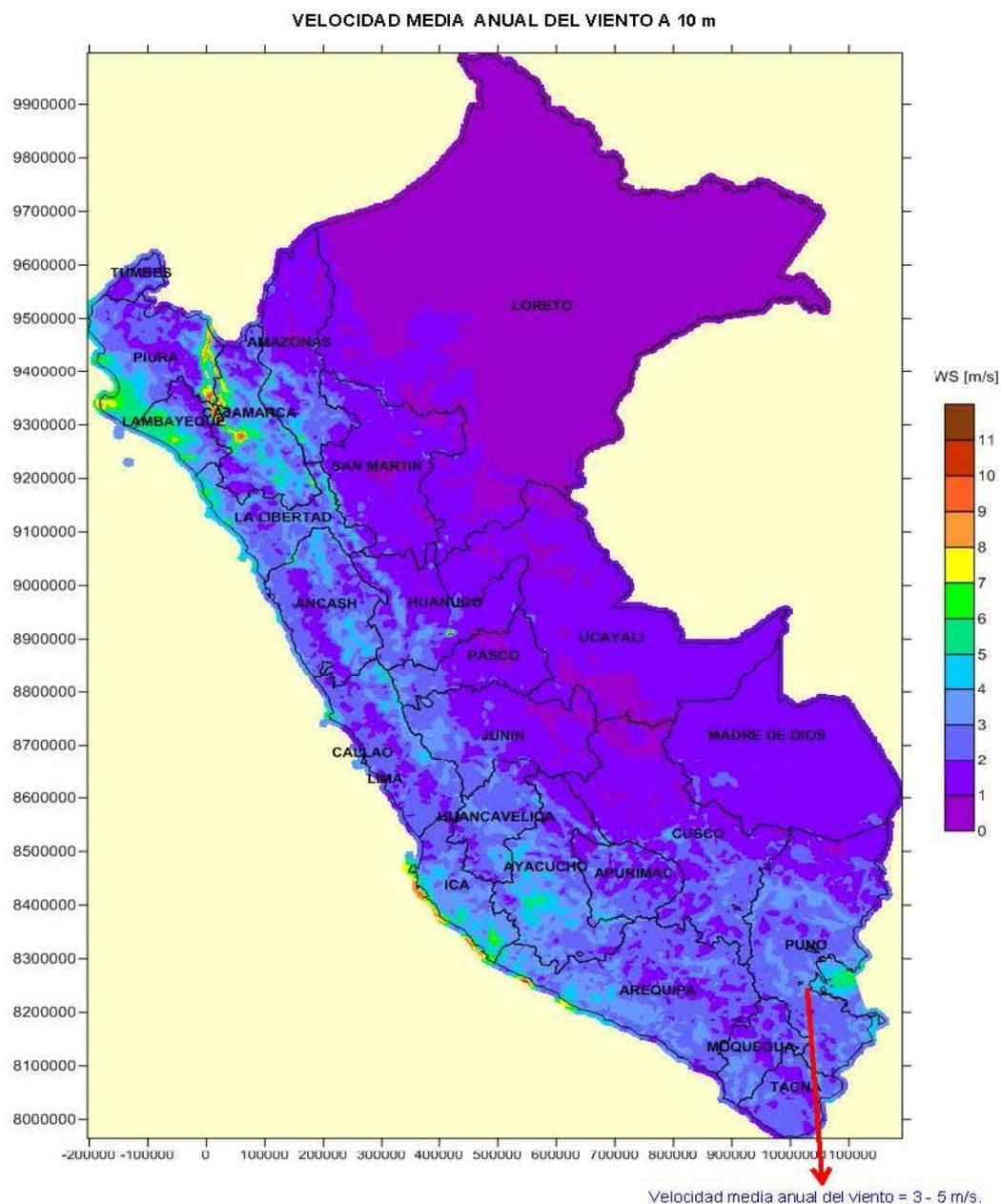
Temperatura en Uso	-45 °C to +80°C
Temperatura Almacenada	-45 °C to +80°C
Max Sistema de voltaje	700V

**Garanatía**

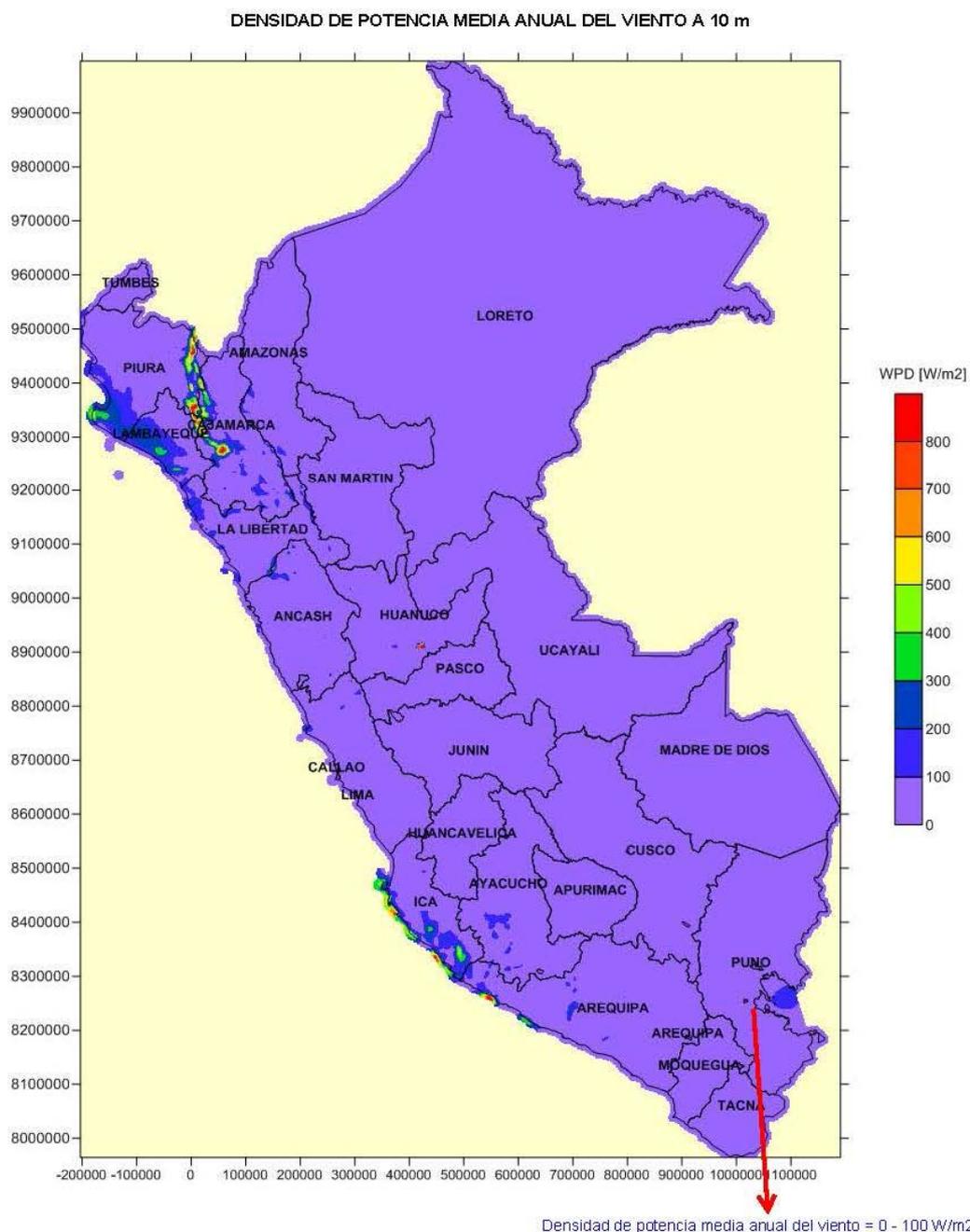
Garantía del Producto	2 años
Vida útil	25 - 30 años



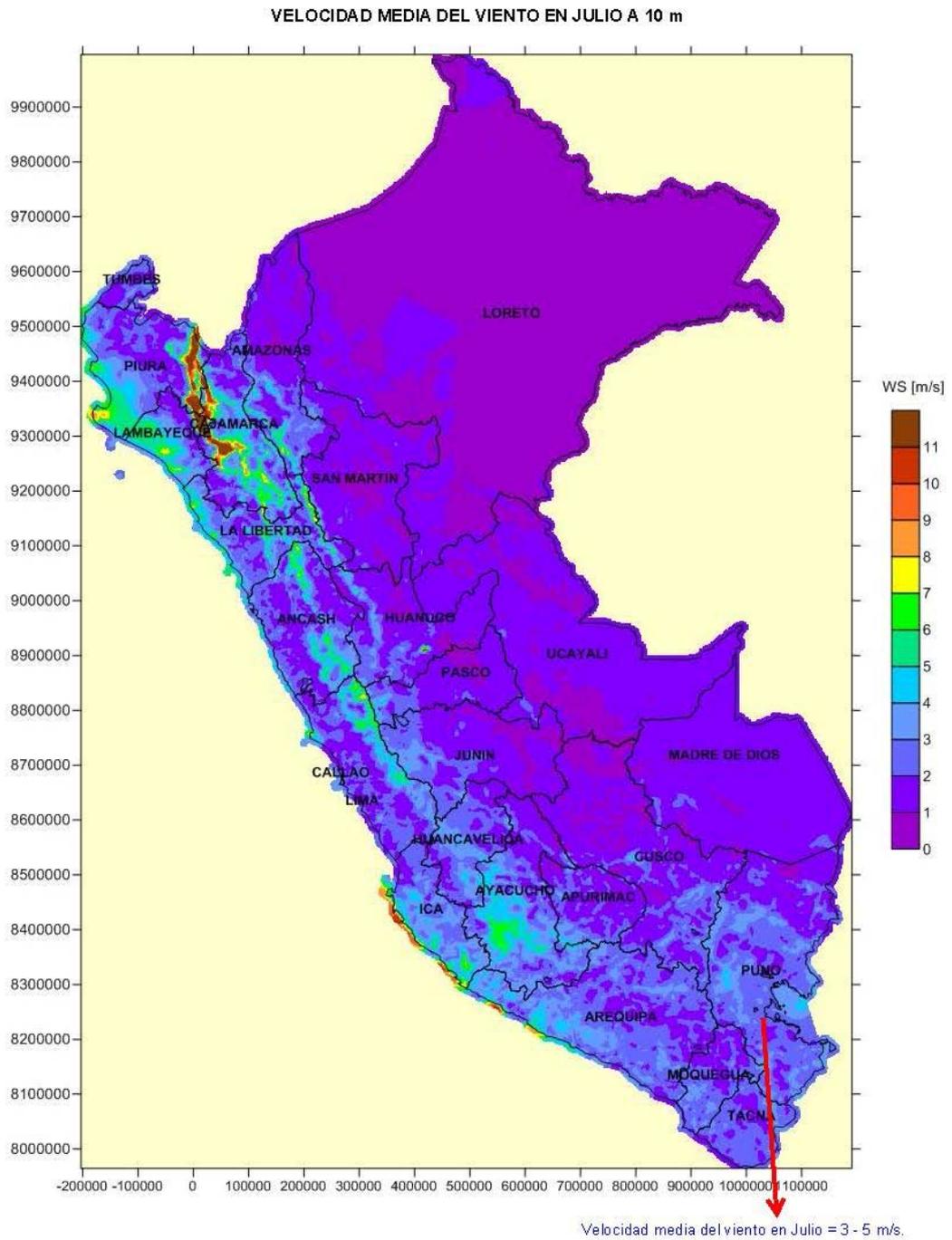
Anexo N° 09: Atlas eólico y solar del Perú.



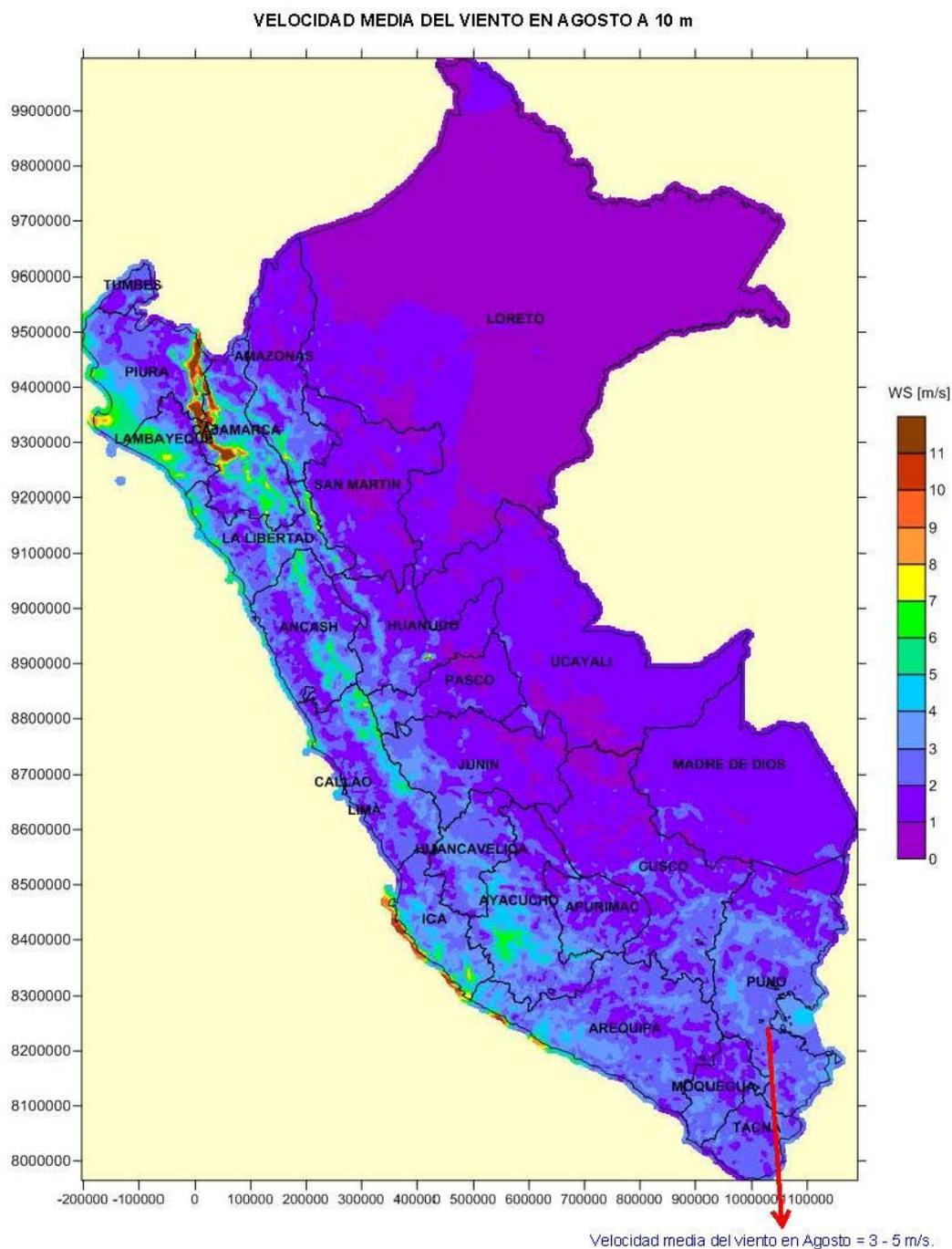
Fuente: Atlas Eólico del Perú - MINEM - Consorcio Vortex.



Fuente: Atlas Eólico del Perú - MINEM - Consorcio Vortex.



Fuente: Atlas Eólico del Perú - MINEM - Consorcio Vortex.



Fuente: Atlas Eólico del Perú - MINEM - Consorcio Vortex.

