

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Eléctrica**

***“Estudio técnico económico de la energía solar  
fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala”***

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

**Autor:**

Marcelo Gustavo Cárdenas Calle  
C.I. 0302350509

**Director:**

Luis Gerardo González Morales. Ph.D.  
C.I. 1729711059

**Co-Director:**

Juan Leonardo Espinoza Abad. Ph.D.  
C.I. 0102559325

**Cuenca - Ecuador**

**Abril, 2019**



## RESUMEN

La creciente necesidad para contar con energía limpia y sustentable, impulsa iniciativas que promueven el uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNC). El presente trabajo de titulación busca analizar la generación de electricidad a través de la energía solar fotovoltaica y eólica a pequeña escala, considerando las tecnologías instaladas en los laboratorios de la Universidad de Cuenca; que corresponde a paneles monocristalinos fijos, policristalinos fijos, policristalinos móviles a uno y a dos ejes; en tanto que, para la energía eólica se dispone de dos aerogeneradores, uno de eje vertical y otro horizontal, instalados a una altura de 18 metros. En base a estos dos sistemas indicados, se analizan los potenciales de los recursos primarios solar y eólico existente en las zonas que se encuentran emplazados. Complementariamente, se realiza la evaluación técnica y económica de los dos sistemas para determinar la viabilidad de ejecutar estudios de proyectos de microgeneración solar fotovoltaica y eólica considerando la normativa del servicio público de energía eléctrica vigente. Por último, se analiza la aplicación tarifaria que promueva e incentive el desarrollo de microgeneración solar fotovoltaica y eólica, integradas a la red de distribución eléctrica.

**PALABRAS CLAVES:** Energías renovables no convencionales. Redes eléctricas. Energía solar fotovoltaica. Energía eólica. Microgeneración. Panel monocristalino fijo. Panel policristalino fijo. Panel policristalino móvil a un eje. Panel policristalino móvil a dos ejes. Aerogenerador de eje vertical. Aerogeneradores de eje horizontal.



## ABSTRACT

The increasing necessity for counting with clean and sustainable energy, impulses initiatives that promotes the use of Non- Conventional Renewable Energy (NCRE). The present thesis seeks to analyze the generation of electricity through solar photovoltaic and wind energy on a small-scale, considering the technologies installed on the University of Cuenca's laboratories; that corresponds to fixed monocrystalline panels, fixed polycrystalline, mobile polycrystalline in one axis and mobile polycrystalline in two axis; whilst, for wind energy, two wind turbines are available, one of vertical axis and the other one horizontal axis, which are installed at a height of 18 meters. Based on these two systems, the potentials of the primary solar and wind resources existing in the areas that are located are analyzed. Complementarily, the technical and economic evaluation of the two systems is carried out to determine the feasibility of executing studies of photovoltaic and wind solar microgeneration projects, considering the regulations of the current electric power public service. Finally, the fare application that promotes and stimulates the development of solar photovoltaic and wind microgeneration, integrated into the electricity distribution network, is analyzed.

**KEYWORDS:** Non-conventional renewable energies. Electrical networks. Solar photovoltaic energy. Wind power. Microgeneration. Fixed mono-crystalline panel. Fixed polycrystalline panel. Mobile polycrystalline panel in one-axis. Mobile Polycrystalline panel in two-axis. Vertical axis wind turbine. Horizontal axis wind turbine.



<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>1. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>18</b>
1.1. <b>Introducción.....</b>	<b>18</b>
1.2. <b>Alcance.....</b>	<b>19</b>
1.3. <b>Objetivo general .....</b>	<b>19</b>
1.4. <b>Objetivos específicos .....</b>	<b>19</b>
1.5. <b>Metodología.....</b>	<b>20</b>
1.6. <b>Contenido.....</b>	<b>20</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.    Energías Renovables No Convencionales en el Ecuador .....</b>	<b>21</b>
2.1.1.    Antecedentes.....	21
2.1.2.    Generación y consumo de electricidad en el Ecuador.....	21
2.1.3.    Fuentes de energías renovables en el Ecuador.....	23
2.1.4.    Proyección de la demanda en bornes de generación del S.N.I....	25
<b>2.2.    Energía Eólica.....</b>	<b>29</b>
2.2.1.    Origen del viento.....	29
2.2.2.    Efecto Coriolis.....	30
2.2.3.    Efectos topográficos .....	30
2.2.4.    Instrumentos de medición.....	31
2.2.5.    Potencial del viento a escala global.....	32
2.2.6.    Tipos de viento.....	32
2.2.7.    Descripción del recurso eólico del Ecuador.....	33
2.2.8.    Energía eólica a pequeña escala.....	34
2.2.9.    Descripción de una instalación eólica.....	34
2.2.9.1.    Aerogeneradores.....	35
2.2.9.1.1.    Aerogeneradores de eje horizontal .....	37
2.2.9.1.1.1.    Aerogeneradores según el número de palas .....	37
2.2.9.1.1.1.1.    Aerogeneradores monopala.....	37
2.2.9.1.1.1.2.    Aerogeneradores bipala .....	37
2.2.9.1.1.1.3.    Aerogeneradores tripala.....	37
2.2.9.1.1.2.    Aerogeneradores según la orientación respecto a la dirección del viento.....	38



2.2.9.1.1.2.1. Aerogeneradores orientados a barlovento (proa) .....	38
2.2.9.1.1.2.2. Aerogeneradores orientados a sotavento (popa).....	38
2.2.9.1.2. Aerogeneradores de eje vertical .....	39
2.2.9.1.2.1. Aerogeneradores Savonius.....	39
2.2.9.1.2.2. Aerogeneradores Darrieus .....	40
2.2.9.2. Red de conexión eléctrica .....	41
2.2.9.3. Subestación eléctrica .....	41
<b>2.3. Energía Solar Fotovoltaica .....</b>	<b>41</b>
2.3.1. Radiación Solar.....	41
2.3.2. Geometría solar .....	42
2.3.3. Irradiancia en superficies inclinadas .....	44
2.3.4. Célula fotovoltaica.....	44
2.3.5. Horas de sol pico (H.S.P) .....	45
2.3.5.1. Tipos de células .....	45
2.3.5.1.1. Silicio monocristalinos .....	45
2.3.5.1.2. Silicio policristalinos .....	45
2.3.5.1.3. Silicio amorfo.....	46
2.3.6. Modulo fotovoltaico .....	46
2.3.6.1. Parámetros característicos.....	47
2.3.6.2. Curvas características.....	47
2.3.7. Estructura de soportes.....	48
2.3.7.1. Seguimiento en un eje.....	49
2.3.7.1.1. Seguimiento cenital .....	49
2.3.7.1.2. Seguimiento azimutal .....	49
2.3.7.1.3. Seguimiento polar.....	49
2.3.7.2. Seguimiento en dos ejes .....	49
2.3.8. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	50
2.3.8.1. Instalaciones conectadas a la red eléctrica.....	50
2.3.8.2. Instalaciones aisladas a la red .....	52
<b>3. Análisis técnico de energía solar y energía eólica en las distintas tecnologías instaladas.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1. Mini parque eólico ubicado en el campus Irquis. ....</b>	<b>53</b>
3.1.1. Análisis de generación de energía eléctrica de una instalación eólica. 53	
3.1.2. Perfil vertical del viento .....	55



3.1.3.	Estimación de la velocidad del viento .....	57
3.1.3.1.	Función de distribución de Weibull.....	57
3.1.3.2.	Función de distribución de Rayleigh .....	58
3.1.4.	Producción energética. ....	59
3.1.4.1.	Curva de potencia .....	59
3.1.4.2.	Factor de planta .....	59
3.1.4.3.	Coeficiente de potencia.....	60
3.1.5.	Tecnología instalada en el parque mini eólico.....	61
3.1.5.1.	Anemómetro nrg 40 c.....	61
3.1.5.2.	Veleta nrg 200p .....	61
3.1.5.3.	Turbina eólica Enair e70 pro .....	62
3.1.5.4.	Turbina eólica Tyd-wt-5000.....	64
<b>3.2.</b>	<b>Mini parque fotovoltaico ubicado en el campus Balzay.....</b>	<b>65</b>
3.2.1.	Calculo de la producción energética de una instalación solar fotovoltaica	66
3.2.2.	Tecnología instalada en el parque fotovoltaico.....	67
3.2.2.1.	Módulo fotovoltaico atersa policristalino a-250p .....	67
3.2.2.2.	Módulo fotovoltaico atersa monocristalino a-250m .....	68
3.2.2.3.	Inversor GPtech pv15.....	68
3.2.2.4.	Inversor Fronius symo.....	70
3.2.2.5.	Degertracker s100-pf-dr .....	70
3.2.2.6.	Sat st44m2v4p .....	71
<b>3.3.</b>	<b>Análisis de datos.....</b>	<b>72</b>
3.3.1.	Producción energética de los aerogeneradores Enair e70pro y Tyd-wt-5000	72
3.3.1.1.	Cálculo del valor de densidad de aire. ....	72
3.3.1.2.	Distribución de Weibull.....	73
3.3.1.3.	Cálculos del valor del coeficiente de potencia. ....	79
<b>3.4.</b>	<b>Cálculo de la energía producida por los aerogeneradores Enair e70pro y Tyd-wt-5000 .....</b>	<b>81</b>
<b>3.5.</b>	<b>Producción energética del parque fotovoltaico ubicado en el campus Balzay.....</b>	<b>84</b>
3.5.1.	Enero .....	86



3.5.2.	Febrero .....	88
3.5.3.	Marzo .....	90
3.5.4.	Abril .....	92
3.5.5.	Mayo .....	94
3.5.6.	Junio .....	96
3.5.7.	Julio.....	98
3.5.8.	Agosto.....	100
3.5.9.	Septiembre.....	102
3.5.10.	Octubre .....	104
3.5.11.	Noviembre.....	106
3.5.12.	Diciembre .....	108
<b>4.</b>	<b>Análisis económico de las distintas tecnologías instaladas .....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.</b>	<b>Viabilidad económica.....</b>	<b>112</b>
4.1.1.	Valor actual neto (VAN) .....	113
4.1.2.	Tasa interna de retorno (TIR) .....	113
4.1.3.	Pay-Back.....	113
4.1.4.	Otros factores para la evaluación de proyectos de inversión energéticos. 113	
<b>4.2.</b>	<b>Normativa Ecuatoriana .....</b>	<b>114</b>
<b>4.3.</b>	<b>Costos Totales.....</b>	<b>117</b>
<b>4.4.</b>	<b>Cálculos de la viabilidad económica.....</b>	<b>121</b>
4.4.1.	Energía mini eólica. ....	121
4.4.2.	Energía micro solar fotovoltaica.....	123
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>132</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>132</b>
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>134</b>
<b>6.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>
<b>6.1.</b>	<b>Potencial eólico estimado y factible a corto plazo en el Ecuador. 135</b>	
<b>6.2.</b>	<b>Insolación en el Ecuador.....</b>	<b>137</b>
<b>6.3.</b>	<b>Fotos del seguidor de dos ejes.....</b>	<b>138</b>



Universidad de Cuenca

<b>6.4. Análisis de generación de electricidad del parque solar fotovoltaico ubicado en Balzay .....</b>	<b>139</b>
<b>6.5. Ficha técnica turbina Enair E70PRO .....</b>	<b>141</b>
<b>6.6. Ficha técnica turbina TYD WT 5000.....</b>	<b>143</b>
<b>6.7. Ficha técnica módulos fotovoltaicos A250M y A250P .....</b>	<b>145</b>
<b>6.8. Ficha técnica inversor Fronius Symo 5kW.....</b>	<b>147</b>
<b>6.9. Ficha técnica del seguidor de un eje Deger Tracker s100-pf-dr 148</b>	
<b>6.10. Ficha técnica seguidor de dos ejes SAT st44n2v4p.....</b>	<b>149</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>150</b>





## INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Potencia Nominal del parque generador del Ecuador.....	22
Tabla 2-2 Capacidad efectiva de generación con fuentes de energía renovable.....	24
Tabla 2-3 Demanda anual de energía eléctrica.....	25
Tabla 2-4 Demanda anual de potencia eléctrica .....	26
Tabla 2-5 Proyectos en construcción y de alta prioridad.....	28
Tabla 2-6 Escala Beaufort. ....	33
Tabla 2-7 Categorías de la energía eólica a pequeña escala. ....	34
Tabla 3-1 Tabla de rendimientos de una instalación eólica.....	55
Tabla 3-2 Longitud de rugosidad $z_0$ (m) según el uso de suelo.....	56
Tabla 3-3 Parámetros característicos Modulo fotovoltaico Atersa policristalino A-250p.....	67
Tabla 3-4 Parámetros característicos Modulo fotovoltaico Atersa monocristalino A250m .....	68
Tabla 3-5 Parámetros característicos Inversor GPTech PV15.....	69
Tabla 3-6 Parámetros característicos Inversor Fronius Symo.....	70
Tabla 3-7 Parámetros característicos Degertracker s100-pf-dr.....	71
Tabla 3-8 Velocidades medias mensuales de 15m y 18m. ....	74
Tabla 3-9 Cálculos para encontrar la función de Weibull. ....	77
Tabla 3-10 Valores de la distribución de Weibull a 15m y distribución corregida a 18m. ....	78
Tabla 3-11 Valores usados para encontrar el Coeficiente de Potencia.....	79
Tabla 3-12 Producción energética de Enair e70 pro .....	83
Tabla 3-13 Producción energética de Tyd wt 5000. ....	83
Tabla 3-14 Valores de irradiancia solar del año 2018 .....	85
Tabla 3-15 Producción energética del mes de enero .....	87
Tabla 3-16 Producción energética del mes de febrero.....	89
Tabla 3-17 Producción energética del mes de marzo .....	91
Tabla 3-18 Producción energética del mes de abril. ....	93
Tabla 3-19 Producción energética del mes de mayo .....	95
Tabla 3-20 Producción energética del mes de junio.....	97
Tabla 3-21 Producción energética del mes de Julio.....	99



Tabla 3-22 Producción energética del mes de agosto .....	101
Tabla 3-23 Producción energética del mes de septiembre .....	103
Tabla 3-24 Producción energética del mes de octubre .....	105
Tabla 3-25 Producción energética del mes de noviembre .....	107
Tabla 3-26 Producción energética del mes de diciembre.....	109
Tabla 3-27 Producción energética anual.....	110
Tabla 4-1 Costos del aerogenerador de eje horizontal.....	118
Tabla 4-2 Costos aerogenerador eje vertical.....	118
Tabla 4-3 Costos de la tecnología policristalinos fijos .....	119
Tabla 4-4 Costos de la tecnología monocristalinos fijos.....	119
Tabla 4-5 Costos de la tecnología policristalinos móviles a un eje .....	120
Tabla 4-6 Cálculos viabilidad económica aerogenerador eje horizontal .....	121
Tabla 4-7 Cálculos viabilidad económica aerogenerador eje vertical.....	122
Tabla 4-8 Viabilidad policristalinos fijos con precio 9,3 cUSD\$ por kWh.....	125
Tabla 4-9 Resumen de áreas, precios y energía de cada tecnología. ....	127
Tabla 4-10 Viabilidad policristalinos fijos con precio 17,2 cUSD\$ por kWh..	127
Tabla 4-11 Viabilidad monocristalinos fijos con precio 17,2 cUSD\$ por kWh .....	128
Tabla 4-12 Viabilidad policristalinos móviles a un eje con precio 17,2 cUSD\$ por kWh .....	129
Tabla 4-13 Viabilidad policristalinos móviles a dos ejes con precio 17,2 cUSD\$ por kWh .....	130



## INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Aporte de las Interconexiones. ....	22
Figura 2-2 Consumo Energético del Ecuador. ....	23
Figura 2-3 Capacidad Instalada en el Ecuador .....	23
Figura 2-4 Central hidroeléctrica de pasada Manduriacu. ....	24
Figura 2-5 Central solar fotovoltaica Altgenotec, Guayas. (990kWp) .....	24
Figura 2-6 Proyección de la demanda de energía en el periodo (2016-2025)....	26
Figura 2-7 Proyección de la demanda de potencia en el periodo (2016-2025) ..	27
Figura 2-8 Circulación atmosférica.....	30
Figura 2-9 Anemómetro de cazoletas (izquierda) y veleta (derecha) .....	31
Figura 2-10 Distribución estimada de la velocidad del viento .....	32
Figura 2-11 Transformaciones de energía de un Aerogenerador. ....	35
Figura 2-12 Partes de un aerogenerador. ....	37
Figura 2-13 Aerogeneradores de eje horizontal según el número de palas .....	38
Figura 2-14 Aerogeneradores de eje horizontal orientados respecto a la dirección del viento. ....	39
Figura 2-15 Aerogeneradores Savonius .....	40
Figura 2-16 Aerogeneradores Darrieus.....	40
Figura 2-17 Componentes de la radiación solar. ....	42
Figura 2-18 Geometría solar sobre una célula fotovoltaica.....	43
Figura 2-19 Posición del sol en los cambios de estación.....	43
Figura 2-20 Efecto Fotovoltaico .....	44
Figura 2-21 Tipo de células solares .....	45
Figura 2-22 Tipos de células fotovoltaicas. ....	46
Figura 2-23 Elementos de un panel fotovoltaico. ....	46
Figura 2-24 Curvas características de un módulo fotovoltaico (a) Diferentes valores de temperatura, (b) Diferentes valores de radiación solar. ....	48
Figura 2-25 (a)Modulo fotovoltaico con estructura fija, (b) )Modulo fotovoltaico con seguidor de dos ejes. ....	50
Figura 2-26 Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red .....	51
Figura 2-27 Esquema de instalación fotovoltaica aislada .....	52
Figura 3-1 Diferentes perfiles de viento a diferentes valores de $z_0$ .....	56
Figura 3-2 Curva de potencia de un Aerogenerador T100.....	59
Figura 3-3 Rendimiento de las principales turbinas eólicas. ....	60
Figura 3-4 Anemómetro NRG 40C.....	61



Universidad de Cuenca

Figura 3-5 Veleta NRG 200P ..... 62

Figura 3-6 Turbina ENAIR E70 pro ubicado en la granja Irquis. .... 62

Figura 3-7 (a) Curva de potencia de la turbina ENAIR E70 pro, (b) Curva de energía anual de la turbina ENAIR E70 pro ..... 63

Figura 3-8 Aerogenerador TYD-WT-5000 ubicado en la granja Irquis..... 64

Figura 3-9 (a)Curva de potencia de la turbina TYD-WT-5000, (b) Curva de energía diaria de la turbina TYD-WT-5000..... 65

Figura 3-10 Modulo fotovoltaico Atersa policristalino A-250p ..... 67

Figura 3-11 Modulo fotovoltaico Atersa monocristalino A-250m ..... 68

Figura 3-12 Inversor GPTech PV15 ..... 69

Figura 3-13 Inversor Fronius Symo ..... 70

Figura 3-14 Degertracker s100-pf-dr..... 71

Figura 3-15 Temperatura media en la ciudad de Cuenca ..... 73

Figura 3-16 Velocidad media mensual a 18 metros de altura ..... 74

Figura 3-17 Frecuencia de Velocidades de un año..... 75

Figura 3-18 Comportamiento de la velocidad a lo largo de un día..... 75

Figura 3-19 Distribución de Weibull a 15m y distribución corregida a 18m. .... 79

Figura 3-20 Coeficiente de Potencia de la turbina Enair e70 pro dado por el fabricante..... 80

Figura 3-21 Curva de Potencia dado por el fabricante y la obtenida en el lugar de emplazamiento ..... 80

Figura 3-22 Curva de Potencia dado por el fabricante y la obtenida en el lugar de emplazamiento ..... 81

Figura 3-23 Histograma de Frecuencias y función de Weibull..... 82

Figura 3-24 Curvas de Potencia de los dos Aerogeneradores en el lugar de emplazamiento. .... 82

Figura 3-25 Irradiación solar media mensual del año 2018. .... 85

Figura 3-26 Radiación solar de un día del mes de enero ..... 86

Figura 3-27 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de enero.86

Figura 3-28 Radiación solar de un día del mes de febrero ..... 88

Figura 3-29 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de febrero. .... 88

..... 88

Figura 3-30 Radiación solar de un día del mes de marzo..... 90

Figura 3-31 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de marzo. .... 90

..... 90



Figura 3-32 Radiación solar de un día del mes de abril..... 92

Figura 3-33 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de abril.. 92

Figura 3-34 Radiación solar de un día del mes de mayo..... 94

Figura 3-35 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de mayo.94

Figura 3-36 Radiación solar de un día del mes de junio ..... 96

Figura 3-37 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de junio. 96

Figura 3-38 Radiación solar de un día del mes de Julio ..... 98

Figura 3-39 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de Julio. 98

Figura 3-40 Radiación solar de un día del mes de agosto..... 100

Figura 3-41 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de agosto.  
..... 100

Figura 3-42 Radiación solar de un día del mes de septiembre..... 102

Figura 3-43 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de  
septiembre..... 102

Figura 3-44 Radiación solar de un día del mes de octubre..... 104

Figura 3-45 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de octubre.  
..... 104

Figura 3-46 Radiación solar de un día del mes de noviembre..... 106

Figura 3-47 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de  
noviembre..... 106

Figura 3-48 Radiación solar de un día del mes de diciembre ..... 108

Figura 3-49 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de diciembre.  
..... 108

Figura 3-50 Producción energética anual. .... 109

Figura 4-1 Esquema de conexión a la red de distribución. .... 115

Figura 4-2 Variación del TIR respecto al precio del kWh. .... 126



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Marcelo Gustavo Cárdenas Calle, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril 2019.

Marcelo Gustavo Cárdenas Calle

C.I: 0302350509




## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Marcelo Gustavo Cárdenas Calle, autor del trabajo de titulación "*Estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril 2019.



Marcelo Gustavo Cárdenas Calle

C.I: 0302350509



## AGRADECIMIENTO

Culminar esta etapa académica no hubiese sido posible sin la colaboración de grandes personas.

Quiero agradecer inicialmente a Dios por haberme permitido culminar este trabajo y convertirme en profesional.

Quiero expresar mi más grande y profundo agradecimiento a mis padres y a mi hermana, quienes me han dado su apoyo incondicional, motivándome constantemente en todo momento durante mi formación académica.

Al Ing. Luis González y al Ing. Juan Espinoza por aceptar dirigir esta tesis, su esfuerzo, apoyo, confianza y amistad es invaluable para mí.

A todos los profesores, amigos y al personal de laboratorio que me han brindado sus conocimientos y contribuyeron con mi formación profesional.





## DEDICATORIA

A mis padres, Marcelo y Cecilia y a mi hermana María Cecilia porque gracias a ustedes hoy puedo alcanzar este logro, es gracias a su apoyo, consejos, valores y el amor brindado durante toda esta etapa. Este logro es por ustedes y para ustedes.



Universidad de Cuenca

## **1. CAPÍTULO 1**

### **1.1. Introducción**

El crecimiento económico de los países industrializados, se fundamentó en disponer del petróleo como fuente de energía debido a su precio y a su abundancia. Sin importar, las críticas de que el crecimiento energético no se podía mantener indefinidamente en base al petróleo, fue hasta la primera crisis del precio del petróleo y los múltiples incidentes de falta de abastecimiento eléctrico en países de todo nivel de desarrollo, que la sociedad tomó conciencia en las limitaciones de las reservas petroleras. El crecimiento de la demanda energética y la producción del petróleo se han duplicado cada 10 años, la incertidumbre es grande debido a que no se tiene datos concretos de las reservas petroleras de los países productores. (IEA, 2010).

El motor de la economía global es la energía, por lo cual, nuestro entorno muestra cada vez un incremento en las necesidades energéticas lo que conlleva a buscar nuevas alternativas tecnológicas para la generación de electricidad que sean más amigables al medio ambiente. Entre las muchas ventajas que las energías renovables presentan, se pueden destacar la reducción de contaminantes a la atmósfera y su disposición territorial más dispersa, que en algunos casos pueden encontrarse más cerca de sus consumidores.

La generación de electricidad a partir de energías renovables permite encaminar el desarrollo económico de los países sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, dado a la reducción de recursos no renovables. En el Ecuador, las fuentes de generación de electricidad han sido principalmente por las Hidroeléctricas de gran escala y las centrales de energía térmica, sin embargo, políticas públicas han promovido el cambio de la matriz energética, siendo este el punto de partida para mayor protagonismo de las energías renovables dentro de la matriz energética actual. Las energías renovables están divididas en dos grandes grupos, las convencionales (Hidroeléctricas de gran escala) y las no convencionales. En el último grupo, el estado ecuatoriano ha puesto mayor interés en las energías solar fotovoltaica, biomasa/biogás, eólica y geotérmica según las políticas impulsadas en (MEER, 2016). El presente trabajo se enfocará en el estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y la energía eólica a pequeña escala en localidades del austro ecuatoriano.



Universidad de Cuenca

El Ecuador es un país muy diverso en su flora y fauna, además, posee diferentes regiones, en donde los comportamientos del recurso eólico o solar presenta variaciones por las condiciones geográficas. Por lo tanto, se plantea en el presente trabajo realizar un estudio económico y técnico de estas fuentes energéticas, con sus respectivas tecnologías. La ventaja en este proyecto es que se estudia con información primaria obtenida en los últimos meses en los laboratorios de Irquis y Balzay de la Universidad de Cuenca. Adicionalmente, permitirá conocer el comportamiento que podría tener la generación a pequeña escala para el autoconsumo, cubriendo aspectos de gran interés en lo que hoy en día significa la producción de energía a partir de fuentes de energía renovable.

## **1.2. Alcance.**

El alcance del presente proyecto contempla, el análisis de los datos recopilados sobre los recursos energéticos, la evaluación técnica y económica de la tecnología solar fotovoltaica y mini-eólica a pequeña escala; de tal manera, que sea la base para considerar la opción de crear nuevos proyectos en la zona analizada en el presente trabajo.

La generación distribuida presenta grandes ventajas como: la reducción de pérdidas; reducir la carga de las líneas de transporte y aumentar la confiabilidad del sistema. Para lo cual, los resultados obtenidos permitirán aceptar o rechazar la implementación de las dos tecnologías estudiadas como fuentes de energía distribuida.

## **1.3. Objetivo general**

Comparar técnica y económicamente la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala con las diferentes tecnologías instaladas en los laboratorios de la Universidad de Cuenca.

## **1.4. Objetivos específicos**

- i. Evaluar el potencial eólico y solar existente en la zona.
- ii. Identificar la viabilidad de construir proyectos similares en la zona.
- iii. Comparar distintas técnicas de generación de energía eléctrica a partir de solar fotovoltaica y mini eólica.



Universidad de Cuenca

### **1.5. Metodología.**

El trabajo se realiza con dos diferentes metodologías, a fin de poder establecer comparaciones; teóricamente, esto se debe, a que, para el caso de la energía solar fotovoltaica, se disponen de datos de generación de electricidad y a partir de estos, se analizan la eficiencia en la conversión energética con la gran ventaja que para las diferentes tecnologías los datos recopilados fueron obtenidos bajo las mismas condiciones como: radiación solar, temperatura, nubosidad, etc. En cambio, para la generación mini eólica, únicamente se establece una producción energética estimada, dado a las medidas de la velocidad del viento a través de una función probabilística que emula el comportamiento de la velocidad a lo largo de un año. En cuanto, a la viabilidad económica la metodología que se va a utilizar es la evaluación de proyectos bajo los conceptos económicos de VAN, TIR y PAYBACK.

### **1.6. Contenido**

En el Capítulo 1, se presenta una descripción general del trabajo, así como la metodología propuesta, los objetivos que se pretenden lograr. Por su lado, el capítulo 2, recopila la información del estado del arte de las diferentes tecnologías que son objeto de estudio. La producción energética a partir de las dos fuentes de energías renovables no convencionales, las tecnologías instaladas en los laboratorios y el análisis de los datos obtenidos se presentan en el capítulo 3. En el capítulo 4 a partir, de la información recopilada en el capítulo anterior se evalúa económicamente las diferentes tecnologías en base a la normativa ecuatoriana vigente. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones se presentan el capítulo 5.



## **2. ESTADO DEL ARTE.**

En el presente capítulo en su primera parte contiene un análisis detallado de la matriz energética ecuatoriana, su evolución al incluir proyectos energéticos renovables y a partir de este análisis, se procede a desarrollar la base conceptual de las energías renovables no convencionales que son objeto de estudio del presente trabajo.

### **2.1. Energías Renovables No Convencionales en el Ecuador**

#### **2.1.1. Antecedentes.**

En los últimos años, el sector eléctrico ecuatoriano se ha convertido en una acción de política pública, en el cual, se ha tratado de garantizar un abastecimiento de energía eléctrica de calidad, confiable, segura, económica y eficiente, priorizando la utilización de energías renovables y optimizando la energía térmica con nuevas tecnologías y combustible de origen nacional. En base a esto, se construyó el embalse Mazar con el fin de fortalecer el complejo integral Paute, las centrales hidroeléctricas: San Francisco, Mazar, Ocaña y Baba aportando conjuntamente 468 MW; el 50% de los proyectos emblemáticos: Manduriacu, Alazán (Mazar Dudas), Sopladora y Coca Codo Sinclair con una capacidad total instalada de 2059 MW; se construyó el primer parque eólico Villonaco de 16.5 MW; el reemplazo de 600 MW de generación térmica ineficiente y la construcción de dos interconexiones a los países vecinos, Perú con 110 MW y Colombia con 525 MW. Como resultado, se obtuvo un incremento en la capacidad instalada del 102.1 % con respecto al año 2006, se pasó de tener 4076 MW a 8226 MW, generando un ahorro al país de 1000 millones de dólares anuales y se ha evitado la emisión al medio ambiente de 6.29 millones de toneladas de  $CO_2$ . (MEER, 2016)

#### **2.1.2. Generación y consumo de electricidad en el Ecuador.**

De los 8226 MW que se mencionó anteriormente el 86.03% (7076.82 MW) solo se encuentra incorporado al Sistema Nacional Interconectado (S.N.I). En la tabla 2-1 se observa la potencia nominal del parque generador del Ecuador y en la figura 2.1 los aportes que se puede tener de las interconexiones.



**Tabla 2-1 Potencia Nominal del parque generador del Ecuador.**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

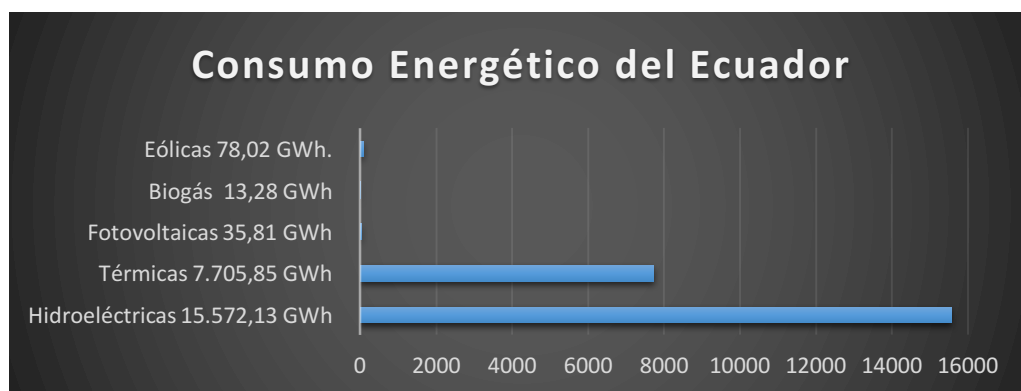
Sistema	Tipo de Central	Potencia Nominal	
		MW	%
S.N.I	Hidráulica	4440,7	53,98
	Eólica	16,5	0,2
	Térmica	2449,62	29,78
	Biomasa	144,3	1,75
	Fotovoltaica	24,46	0,3
	Biogás	2	0,02
	Total S.N.I	7077,58	86,03
No Incorporado	Hidráulica	5,66	0,07
	Eólica	4,65	0,06
	Térmica	1136,52	13,82
	Fotovoltaica	2,02	0,02
	Total No Incorporado	1148,84	13,97
Total		8226,42	100



**Figura 2-1 Aporte de las Interconexiones.**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

En el S.N.I, el aporte de los diferentes tipos de centrales fue el siguiente: hidroeléctricas 15.572,13 GWh, térmicas 7.705,85 GWh, fotovoltaicas 35,81 GWh, biogás 13,28 GWh y eólicas 78,02 GWh. El cual indica, que a pesar que Ecuador es un país rico en recursos energéticos renovables, el único que se utiliza es el hídrico, ver figura 2-2.



**Figura 2-2 Consumo Energético del Ecuador.**

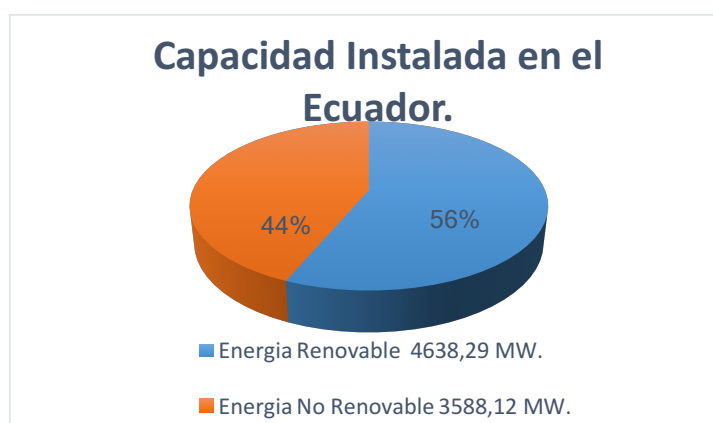
Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

### 2.1.3. Fuentes de energías renovables en el Ecuador.

Las aplicaciones, ventajas y el aprovechamiento de las energías renovables son importantes debido a la contribución en investigación, innovación y desarrollo sostenible.

Los beneficios para las población actual y futura que dependen directamente de la energía son inconmensurables, debido a que sus fuentes energéticas son inagotables, reducen emisiones de los gases de efecto invernadero, no desgastan la capa de ozono y son aplicables en la agroindustria, transporte, comunicaciones, etc. Por lo cual, políticas públicas han considerado las energías renovables como alternativas para el desarrollo económico, social y ambiental del país

En la siguiente figura 2-3, se observa que porcentajes de las energías renovables ocupan en la matriz energética.



**Figura 2-3 Capacidad Instalada en el Ecuador**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

Universidad de Cuenca

Es muy importante recalcar, que de los valores mostrados en la figura 2-3, el 99.74% energía renovable y el 68.4% de energía no renovable instalada en el Ecuador se encuentran conectadas al S.N.I. (MEER, 2016)

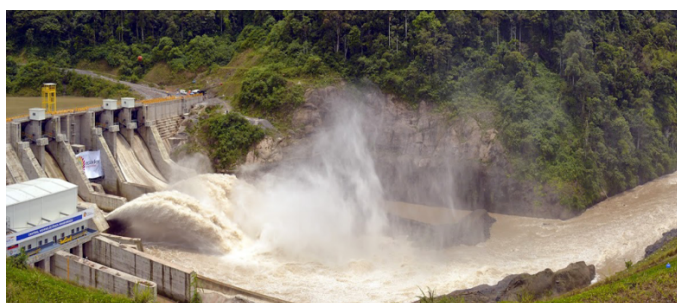
La capacidad efectiva de generación con fuentes de energía renovable alcanza los siguientes valores, que se muestran en la tabla 2-2:

**Tabla 2-2 Capacidad efectiva de generación con fuentes de energía renovable.**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

Tipo	Con embalse		Sin embalse		Subtotal	
	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)
Hidroeléctrica	5	1.60	57	2.82	62	4.42
Biomasa	-	-	-	-	4	138
Eólica	-	-	-	-	3	21
Solar	-	-	-	-	32	26
<b>SUBTOTAL</b>					<b>101</b>	<b>4.60</b>

En la figura 2-4 y 2-5 se observa la central hidroeléctrica Manduriacu y la central solar Altgenotec respectivamente.



**Figura 2-4 Central hidroeléctrica de pasada Manduriacu.**

Fuente: Arconel.



**Figura 2-5 Central solar fotovoltaica Altgenotec, Guayas. (990kWp)**

Fuente: Arconel.





### 2.1.4. Proyección de la demanda en bornes de generación del S.N.I.

Historialmente, se ha vinculado al crecimiento económico con el crecimiento del consumo energético. Lo cual, crea una relación directa entre acumulación de capital y la disponibilidad de fuentes suficientes y confiables de energía.

Los resultados de proyección de la demanda en bornes de generación de la energía y potencia son los siguientes:

1. A partir del 2023 se observa un crecimiento del 13.4% de energía y 12.4% de potencia.
2. Durante el periodo (2016-2025) se presenta crecimientos anuales del 8.2% de energía y del 7.7% de potencia.

Estos valores se deben a los requerimientos de industrias básicas y de la refinería del pacifico. (MEER, 2016)

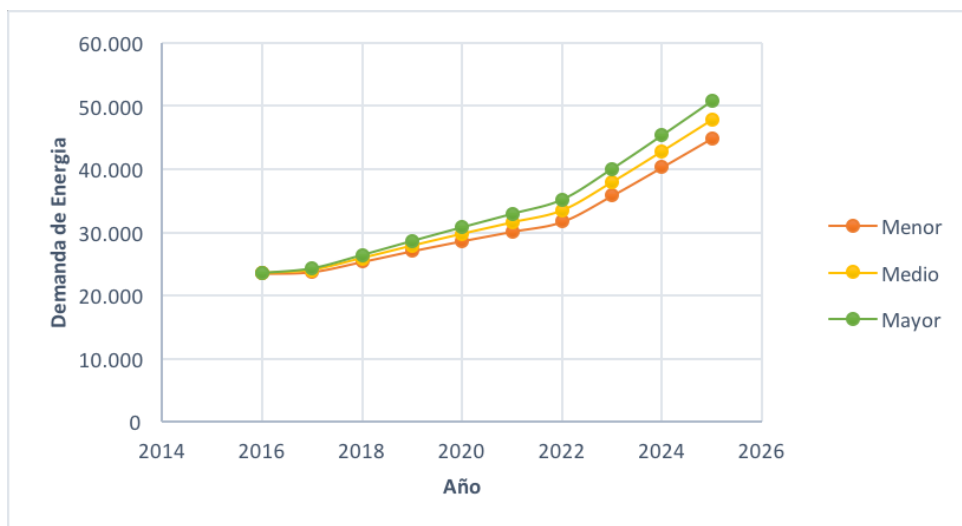
Los valores antes expuestos se muestran en la tabla 2-3, tabla 2-4 respectivamente.

**Tabla 2-3 Demanda anual de energía eléctrica**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016

PREVISIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BORNES DE GENERACIÓN DEL SNI.						
AÑO	DEMANDA DE ENERGÍA (GWh)			TASAS DE CRECIMIENTO (%)		
	CRECIMIENTO			CRECIMIENTO		
	Menor	Medio	Mayor	Menor	Medio	Mayor
2016	23.518	23.518	23.518			
2017	23.800	24.050	24.272	1,20%	2,30%	3,20%
2018	25.395	25.917	26.380	6,70%	7,80%	8,70%
2019	27.088	27.881	28.609	6,70%	7,60%	8,40%
2020	28.669	29.765	30.782	5,80%	6,80%	7,60%
2021	30.164	31.579	32.916	5,20%	6,10%	6,90%
2022	31.721	33.497	35.188	5,20%	6,10%	6,90%
2023	35.837	37.999	40.074	13,00%	13,40%	13,90%
2024	40.329	42.901	45.395	12,50%	12,90%	13,30%
2025	44.898	47.906	50.854	11,30%	11,70%	12,00%
Crec. 2016-2025	7,45%	8,23%	8,95%			

De forma gráfica en la figura 2-6, se puede observar el crecimiento elevado en la proyección de la demanda de energía a partir del año 2022



**Figura 2-6 Proyección de la demanda de energía en el periodo (2016-2025)**

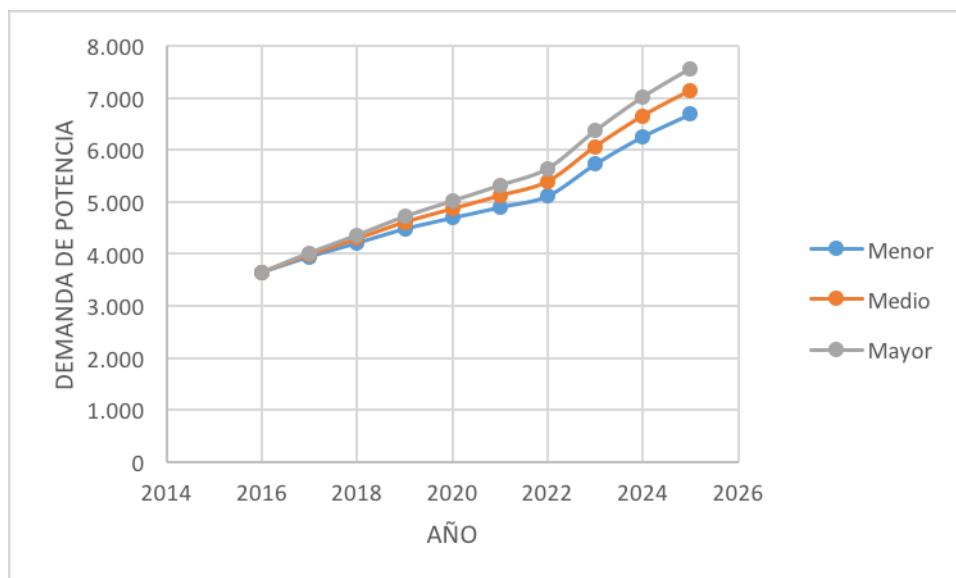
Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016

**Tabla 2-4 Demanda anual de potencia eléctrica**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016.

PREVISIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE POTENCIA ELÉCTRICA EN BORNES DE GENERACIÓN DEL SNI.						
AÑO	DEMANDA DE POTENCIA (MW)			TASAS DE CRECIMIENTO (%)		
	CRECIMIENTO			CRECIMIENTO		
	Menor	Medio	Mayor	Menor	Medio	Mayor
2016	3.653	3.653	3.653			
2017	3.948	3.988	4.022	8,10%	9,20%	10,10%
2018	4.211	4.295	4.364	6,70%	7,70%	8,50%
2019	4.481	4.610	4.718	6,40%	7,30%	8,10%
2020	4.691	4.867	5.017	4,70%	5,60%	6,30%
2021	4.895	5.120	5.316	4,30%	5,20%	6,00%
2022	5.115	5.396	5.642	4,50%	5,40%	6,10%
2023	5.724	6.064	6.363	11,90%	12,40%	12,80%
2024	6.252	6.653	7.010	9,20%	9,70%	10,20%
2025	6.684	7.144	7.560	6,90%	7,40%	7,90%
Crec. 2016-2025	6,95%	7,74%	8,42%			

En la figura 2-7, se observa el crecimiento elevado en la proyección de la demanda de potencia a partir del año 2022



**Figura 2-7 Proyección de la demanda de potencia en el periodo (2016-2025)**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016

Debido al inminente crecimiento de la demanda, las diferentes políticas públicas y decisiones gubernamentales han considerado: la creación de proyectos que satisfagan la demanda por lo cual, se construye 18 proyectos que conjuntamente aportaran 1043 MW, la mayoría de ellos con fuentes renovables. Además se encuentra el proyecto hidroeléctrico Paute-Cardenillo de 3409 MW declarado de alta prioridad. Los proyectos se encuentran detallados en la tabla 2-5. El proyecto Delsitanisagua desde el 12 de octubre del 2018, se encuentra ya en etapa de operación comercial, es decir aportando al S.N.I. En cambio, el proyecto Minas San Francisco se encuentra en etapa de operación experimental. (GENSUR, 2018)



**Tabla 2-5 Proyectos en construcción y de alta prioridad.**

Fuente: Elaboración propia datos del PME 2016

Proyectos	Empresa / Institución	Inversión	Tipo	Potencia [MW]	Provincia
<b>EN CONSTRUCCION</b>					
Toachi - Pilatón(Sarapullo 49 MW,Alluriquín 205,4 MW)	CELEC EP - Hidrotoapi	Pública	Hidroeléctrico	254,4	Pichincha/Cotopaxi.
El Inga II	Gas Green S.A.	Privada	Biogás	3	Pichincha
Machala Gas Tercera Unidad	CELEC EP - Termo gas Machala	Pública	Termoeléctrico	77	El Oro
Minas - San Francisco	CELEC EP - Enerjubones	Pública	Hidroeléctrico	275	Azuay / El Oro / Loja
Chorrillos	CELEC EP - Gensur	Pública	Hidroeléctrico	4	Zamora Chinchipe
Minas de Huascachaca	Elecaastro S.A.	Pública	Eólica	50	Loja
Mazar- Dudas: San Antonio	CELEC EP - Hidrozogues	Pública	Hidroeléctrico	7,2	Cañar
Palmira Nanegal	Hidroequinoccio EP	Pública	Hidroeléctrico	10	Pichincha
San José de Minas	San José de Minas S.A.	Privada	Hidroeléctrico	6	Pichincha
Machala Gas Ciclo Combinado	CELEC EP - Termo gas Machala	Pública	Termoeléctrico	110	El Oro
Due	Hidroalto Generación de Energía S.A.	Privada	Hidroeléctrico	49,7	Sucumbíos
Río Verde Chico	Hidrosierra S.A.	Privada	Hidroeléctrico	10,2	Tungurahua
Quijos	CELEC EP - Coca Codo Sinclair	Pública	Hidroeléctrico	50	Napo
Sigchos	Hidrosigchos C.A.	Privada	Hidroeléctrico	18,6	Cotopaxi
Pusuno	Elitenergy S.A.	Privada	Hidroeléctrico	39,5	Napo
Sabanilla	Hidrelgen S.A.	Privada	Hidroeléctrico	30	Zamora Chinchipe
Normandía	Hidrowarm S.A.	Privada	Hidroeléctrico	48,2	Morona Santiago
Delsitanisagua	CELEC EP ENERJUBONES	Pública	Hidroeléctrico	180	Zamora Chinchipe
SUBTOTAL				1223	
<b>ALTA PRIORIDAD</b>					
Paute-Cardenillo	CELEC EP- Hidropaute	Pública	Hidroeléctrico	3409	Morona Santiago
SUBTOTAL				3409	
TOTAL				4632	



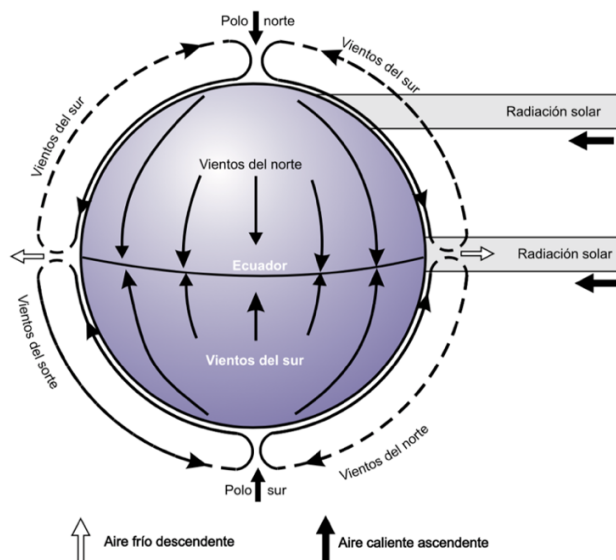
## 2.2. Energía Eólica

La energía eólica transformada en energía mecánica ha sido utilizada históricamente en molinos para triturar cereales y para bombeo de agua. Últimamente, con las diferentes tecnologías se han desarrollado para obtener energía eléctrica limpia. Para la obtención de este resultado, se deben asociar 4 aspectos decisivos. Primero la necesidad por el agotamiento de recursos fósiles. Segundo el gran potencial existente. Tercero la capacidad tecnológica para realizar aerogeneradores cada vez más eficientes. Y por último los esfuerzos políticos que en los últimos años han estado ligados a crisis energéticas, las cuales han facilitado la implementación de la energía eólica.

### 2.2.1. Origen del viento

El viento es una consecuencia indirecta de la radiación solar. Debido, básicamente a la forma redonda de la tierra la cual, influye en el calentamiento desigual de la superficie terrestre. Los rayos solares inciden en los polos oblicuamente y en el ecuador perpendicularmente por lo que, el calentamiento es menor en los polos que en el Ecuador. Estas variaciones de temperatura crean una diferencia de presiones moviendo al aire desde las altas presiones hacia las bajas, la fuerza del gradiente de presión vertical se cancela con la fuerza gravitacional. Por lo cual, el viento sopla en su mayoría en el plano horizontal debido a los gradientes horizontales de presión. Figura 2-8.

Las diferentes fuerzas relacionadas con el cambio de temperatura, la gravedad, condiciones topográficas y la fuerza Coriolis debido a la rotación actúan sobre la superficie de la tierra dando lugar a parámetros del viento como frecuencia, dirección y velocidad. Otro factor que influye es el tipo de terreno, porque determina la forma del perfil vertical del viento.



**Figura 2-8 Circulación atmosférica.**

Fuente: ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil)

### 2.2.2. Efecto Coriolis.

Es la representación de la fuerza inercial que se produce sobre objetos en movimiento en un escenario giratorio. Esta fuerza aparentemente hace que los cuerpos que se mueven en coordenadas giratorias se desvíe de su trayectoria. El aire parece desviarse o curvarse en patrones circulares que van de zonas de alta a baja presión.

El efecto Coriolis varía de acuerdo con la latitud. En el hemisferio norte se crea una fuerza aparente que hace que el viento se deflexione hacia la derecha, mientras que en el hemisferio sur el viento se deflexiona a la izquierda. En el Ecuador no existe deflexión.

### 2.2.3. Efectos topográficos

La superficie terrestre, presenta una variabilidad considerable que incluye océanos y extensiones de tierra. Estas diferentes superficies afectan el flujo de aire variado presión y absorción de la radiación solar. Los océanos actúan como sumideros de energía, originando casos de especial interés como brisa marina hacia tierra, brisas marinas hacia mar y el efecto tierra mar. La inercia térmica del océano causa cambios térmicos más lentos que los que ocurren sobre la tierra. Durante el día, la tierra se calienta más que el mar haciendo que el viento sople del mar hacia la tierra. En la noche y el amanecer ocurre lo contrario el viento sopla de la tierra hacia el mar debido a que la tierra se enfría mucho más rápido que el mar.

Los vientos en valles y montañas se producen por un fenómeno parecido. Algunas laderas reciben mayor insolación durante el día debido a su ubicación y pendiente que otras. Estos vientos soplan del valle hacia la montaña durante el día y de la montaña al valle durante la noche.

Los pasos entre las montañas también ofrecen un efecto de aceleración, funcionan de manera similar a un Venturi que establece que la velocidad aumenta cuando la sección por la que pasa disminuye.

Por último, el rozamiento de la superficie terrestre ejerce también una fuerza sobre el viento que distorsiona su movimiento, frenándolo según las características del suelo y desviándolo hacia regiones de baja presión. (OJEDA, 2013)

#### 2.2.4. Instrumentos de medición

La velocidad del viento es la medida más importante de este recurso, cubre una unidad de distancia sobre una de tiempo con respecto a la superficie terrestre. El instrumento que mide la velocidad del viento es el anemómetro, siendo el más común el anemómetro de cazoletas

Los diseños actuales de este tipo de instrumento tienen tres cazoletas montadas sobre un pequeño eje, que varía en proporción a la velocidad del viento generando una señal. El flujo del viento genera un desplazamiento (distancia) que se mide con contadores mecánicos o variadores de voltaje y este valor se divide para el tiempo para obtener el valor de la velocidad.

La dirección del viento es un indicador de donde proviene el viento (orientación), para medir su dirección se emplea una veleta.

En la figura 2-9, se observa los elementos de medición: anemómetro y veleta.

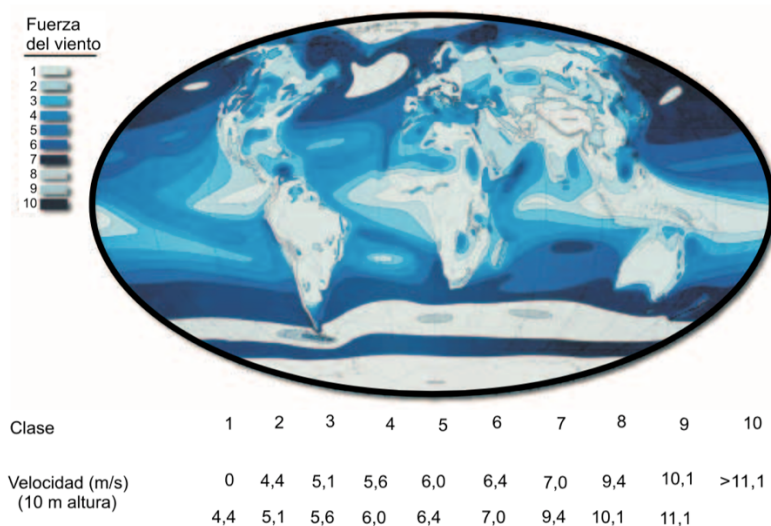


**Figura 2-9 Anemómetro de cazoletas (izquierda) y veleta (derecha)**

Fuente: (MEER, ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica, 2014)

### 2.2.5. Potencial del viento a escala global

De toda la energía solar que llega a la tierra solo el 2% se convierte en energía eólica. En general, los vientos distribuyen una gran cantidad de energía que va entre  $2.5 \times 10^5$  y entre  $5.0 \times 10^5$  kWh pero, solo una cantidad reducida puede ser aprovechada debido a que se presenta en una forma diluida. ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil) En la figura 2-10 se visualiza la distribución estimada del potencial eólico del mundo.



**Figura 2-10 Distribución estimada de la velocidad del viento**

Fuente: (Fuente: US-DOE y NREL).

### 2.2.6. Tipos de viento

El campo que más tiene conocimiento en la descripción del viento es el náutico por lo cual, se tiene dos escalas propias para este campo. Una de ellas es el nudo que es igual a una milla náutica por hora o 1.852 km/h y la otra la escala de Beaufort que asigna números del 1 al 12 para estimar la velocidad del viento en función del aspecto de la superficie del mar.

En la tabla 2-6 se visualiza la escala de Beaufort en donde cada escala viene acompañado de la velocidad y su denominación.





**Tabla 2-6 Escala Beaufort.**

Fuente: (Pelaéz Samaniego & Espinoza Abad)

Número Beaufort	Velocidad (km/h)	Denominación
0	<1	Calma
1	2– 5	Ventolina
2	6 – 11	Brisa ligera
3	12 – 19	Brisa suave
4	20 – 28	Brisa moderada
5	29 – 38	Brisa fresca
6	39 – 49	Brisa fuerte
7	50 – 61	Temporal moderado
8	62 – 74	Temporal fresco
9	75 – 88	Temporal fuerte
10	89 -102	Ventarrón
11	103 – 117	Tormenta o Borrasca
12	> 118	Huracán

### 2.2.7. Descripción del recurso eólico del Ecuador

Según el atlas eólico del Ecuador los vientos dominantes sobre el país son los alisios (vientos constantes que soplan del NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur), que proviene del Este cruzando todo el continente. La topografía del Ecuador divide en 4 zonas con diferentes particularidades: La zona Amazónica en la que la amplia vegetación disminuye la velocidad del viento. La zona de la Sierra en donde la cordillera de los andes influye en la aceleración de los vientos, sin embargo, se produce en zonas muy altas de difícil acceso. Tercera la zona de la Costa donde actúan las brisas del océano y las circulaciones valle- montaña por la influencia de la zona de la Sierra dan lugar a una variación mayor del recurso. Y por último, el archipiélago de Galápagos donde los vientos son menos perturbados que el resto del continente pero con intensidad baja.

El potencial eólico eléctrico bruto del país es de 1.670 MW, considerando zonas con una velocidad de viento promedio anual mayor a 7 m/s, el que generaría una energía media de 2.869 GWh. El potencial factible a corto plazo de potencia instalable es de 884 MW y energía media anual de 1.518 GWh. El potencial eólico eléctrico bruto para la provincia del Azuay es de 294.75 MW con una energía media anual de 506.7 GWh. En cambio, el potencial factible es 101.77 MW con una energía



Universidad de Cuenca

promedio anual de 174.74 GWh. (MEER, ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica, 2014)

### 2.2.8. Energía eólica a pequeña escala

Sin duda, los avances tecnológicos en la energía eólica han permitido crear maquinas muy grandes en potencia y tamaño aportando a los sistemas eléctricos de diferentes países. Sin embargo, existe aerogeneradores de menor tamaño y potencia que son aplicables a nivel doméstico o industrial. La clasificación de la energía eólica depende básicamente del tamaño de la turbina eólica y la velocidad del viento, los cuales, son factores decisivos para evaluar la producción energética. La energía eólica a pequeña escala se considera hasta los 100 kW y se divide en 3 categorías, visualizadas en la tabla 2-7. Los niveles de potencia que maneja la energía eólica a pequeña escala son bajos, comparando con los sistemas grandes de generación conectados a la red, por lo cual, su uso está destinado a sitios donde se requiere generar energía suficiente para satisfacer demandas de un hogar, oficinas, industrias, etc. La energía eólica a pequeña escala es usada en zonas rurales donde las redes de distribución no pueden llegar.

**Tabla 2-7 Categorías de la energía eólica a pequeña escala.**

Fuente: (CIEMAT, 2014)

Categoría	Área de Barrido	Potencia Nominal (kW)
Pico eólico	$A < 4.9m^2$	$P < 1kW$
Micro eólica	$A < 40m^2$	$1kW < P < 7 kW$
Mini eólica	$A < 200m^2$	$7kW < P < 50kW$
	$A < 400m^2$	$50kW < P < 100kW$

### 2.2.9. Descripción de una instalación eólica.

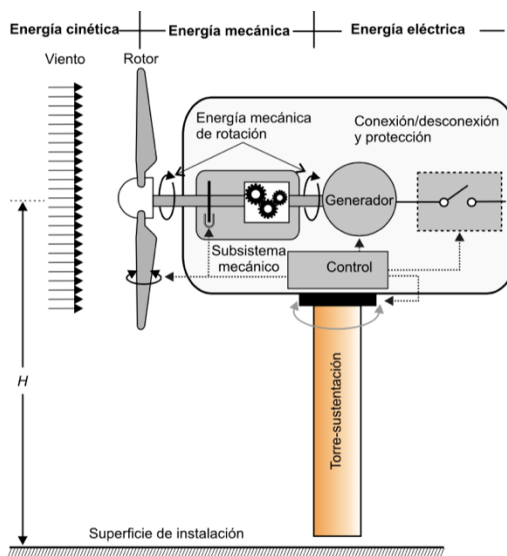
Un parque eólico es un conjunto de aerogeneradores que se encuentran cercanos entre sí, compartiendo un punto común de conexión a la red eléctrica, su ubicación es primordial para el aprovechamiento del recurso eólico.

Tanto en el campo de la pequeña escala de energía eólica (mini eólica) como los sistemas de gran potencia, la energía eólica puede competir, si los resultados son adecuados comparándolos con los otros sistemas convencionales de generación. Sin duda, los limitantes que tiene este tipo de energía es el desconocimiento de esta tecnología y la falta de incentivos.

### 2.2.9.1. Aerogeneradores

Los aerogeneradores o turbinas eólicas son dispositivos cuya función es captar la energía cinética del viento para transformarla en energía mecánica y a través de un generador eléctrico esta energía mecánica es transformada en energía eléctrica. Ver figura 2-11.

Existen dos tipos de aerogeneradores los de eje vertical y de eje horizontal, sin embargo, el principio de operación es el mismo. La energía eólica es captada por la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje mediante el rotor. Según el principio aerodinámico, el aire está obligado a fluir por las caras superiores e inferiores generando una diferencia de presiones, las cuales originan una fuerza resultante que actúa sobre la pala haciéndola girar.



**Figura 2-11 Transformaciones de energía de un Aerogenerador.**

Fuente: ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil)

A continuación, se describe las partes de un aerogenerador.

- **Torre:**

La torre es la encargada de soportar tanto el rotor como la nacela o góndola, pueden ser tubulares, de celosía haladas por cable o híbrida. La torre juega un papel crítico en el aprovechamiento de energía a mayor altura mayor captación de energía. La altura de la torre es la referencia para los cálculos de producción y valoración del recurso eólico.



Universidad de Cuenca

- **Rotor:**

El rotor es la parte que se encarga de extraer la energía del viento. La potencia nominal de la turbina depende del tamaño del diámetro del rotor.

- **Góndola:**

La góndola conecta la torre con el rotor donde se instalan los alabes, lleva en su interior la caja multiplicadora o engranajes, el generador, los sistemas de medición, control, frenado y regulación.

- **El multiplicador:**

El multiplicador permite que el eje de alta velocidad gire  $n$  veces más rápido que el de baja velocidad. ( $n$  depende de la caja de engranajes), puede estar o no presentes, dependiendo de la tecnología utilizada.

- **Eje de baja velocidad (primario):**

Se trata de un eje que conecta el buje del rotor al multiplicador.

- **Buje del rotor:**

Es el elemento al que van unidas las palas. Situado en la parte frontal del aerogenerador, acoplado al eje de baja velocidad, es el único elemento exterior que gira.

- **Eje de alta velocidad:**

Si gira con la velocidad adecuada es el que permite que el generador eléctrico funcione. Dicha velocidad equivale aproximadamente a 1500 revoluciones por minuto. (Ojeda)

- **Generador eléctrico:**

Se considera un generador eléctrico es el dispositivo que transforma energía mecánica en eléctrica. En los aerogeneradores, el generador suele ser asíncrono o de inducción. La curva de potencia describe el comportamiento del generador en función de la velocidad del viento.

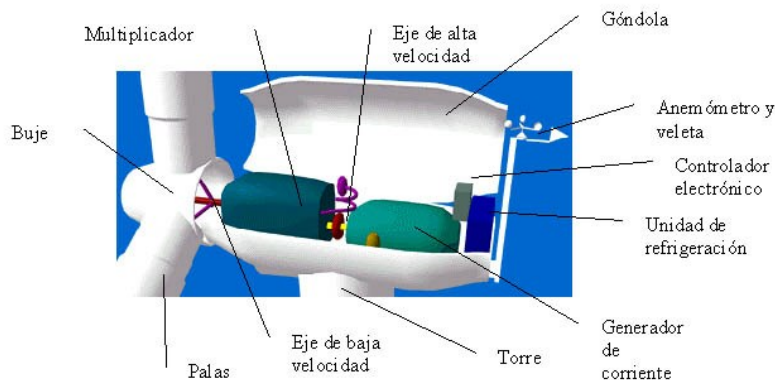
- **Las palas del rotor:**

Son las responsables de "capturar" el viento y transmitir su potencia al buje.

- **La unidad de refrigeración:**

Consiste en un ventilador eléctrico que enfría el generador y multiplicador, puede estar o no presente depende de la capacidad del aerogenerador.

Las partes que conforman un aerogenerador se observa en la figura 2-12.



**Figura 2-12 Partes de un aerogenerador.**

Fuente: <https://centraleolica.wordpress.com>

### **2.2.9.1.1. Aerogeneradores de eje horizontal**

Son máquinas eólicas cuyo eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, son las más usadas, investigadas y desarrolladas. Han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión, ya que, su velocidad y potencia pueden ser controlados por medio de la rotación de las palas a lo largo de su eje. Se puede clasificar de varias maneras, tales como: número de palas, orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada.

#### **2.2.9.1.1.1. Aerogeneradores según el número de palas**

##### **2.2.9.1.1.1.1. Aerogeneradores monopala**

Al tener una sola pala este tipo de aerogenerador desencadena una serie de inconvenientes entre los que podemos destacar: Reducción de la vida útil, debido a que se necesita una mayor velocidad de viento causando esfuerzos mecánicos para lograr el giro y además de ser un contaminante de tipo visual también genera mucho ruido (contaminación acústica).

##### **2.2.9.1.1.1.2. Aerogeneradores bipala**

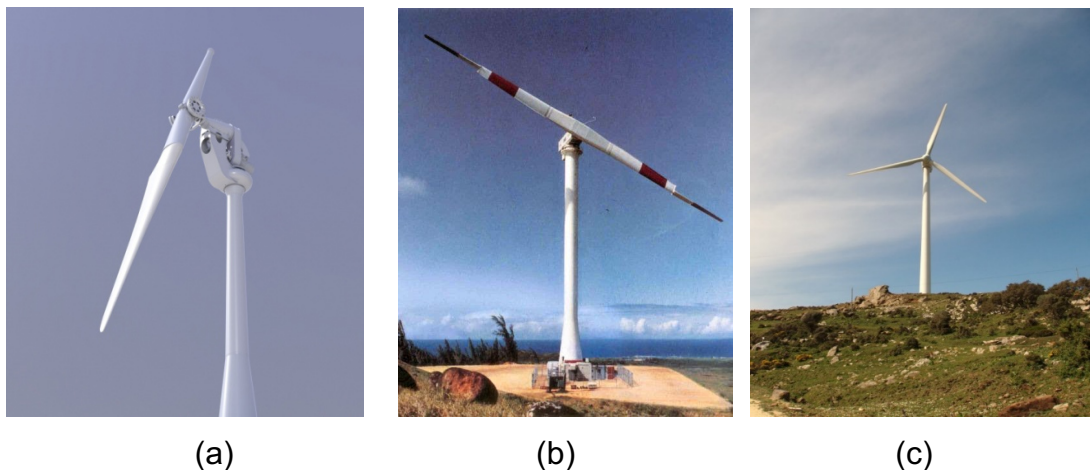
Las dos palas que presenta este modelo de aerogenerador hacen que sea un diseño más complejo, por ende, es más liviano y económico que el monopala, sin embargo su diseño también necesita velocidades altas de viento para lograr el giro.

##### **2.2.9.1.1.1.3. Aerogeneradores tripala**

En la actualidad este modelo de tres palas es el más usado y el más comercial, cada pala está separada entre si  $120^\circ$ . Este diseño danés rinde un 4% más que el modelo bipala y un 10% más que el monopala. (ECOVIVE, 2016)

Universidad de Cuenca

En la figura 2-13 se puede observar los diversos aerogeneradores según el número de palas.



**Figura 2-13 Aerogeneradores de eje horizontal según el número de palas**

**(a):Aerogenerador Monopala.**

**(b):Aerogenerador Bipala.**

**(c):Aerogenerador Tripala.**

Fuente: [www.renovablesverdes.com](http://www.renovablesverdes.com)

#### **2.2.9.1.1.2. Aerogeneradores según la orientación respecto a la dirección del viento.**

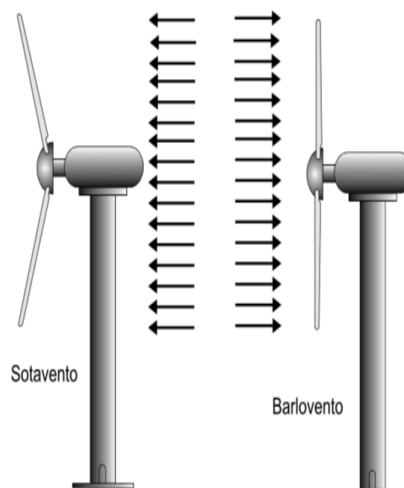
##### **2.2.9.1.1.2.1. Aerogeneradores orientados a barlovento (proa)**

En el caso de palas a proa los sistemas de orientación son imprescindibles; en molinos pequeños se emplean las clásicas colas de orientación pero en los grandes se prefieren los servomecanismos además, están ubicados de tal manera que el rotor se encuentra con enfoque directo o de frente a la dirección dominante del viento, aprovechando de mejor manera la fuerza del mismo. Con fines de generación eólica los más usados son los tripala orientados a barlovento.

##### **2.2.9.1.1.2.2. Aerogeneradores orientados a sotavento (popa)**

Los rotores con palas a popa se encuentran ubicados en sentido contrario a la dirección dominante del viento. En principio no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas en juego tienden a orientarlo naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar vibraciones.

La figura 2-14 muestra la clasificación según la orientación.



**Figura 2-14 Aerogeneradores de eje horizontal orientados respecto a la dirección del viento.**

Fuente: ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil)

### 2.2.9.1.2. Aerogeneradores de eje vertical

Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento, la ventaja principal de estos aerogeneradores es que no requieren de sistemas de orientación. Su disposición permite colocar los sistemas de conversión (generador, multiplicador, etc.), prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, lo que representa un ahorro económico en montajes y mantenimiento, sin embargo, para realizar tareas de mantenimiento es necesario un desmontaje total del aerogenerador. El punto en contra más significativo e importante es el eléctrico, debido a su baja producción energética, por ende, baja eficiencia. Los aerogeneradores de eje vertical se pueden clasificar de la siguiente forma.

#### 2.2.9.1.2.1. Aerogeneradores Savonius

El rotor Savonius está conformado por dos o más semicilindros colocados alrededor del eje su funcionamiento se da por arrastre, tiene un alto par de arranque pero su eficiencia es baja. Son económicos y de fácil construcción lo que le hace práctico en aplicaciones de potencias pequeñas. Un aerogenerador con estas características se observa en la figura 2-15



**Figura 2-15 Aerogeneradores Savonius**

Fuente: <http://opex-energy.com/>

#### 2.2.9.1.2.2. Aerogeneradores Darrieus

Está conformado por dos palas o más en curva unidas al eje simétricamente, que están asentados sobre el rotor, comercialmente ha tenido mucho más éxito que los Savonius, ya que alcanza mayores velocidades y rendimientos. La desventaja es que este tipo de tecnología es que tiene un par de arranque nulo, por lo cual, necesita un sistema de arranque externo. Técnicamente no alcanza la eficiencia de los de eje horizontal. Ver figura 2-16.



**Figura 2-16 Aerogeneradores Darrieus**

Fuente: <http://opex-energy.com/>





### **2.2.9.2. Red de conexión eléctrica**

La conexión eléctrica de los aerogeneradores de un parque eólico consiste en interconectar adecuadamente los aerogeneradores, para minimizar el coste del cableado y las pérdidas en las líneas hasta la subestación.

El cableado se realiza subterráneo para evitar problema con los aerogeneradores y por seguridad.

### **2.2.9.3. Subestación eléctrica**

Cada ramal de la red eléctrica que une los aerogeneradores de un parque eólico llega a una subestación donde se eleva la tensión para transmitir la energía a la red de transporte, ya sea una red de transmisión en alta tensión o una red de distribución en media tensión.

## **2.3. Energía Solar Fotovoltaica**

Las energías renovables no solo aportan beneficios ambientales, también contribuyen al desarrollo local de la zona al potenciar los recursos propios de tal manera que sea una fuente inagotable de energía en el futuro.

La energía solar fotovoltaica, consiste en la transformación de la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrica en corriente directa (dc), la cual puede ser almacenada en baterías o convertida en corriente alterna (ac) a través de inversores. Sin duda, esta energía es la que menor impacto ambiental presenta, debido a que reducen agentes contaminantes ( $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ) y se caracteriza por que su fuente externa el sol es inagotable y no necesita un amplio mantenimiento. De las diferentes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, los sistemas conectados a la red son sin duda, una alternativa prometedora en las energías renovables.

### **2.3.1. Radiación Solar**

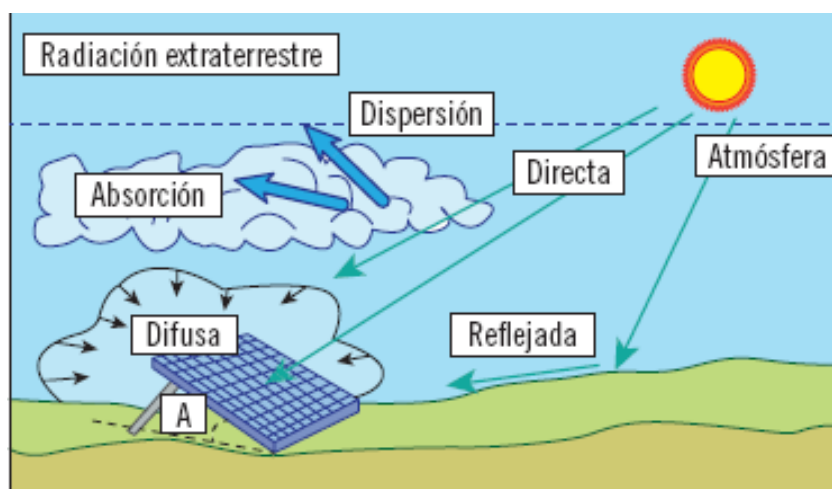
El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de  $5500^{\circ}C$  y produce una cantidad de energía constante que se transmite al exterior a través de la radiación solar. La potencia de radiación del sol emitida sobre una superficie perpendicular fuera de la atmosfera es de  $1353 \frac{w}{m^2}$ , a este valor se lo conoce como constante solar. Sin embargo, este valor no es el que alcanza sobre la superficie terrestre ya que existen la influencia de diferentes fenómenos tales como: humanos, atmosféricos, formas topográficas de la tierra, latitud, los ciclos del día y la noche. Existe dos formas para aprovechar la radiación solar; la primera por medio del calor que se produce y la segunda por absorción de la radiación. La potencia de la radiación

Universidad de Cuenca

es cambiante todo el día por lo cual, a la energía incidente sobre unidad de tiempo y sobre unidad de superficie se le conoce como irradiancia ( $\frac{w}{m^2}$ ). ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil)

La energía solar que incide sobre la superficie terrestre se manifiesta en 2 maneras: directa y difusa. Ver figura 2-17

La diferencia entre estas es que la radiación directa llega al punto de aplicación sin reflexiones o refracción intermedias pudiendo concentrarse en dicho punto, en cambio, la difusa es emitida luego de atravesar o impactarse contra algún obstáculo experimentado los fenómenos de reflexión o refracción en las nubes o en los elementos atmosféricos o terrestre haciendo que la luz provenga de todas las direcciones imposibilitando su concentración.



**Figura 2-17 Componentes de la radiación solar.**

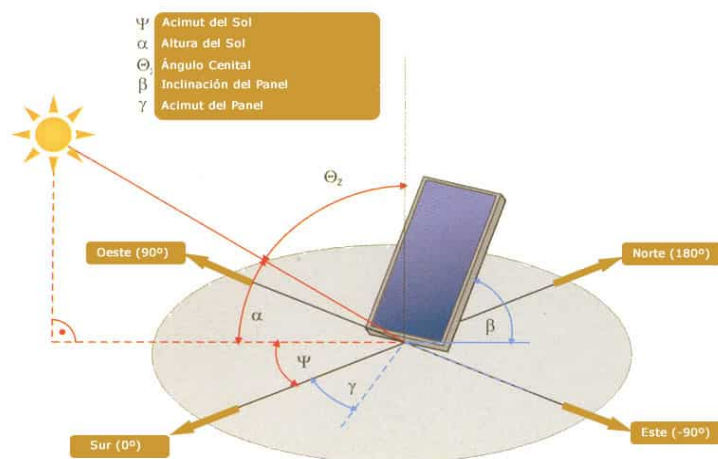
Fuente: <http://reader.digitalbooks.pro>

### 2.3.2. Geometría solar

Para el cálculo de una instalación solar fotovoltaica es indispensable conocer la irradiancia solar en el plano y la trayectoria del sol en las distintas temporadas del año, la cual, viene determinada por el azimut y la altura del sol. El azimut es el ángulo que forma un cuerpo con el norte respecto a la proyección horizontal del cuerpo. La orientación es definida mediante el azimut solar  $\Psi$  y el azimut del panel  $\gamma$ . En la figura 2-18 se observa la geometría solar. Donde  $\alpha$  es el ángulo formado por la posición aparente del sol y la horizontal al lugar de aplicación, el ángulo  $\beta$  es la inclinación del módulo. La posición del sol con respecto a un punto fijo es diferente a lo largo del día

Universidad de Cuenca

(debido al movimiento rotacional de la tierra) y en un día al otro en la misma hora (debido al movimiento traslacional de la tierra). El 21 de marzo fecha del equinoccio de otoño, el sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Después de unos días, estos puntos se desplazan hacia el Norte hasta el 21 de junio (Solsticio de Invierno), en donde, el sol alcanza su máxima altura. A partir del 21 de junio el sol se va alejando del Norte y acercándose hacia el Este y Oeste hasta el equinoccio de primavera (22 o 23 de septiembre). Luego se va acercando hacia el punto sur, hasta el 22 de diciembre solsticio de verano, donde el sol sale al sur desde el este. Figura 2-19.



**Figura 2-18 Geometría solar sobre una célula fotovoltaica.**  
Fuente: [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com)



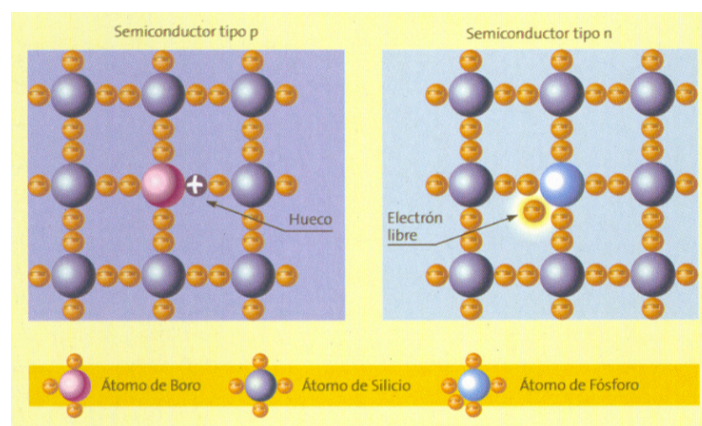
**Figura 2-19 Posición del sol en los cambios de estación.**  
Fuente: [www.astrofanaticos.com](http://www.astrofanaticos.com)

### 2.3.3. Irradiancia en superficies inclinadas

Basados en el concepto anteriormente descrito de irradiancia como medida de energía incidente sobre unidad de superficie. Se tiene que la radiación solar en una superficie perpendicular a la dirección de la propagación es siempre mayor en la misma superficie colocada en diferente ángulo. Durante el día, la altura y el azimut varían por lo que, el ángulo óptimo de incidencia sobre una superficie no es constante. Debido a esto, se usan tecnologías en las que el plano de incidencia varía en su orientación e inclinación.

### 2.3.4. Célula fotovoltaica

La conversión fotovoltaica es un proceso físico en el que transforma energía lumínica absorbida por un material en energía eléctrica. En los materiales semiconductores al absorber radiación electromagnética, generan en su interior pares de carga positiva (huecos  $h^+$ ) y negativa (electrones  $e^-$ ) que se mueven en el interior del mismo, para formar un campo eléctrico constante que separa las cargas se inserta dos láminas metálicas sobre ambas caras de la célula. Debido a esto se establece una diferencia de potencial entre dos zonas del material semiconductor por lo cual, si esta diferencia de potencial se conecta a un circuito externo en el instante de incidencia solar originará una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo, este fenómeno es conocido como efecto fotovoltaico. La célula fotovoltaica está formada por un material semiconductor en el que se ha realizado una unión p-n. Esta unión consiste en juntar un semiconductor p con uno n. La mayoría de estas células comerciales están hechas de silicio que es el segundo material más abundante en la tierra después del oxígeno, al que se le dopa con boro y fósforo para formar la unión p-n. En la figura 2-20 se observa el efecto fotovoltaico.



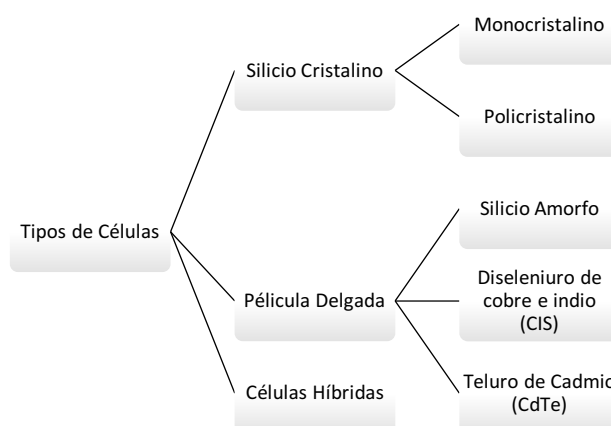
**Figura 2-20 Efecto Fotovoltaico**  
Fuente: (Apumayta, 2014)

### 2.3.5. Horas de sol pico (H.S.P)

Este concepto relacionado con la radiación solar es de gran interés al calcular la producción de un sistema fotovoltaico. Se puede definir a H.S.P como el número de horas equivalentes con una irradiancia de  $1000 \frac{w}{m^2}$  durante el día que en conjunto suman la misma irradiancia real total de ese día. Entonces, el valor de (H.S.P) al multiplicarlo por la potencia nominal del panel de la instalación y por un factor de pérdidas se tiene la producción energética.

#### 2.3.5.1. Tipos de células

Existen diferentes tipos de células como se detalla en la figura 2-21. El silicio se utiliza para la fabricación de células fotovoltaicas se presenta en 3 formas.



**Figura 2-21 Tipo de células solares**

Fuente: Elaboración propia datos de ( Carta Gonzalez, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil)

##### 2.3.5.1.1. Silicio monocristalinos

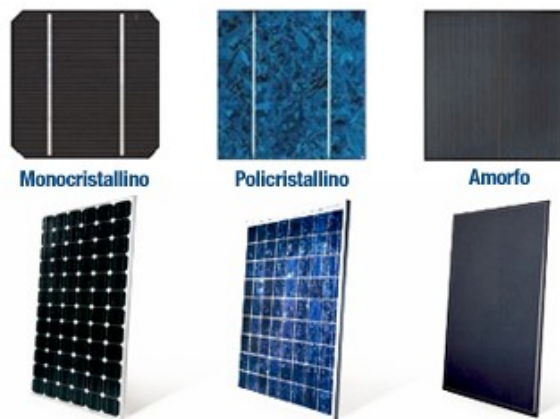
El silicio de lo cual está compuesto la célula, todos sus átomos están ubicados simétricamente con muy pocas imperfecciones debido, a que lleva solo una red cristalina. El proceso de cristalización es complicado y costoso pero esta tecnología es la que mayor porcentaje de rendimiento presenta (15-18%). (Carmona, 2010)

##### 2.3.5.1.2. Silicio policristalinos

El proceso de cristalización no es tan desarrollado como el anterior por lo cual, su precio y rendimiento son inferiores (12-14%). Su superficie está estructurada en cristales y presenta diferentes tonos azulados. (Carmona, 2010)

### 2.3.5.1.3. Silicio amorfo

En este caso, no existe una red cristalina pero, está conformado por una solución hidrogenada de silicio que posee la ventaja de ser absorbente y basta una delgada capa para captar la luz solar. Su precio y rendimiento son inferiores a los de composición cristalina (menor al 10%). (Carmona, 2010)

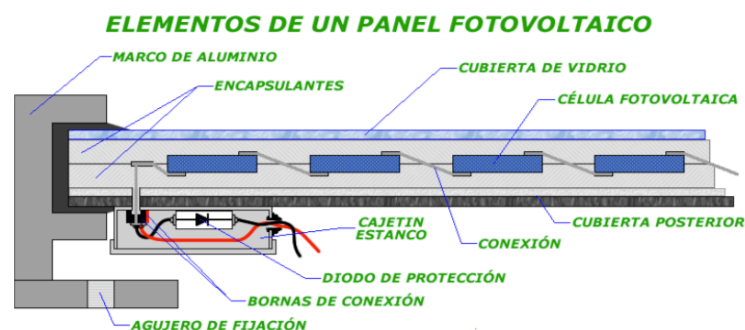


**Figura 2-22 Tipos de células fotovoltaicas.**

Fuente: [www.automa.solar](http://www.automa.solar)

### 2.3.6. Modulo fotovoltaico

Un panel o modulo solar está formado por la interconexión eléctrica de forma que la tensión y corriente sean ajustados a los valores deseados. La unión eléctrica puede ser en serie donde se suman los voltajes y se mantiene la corriente, en cambio, la unión en paralelo se suma las corrientes manteniendo constante el voltaje. La forma física del panel está estructurado de tal manera, que la célula este protegido tanto mecánicamente como eléctricamente ante agentes externos.



**Figura 2-23 Elementos de un panel fotovoltaico.**

Fuente: <https://www.ujaen.es>



### 2.3.6.1. Parámetros característicos

Los módulos fotovoltaicos vienen referenciados a una serie de parámetros eléctricos que dependen de condiciones climáticas estándares:

- Radiación solar  $1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura de la célula  $25^\circ\text{C}$
- Distribución espectral de la radiación incidente: AM 1.5 (masa de aire).

La razón de referenciar cualquier célula fotovoltaica a estos parámetros es para indicar que generara la potencia pico de diseño solo si alcanza los valores antes mencionados. Como la temperatura y la radiación solar son oscilantes los módulos generaran valores distintos cada día. Dentro de los parámetros eléctricos que proporciona el fabricante los más relevantes son:

- **Corriente de Iluminación  $I_L$** : Es la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- **Tensión de circuito abierto  $V_{oc}$** : La máxima tensión que se obtiene en los extremos de la placa solar al no estar conectado ninguna carga.
- **Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$** : Máximo valor de corriente que puede circular sobre la placa.

En cambio, cuando una célula solar es conectada a una carga existirá valores diferentes de tensión e intensidad. Estos valores pueden llegar a ser los máximos ( $V_m$  tensión máxima e  $I_m$  corriente máxima) en algún requerimiento de la carga pero a su vez no sobrepasaran los valores de  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ . Estos valores permiten definir un nuevo parámetro a la célula solar que recibe el nombre de factor de forma (FF), que es el cociente de la máxima potencia que la célula solar entrega a la carga sobre el producto de la tensión en circuito abierto y corriente de cortocircuito.

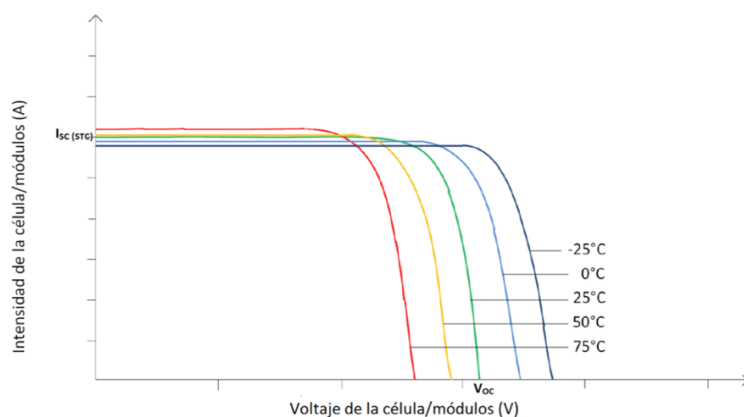
$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (1)$$

### 2.3.6.2. Curvas características

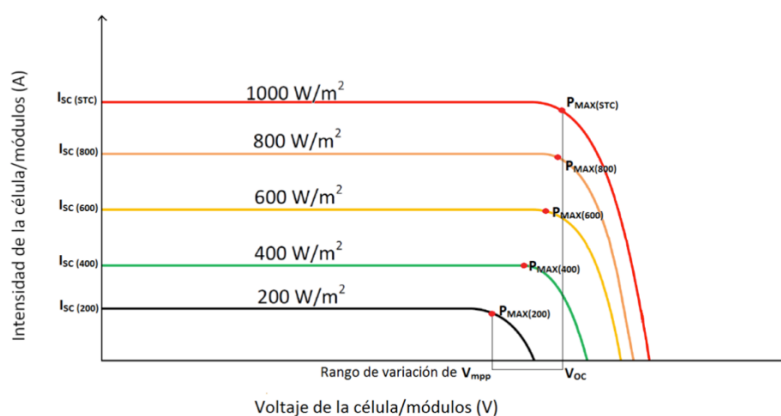
El modulo fotovoltaico es un generador de electricidad que se comporta como una fuente de corriente, es decir, al momento de la incidencia de la radiación solar la corriente varía de acuerdo a la intensidad de radiación solar, con un valor de tensión determinado. Por lo tanto, la intensidad de radiación y la temperatura son los dos parámetros que determinan las propiedades eléctricas de los módulos fotovoltaico. Obsérvese la figura 2-24 (a) en la que se muestra como varia la potencia a diferentes

Universidad de Cuenca

valores de temperatura, en este caso el valor que más cambia es el de tensión de circuito abierto. En cambio en la figura 2-24 (b) se tiene diferentes valores de potencia para diferentes valores de radiación solar, el parámetro que más varía es el de corriente de corto circuito.



(a)



b)

**Figura 2-24 Curvas características de un módulo fotovoltaico (a) Diferentes valores de temperatura, (b) Diferentes valores de radiación solar.**

Fuente: <https://ingelibreblog.wordpress.com>

### 2.3.7. Estructura de soportes

Existe dos tipos de estructuras la fija y con seguidor. La estructura fija que soporta los módulos debe de ser de material inalterable a la corrosión y a los agentes atmosféricos, debe ser capaz de soportar el peso de los módulos en orden de  $10kg/m^2$ . Además debe proporcionar una inclinación y orientación adecuadas para el ángulo óptimo de incidencia, el rendimiento al compararlo con un seguidor es mucho menor pero ocupa menos espacio.





Universidad de Cuenca

En cambio, la estructura con seguidor es una instalación en la que no está fija sobre el suelo sino gira siguiendo el movimiento del sol mediante un girasol mecánico denominado seguidor solar. La ventaja más importante es que la radiación solar es siempre perpendicular a la instalación, lo que conlleva mayor incidencia solar y menor temperatura sobre la célula, generando mucho más energía en un orden del 20-25% con respecto al fijo.

Los tipos de seguidores pueden ser de uno o dos ejes de seguimiento.

Dentro de un solo eje de seguimiento tenemos:

### **2.3.7.1. Seguimiento en un eje**

#### **2.3.7.1.1. Seguimiento cenital**

Su funcionamiento se basa en el seguimiento al punto de máxima radiación desde su posición más baja a la alta, en un eje de rotación horizontal este-oeste.

#### **2.3.7.1.2. Seguimiento azimutal**

A diferencia del cenital, su seguimiento es desde su posición más oriental a su posición más occidental, en un eje de rotación vertical.

#### **2.3.7.1.3. Seguimiento polar**

La superficie gira sobre un eje orientado hacia el sur en un ángulo que coincida con la latitud. La velocidad de giro es de 15° por hora en sentido horario.

### **2.3.7.2. Seguimiento en dos ejes**

Es el movimiento donde el punto de máxima radiación directa apunta en todo momento a la superficie. Su seguimiento ideal hace que sea el mejor de los seguidores. Su rendimiento es mayor en un 30-40% con respecto al fijo. (Parera, 2008)



(a)



(b)

**Figura 2-25 (a)Modulo fotovoltaico con estructura fija, (b) )Modulo fotovoltaico con seguidor de dos ejes.**

Fuente: Datos propios

### 2.3.8. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

El objetivo de la instalación solar fotovoltaica es de producir energía eléctrica a través de la energía solar. Las aplicaciones de la energía solar son innumerables desde aplicaciones para portátiles como calculadoras, radares y hasta estaciones aeroespaciales. Generalmente, se diferencian por dos tipos de instalaciones: las de conexión a la red eléctrica que directamente la planta solar fotovoltaicas se comporta como una productora de energía entregando toda su generación a las empresas de distribución y las aisladas a la red que son usadas para el autoconsumo y podrían almacenar la energía producida en un banco de baterías, estas son útiles donde la red eléctrica de distribución no dispone cobertura de servicio en la zona de estudio.

#### 2.3.8.1. Instalaciones conectadas a la red eléctrica

La energía generada puede ser vertida directamente a la red eléctrica como si fuera generadora eléctrica, estas tienen la ventaja de ser soluciones viables no contaminantes que utilizan recursos locales. El consumo de energía es independiente al generado es decir, la empresa de distribución abastece la demanda de la carga al precio establecido y el usuario tiene una planta generadora donde el kwh producido es mayor. Algunas aplicaciones de este sistema son las instalaciones en tejados, terrazas, plantas de producción y edificios. El esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red, se visualiza en la figura 2-26.

El sistema de una planta fotovoltaica conectada a la red es la siguiente:

- **Generador fotovoltaico**

Es el conjunto de células fotovoltaicas conectadas en serie o paralelo encargadas de transformar la energía solar en energía eléctrica, la electricidad es producida en corriente directa y es directamente proporcional a la irradiación solar.

- **Inversor**

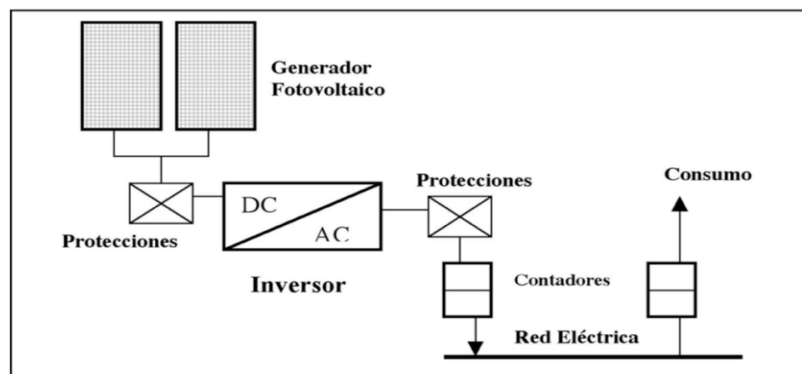
Para inyectar la corriente continua generada por los paneles solares es necesario transformar a corriente alterna con las mismas características de la red de distribución, el elemento que realiza este acondicionamiento de señal es el inversor que basado en electrónica de potencia convierte en una señal sinusoidal.

- **Protecciones**

Para proporcionar una seguridad tanto a las personas como a los equipos es necesario dotar al sistema con las protecciones debidas, las usadas en los sistemas fotovoltaicos son: Los varistores que su función es proteger a los equipos de sobretensiones producidas por fenómenos meteorológicas (rayos); Fusibles permite aislar al grupo de paneles de sobre intensidades; Seccionador de corte en carga que permite aislar al inversor del campo fotovoltaico.

- **Contador**

Se necesita contadores de energía con características particulares: estos deben poder contabilizar la energía de forma bidireccional, es decir, se debe cuantificar la energía que se genera e inyecta en la red y también consumo del sistema ante la reducción o ausencia de la radiación solar.



**Figura 2-26 Esquema de instalación fotovoltaica conectada a la red.**

Fuente: (Solar, 2006)

### 2.3.8.2. Instalaciones aisladas a la red

Como se describió anteriormente son usadas para el autoconsumo en aplicaciones como: electrificación de viviendas y edificios, alumbrado público, etc.

A diferencia del anterior en su estructura se debe añadir el banco de baterías y el regulador de carga. Cabe recalcar, que en el contador en este caso es bidireccional de manera que cuantifique la energía generada como la consumida. El esquema de instalación fotovoltaica aislada a la red se visualiza en la figura 2-27.

- **Banco de baterías**

Es un dispositivo electroquímico que almacena energía eléctrica en forma de enlaces químicos entregada por los paneles durante las horas de mayor radiación para usarlo en los momentos de más baja o cero irradiancia.

- **Regulador de carga**

Es el encargado en regular el flujo corriente y la tensión desde los módulos fotovoltaicos a la batería de tal manera que sobrecargas o descargas excesivas reduzcan la vida útil de las baterías.

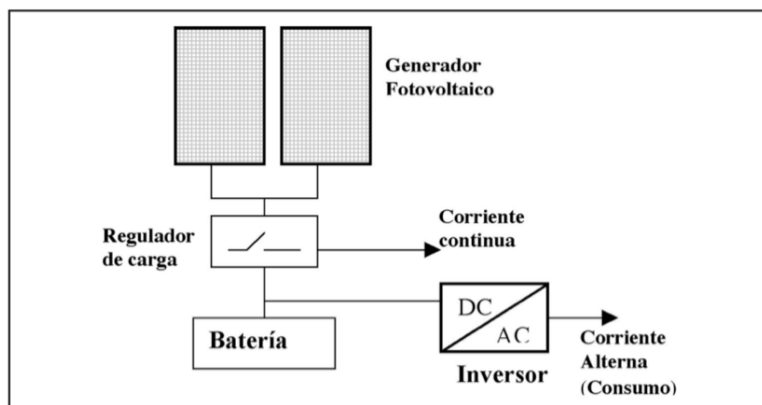


Figura 2-27 Esquema de instalación fotovoltaica aislada.

Fuente: (Solar, 2006)



### 3. **Análisis técnico de energía solar y energía eólica en las distintas tecnologías instaladas.**

En el presente capítulo se procederá al análisis técnico de las diferentes tecnologías instaladas en el campus Balzay e Irquis de la Universidad de Cuenca. Para lo cual, se dividirá en tres secciones tanto para la energía eólica como la solar fotovoltaica: La primera en el análisis de la generación de energía eléctrica a partir de las dos fuentes de energía renovable no convencional, la segunda la descripción de los componentes del parque fotovoltaico y del parque eólico ya instalados y la tercera el análisis de los datos, energía generada y la eficiencia de los parques renovables.

#### 3.1. **Mini parque eólico ubicado en el campus Irquis.**

El campus Irquis está ubicado en la parroquia Victoria del Portete en el km 32 de la vía Cuenca-Girón a una altura 2663 msnm. Actualmente, existe dos grupos de aerogeneradores: 1) eje horizontal y 2) eje vertical. Los cuáles serán objetos de estudio y análisis. Se dispone de 2 aerogeneradores de eje horizontal E70pro de marca ENAIR de 3 palas y una área de barrido de  $14,5 \text{ m}^2$ , con una capacidad nominal de 5kW colocados a 18m y 24m respectivamente, separados entre sí 12m y de un aerogenerador de eje vertical TYD-WT-5000 marca TOYODA, colocado a una altura de 18m y separado 12m de los mencionados anteriormente, con una capacidad nominal de 5kW a 100 rpm. En el estudio presente, no se evaluara el aerogenerador ubicado a 24m, debido a que se analizara las dos tecnologías a una misma altura.

##### 3.1.1. **Análisis de generación de energía eléctrica de una instalación eólica.**

El viento es aleatorio y variable por lo que, dado a sus características no deterministas. El aprovechamiento energético del viento es debido a que contiene energía en forma cinética y por medio de la rotación de las maquinas eólicas se obtiene energía mecánica y a partir de esta energía eléctrica.

La energía cinética de una masa de aire está dada por:

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

Donde se tiene que:

$E_c$ : Energía cinética.

$m$ : Masa de aire

$v$ : Velocidad del aire.

O la expresión equivalente:  $E_c = \frac{1}{2}V\rho v^2$  (2), en la que aparece los términos  $\rho$  y  $V$  que son densidad del aire y volumen del aire respectivamente.



Universidad de Cuenca

La relación equivalente para el Volumen del aire viene determinada como el producto del área de barrido del rotor “A” por la velocidad del aire “v” y por la unidad de tiempo “t”.

$$V = Avt \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en (1) se tiene que:

$$Ec = \frac{1}{2} Atpv^3 \quad (4)$$

Al derivar la energía con respecto al tiempo se obtiene la potencia entregada por una masa de aire.

$$Pv = \frac{1}{2} Apv^3 \quad (5)$$

$$\frac{Pv}{A} = \frac{1}{2} pv^3 \quad (6)$$

La densidad del viento p es función de la altura del eje central del rotor con respecto al nivel del mar y al igual que el área de barrido son constantes a lo largo del tiempo. Al analizar la ecuación 5 y dividirla para el área de barrido se obtiene una nueva magnitud llamada densidad de potencia o potencia por área de barrido, en la que se puede determinar que: La densidad de potencia es proporcional a la densidad de la masa de aire y que a mayor altura menor es el aprovechamiento energético con la misma velocidad del viento.

La potencia transmitida al rotor de la maquina es un porcentaje de la potencia del viento (5), la cual, está en dependencia de factores constructivos de la misma. Lo que, determina el coeficiente de potencia Cp (Potencia de la turbina/ Potencia del viento). El límite teórico es el límite de betz que es alrededor del 59.3%,

Por lo que, la potencia extraída de la turbina es la expresión 7:

$$Pt = CpPv = \frac{1}{2} CpApv^3 \quad (7)$$

Además, del límite de Betz se debe considerar los rendimientos de los diferentes componentes de un aerogenerador tales como: rendimiento de la hélice, multiplicador, generador y transformador. Es decir del total de energía que contiene el viento solo el 46% puede ser aprovechable para producción de electricidad, como se ve la tabla 3.1.



**Tabla 3-1 Tabla de rendimientos de una instalación eólica.**

Fuente: (UCLM, 2011)

Rendimiento de Betz	59,30%
Rendimiento de la hélice	85%
Rendimiento del multiplicador	98%
Rendimiento del generador	95%
Rendimiento del Transformador de energía eléctrica	98%
Total	45,99%

### 3.1.2. Perfil vertical del viento

Este parámetro técnico que permite caracterizar el recurso eólico y se entiende como la variación del viento horizontal con la altura del terreno, que depende de la estabilidad atmosférica, rugosidad del terreno y la orografía. La expresión 8 presenta una gran aproximación, en la que se considera una orografía simple y una estabilidad neutra.

$$V_2 = V_1 \left( \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)} \right) \quad (8)$$

Donde  $V_1$  es la velocidad del viento a una altura  $h_1$ ,  $V_2$  la velocidad del viento a una altura  $h_2$  y  $z_0$  la rugosidad del terreno, este último parámetro varía con el tipo de suelo y muestra la disminución de la velocidad del viento según la ubicación en la que está colocada la máquina eólica. Obsérvese la tabla 3.2 que indica los valores de rugosidad según la superficie.

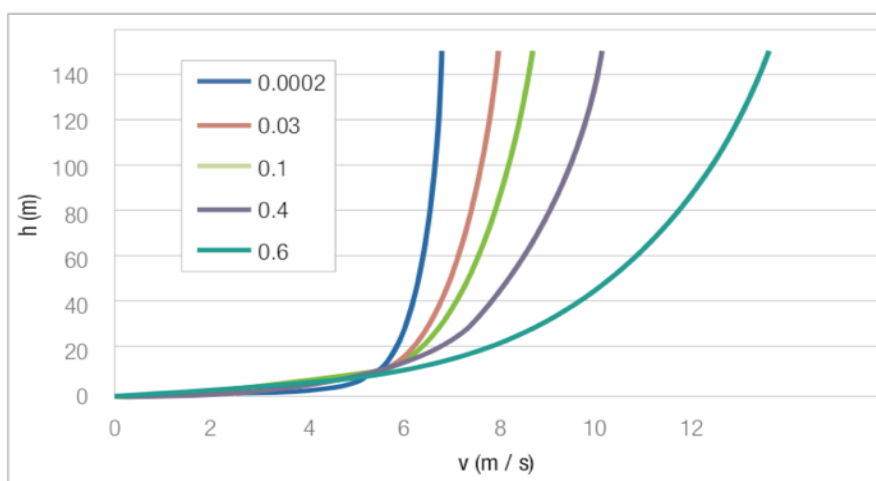
En la figura 3.1 se refleja como varían los perfiles verticales de viento según los valores de  $z_0$  con una velocidad y altura constante.



**Tabla 3-2 Longitud de rugosidad  $z_0(m)$  según el uso de suelo.**

Fuente: Elaboración propia con datos de (MEER, ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica, 2014)

Clase de Rugosidad	Longitud de rugosidad $z_0(m)$	Uso del Suelo
0	0.0002	Superficies calmadas de agua.
0.5	0.0024	Terreno abierto con superficies planas.
1	0.03	Área agrícola abierta.
1.5	0.055	Área agrícola con casas y cercados de hasta 8m de alto y separados por más de 1km.
2	0.1	Área agrícola con casas y cercados de hasta 8m de alto y separados por más de 500m.
2.5	0.2	Terrenos agrícolas con varios árboles y plantas o cercados de hasta 8m de alto y separados por más de 250m.
3	0.4	Ciudades, villas y áreas agrícolas con bosques.
3.5	0.6	Ciudades con edificios altos.
4	1.6	Ciudades con rascacielos.



**Figura 3-1 Diferentes perfiles de viento a diferentes valores de  $z_0$**

Fuente: (MEER, ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica, 2014)





### 3.1.3. Estimación de la velocidad del viento

Al variar la velocidad con respecto al tiempo es necesario describirlo estadísticamente, por lo que existen varias funciones probabilísticas que representan la frecuencia de distribución del viento que permiten estimar correctamente el comportamiento del viento en un tiempo determinado. En la industria eólica son utilizadas por los fabricantes de turbinas para mejorar el rendimiento de sus productos y para los inversionistas evaluar los ingresos por producción eléctrica. Las más utilizadas son las frecuencias de Weibull y Rayleigh. En el presente trabajo, se estimara la velocidad del viento utilizando la función de distribución de Weibull.

#### 3.1.3.1. Función de distribución de Weibull

Esta función describe la distribución de la velocidad del viento con bastante exactitud en un intervalo de tiempo 't' generalmente para un mes. La función de densidad de probabilidad está dada por la expresión 9, que se muestra a continuación.

$$f(v; c; k) = \begin{cases} 0, v < 0 \\ \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, v \geq 0, k, c > 0 \end{cases} \quad (9)$$

Estos parámetros son calculados debido a que el viento varia en las diferentes estaciones del año. Al tener este valor se puede calcular una potencia promedio de generación. En la expresión 9 se observa tres parámetros  $v, k$  y  $c$ , que son los parámetros de: velocidad del viento, la forma de la curva y parámetro de escala respectivamente. Para hallar los parámetros  $c$  y  $k$  se parte de la función acumulativa de Weibull que esta expresada de la siguiente forma:

$$\int_0^v f(v)dv = \int_0^v \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (10)$$

El método de mínimos cuadrados permite calcular los índices  $c$  y  $k$  con la transformada doble logarítmica de (10).

$$f(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (11)$$

Aplicando primer logaritmo se tiene que:

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

Aplicando segundo logaritmo se tiene que:

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



$$\begin{aligned} \text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-f(v)}\right)\right) &= k * \text{Ln}\left(\frac{v}{c}\right) \\ \text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-f(v)}\right)\right) &= k * \text{Ln}(v) - k * \ln(c) \end{aligned} \quad (12)$$

Donde 11 es similar a la ecuación de primer grados  $y = kx + b$  (13)

$$y = \text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-f(v)}\right)\right) \quad (14)$$

$$x = \ln(v) \quad (15)$$

$$b = -k * \text{Ln}(c) \quad (16)$$

El factor de forma es la pendiente de la recta y b es el intersepto (Cochancela & Astudillo, 2012) y se calcula como se visualiza en 16,17,18. Donde  $(\bar{x}$  e  $\bar{y}$ ) representa los valores promedio de x e y respectivamente.

$$k = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad (17)$$

$$b = \bar{y} - k * \bar{x} \quad (18)$$

Para el factor escala c, se despeja de (15) y como resultado se tiene

$$c = e^{-\frac{b}{k}} \quad (19)$$

Generalmente, los factores de forma y escala están dados a una determinada altura, por lo que si se necesita hacer una corrección de altura se aplica las

siguientes formulas.

$$k' = k * \frac{1-0,088*\text{Ln}\left(\frac{h}{10}\right)}{1-0,088*\text{Ln}\left(\frac{h'}{10}\right)} \quad (20)$$

$$\beta = \frac{0,37-0,088*\text{Ln}(c)}{1-0,088*\text{Ln}\left(\frac{h}{10}\right)} \quad (21)$$

$$c' = c * \left(\frac{h'}{h}\right)^\beta \quad (22)$$

### 3.1.3.2. Función de distribución de Rayleigh

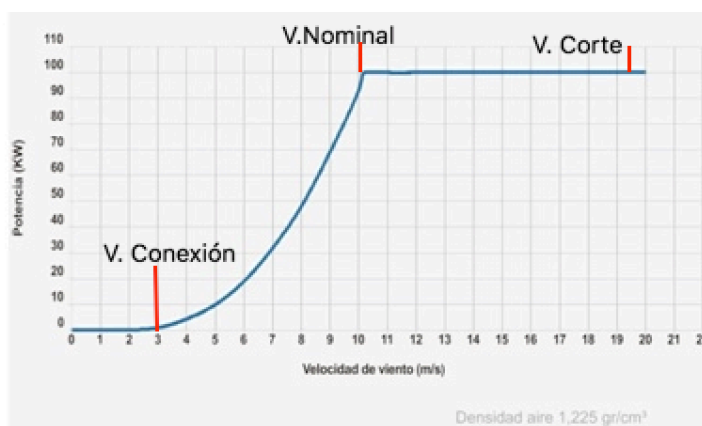
Esta distribución también permite estimar la velocidad del viento, tiene una variable aleatoria que corresponde a la velocidad media del viento y solo un parámetro  $V_m$  que es semejante al parámetro  $\lambda$  de la distribución, además se considera el parámetro  $k = 2$ . Cabe recalcar, que la distribución de Weibull es una generalización de esta distribución. Viene expresada de la siguiente forma.

$$f(x) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{x}{V_m}\right) * e^{\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{x}{V_m}\right)^2\right)} \quad (23)$$

### 3.1.4. Producción energética.

#### 3.1.4.1. Curva de potencia

La capacidad energética de un aerogenerador se caracteriza por su curva de potencia. Es una representación gráfica de la velocidad del viento y la potencia entregada neta antes de llegar a la cabina de transformación. El funcionamiento de la turbina comienza cuando alcanza la velocidad de conexión y deja de trabajar al llegar a la velocidad de corte. La potencia máxima se da en el punto de la velocidad nominal del aerogenerador. Es preciso mencionar que existe una curva distinta para diferentes alturas ya que conlleva diferentes densidades. Obsérvese figura 3-2, que muestra una curva de potencia de aerogenerador de 100kW marca T100 con una densidad de aire de  $1.225 \frac{gr}{cm^3}$



**Figura 3-2 Curva de potencia de un Aerogenerador T100.**

Fuente: <http://www.argolabe.es>

A partir de la curva de potencia y con los valores de la función de distribución de probabilidad de Weibull es posible encontrar la producción energética de un aerogenerador.

$$Energía (kWh)_{producida} = \int_0^t f(v) * P(v) dt \quad (24)$$

Donde  $f(v)$  corresponde a la función de distribución de Weibull y  $P(v)$  la potencia entregada de la turbina a distintas velocidades, obsérvese ecuación 7.

#### 3.1.4.2. Factor de planta

Expresa la relación de la energía producida y la energía que pudo haber sido producida a condiciones nominales en un espacio de tiempo de un año.

$$FP = \frac{Energía(kWh)_{producida}}{P(w)_{nominal} * 8760} \quad (25)$$

### 3.1.4.3. Coeficiente de potencia

El coeficiente de potencia  $C_p$  es un parámetro que tiene un grado muy alto de importancia en la producción de potencia y a su vez expresa la eficiencia en la relación de la potencia generada y la potencia entregada por el viento al rotor del aerogenerador. Para el cálculo del  $C_p$  primero se debe encontrar el parámetro de relación de velocidad tangencial (TSR o  $\lambda$ ) y a partir de este valor se procede a buscar en la curva de rendimiento del aerogenerador el valor correspondiente a  $C_p$ , en la figura 3-3 se presenta las curvas de rendimiento de los aerogeneradores.

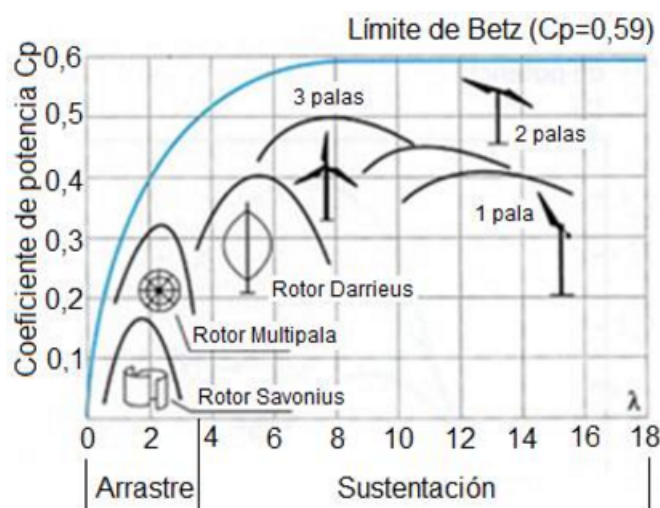
$$TSR = \frac{2\pi nr}{V*60} \quad (26)$$

Donde:

n: Revoluciones por minuto.

r: Radio del Aerogenerador.

V: Velocidad del viento.



**Figura 3-3 Rendimiento de las principales turbinas eólicas.**

Fuente: <https://hidrolate.wordpress.com>

Existe además, otra forma mucho más exacta que es despejar la ecuación 7 en términos del coeficiente de potencia y utilizar la curva de potencia entregada por el fabricante considerando las condiciones físicas en la que la turbina fue fabricada, esta metodología será utilizada para el cálculo de la producción energética. (Mendez Urgiles, 2018).

### 3.1.5. Tecnología instalada en el parque mini eólico.

#### 3.1.5.1. Anemómetro nrg 40 c.

Este anemómetro es fabricado por la empresa NRGSystems, entre sus características más importantes es que presenta en sus rodamientos un bajo momento de inercia que permiten una respuesta rápida ya sea para ráfagas o treguas de viento. Esta construido por un imán de 4 polos que al mover produce en una bobina una señal de tensión sinusoidal de frecuencia variable (0Hz - 125Hz) y proporcional a la velocidad del viento. Su rango de medición va desde el 1m/s hasta 96m/s. Se encuentra instalado en la granja Irquis en una torre de medición dos anemómetros a diferentes alturas (15m y 26m). El anemómetro antes descrito, se presenta en la figura 3-4.



**Figura 3-4 Anemómetro NRG 40C.**

Fuente: <https://es.nrgsystems.com/products/met-sensors/anemometers/detail/40c-anemometer>

#### 3.1.5.2. Veleta nrg 200p

De igual manera, es fabricado por la empresa NRGSystem, resiste a la corrosión y posee una excelente relación de resistencia peso. Su funcionamiento se basa en un potenciómetro de alta precisión de 10k ohmios que al ser aplicado un voltaje CC produce una salida de voltaje radiométrico analógico proporcional a la dirección del viento. Esta veleta se encuentra ubicado en la torre junto al anemómetro que está ubicado a 26m. Obsérvese la figura 3-5, correspondiente a la veleta instalada.



**Figura 3-5 Veleta NRG 200P**

Fuente: <https://es.nrgsystems.com/products/met-sensors/wind-direction-vanes/detail/200p-wind-vane>

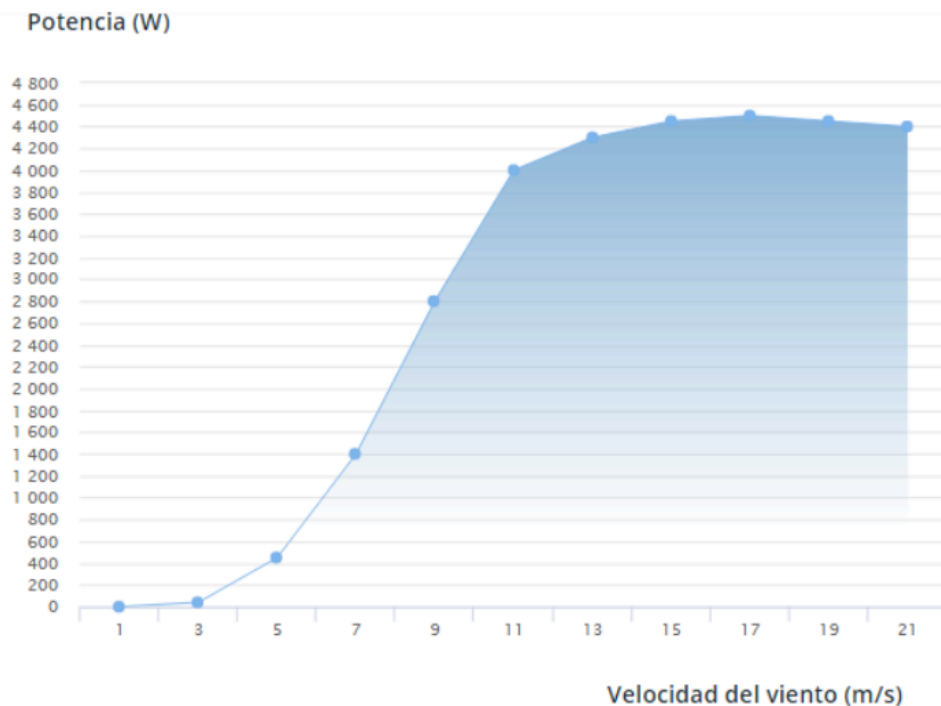
### 3.1.5.3. Turbina eólica Enair e70 pro

Es una turbina de tipo rotor de eje horizontal a barlovento de 3 palas, tiene un diámetro de 4.3 metros con una área de barrido de  $14.5 \text{ m}^2$ , fabricado en fibra de vidrio y núcleo de poliuretano. Ver figura 3-6. Entre sus características se tiene que es anticorrosivo, robusto de alta eficiencia y bajo ruido. La turbina necesita una velocidad de arranque de viento de  $1,5 \text{ m/s}$ , la potencia nominal es de  $4000\text{W}$  cuando la velocidad del viento alcanza  $11\text{m/s}$ . Energéticamente es capaz de alcanzar producciones sobre los  $70\text{kWh/día}$ . Las curvas de potencia y energía se muestran en la figura 3-7.

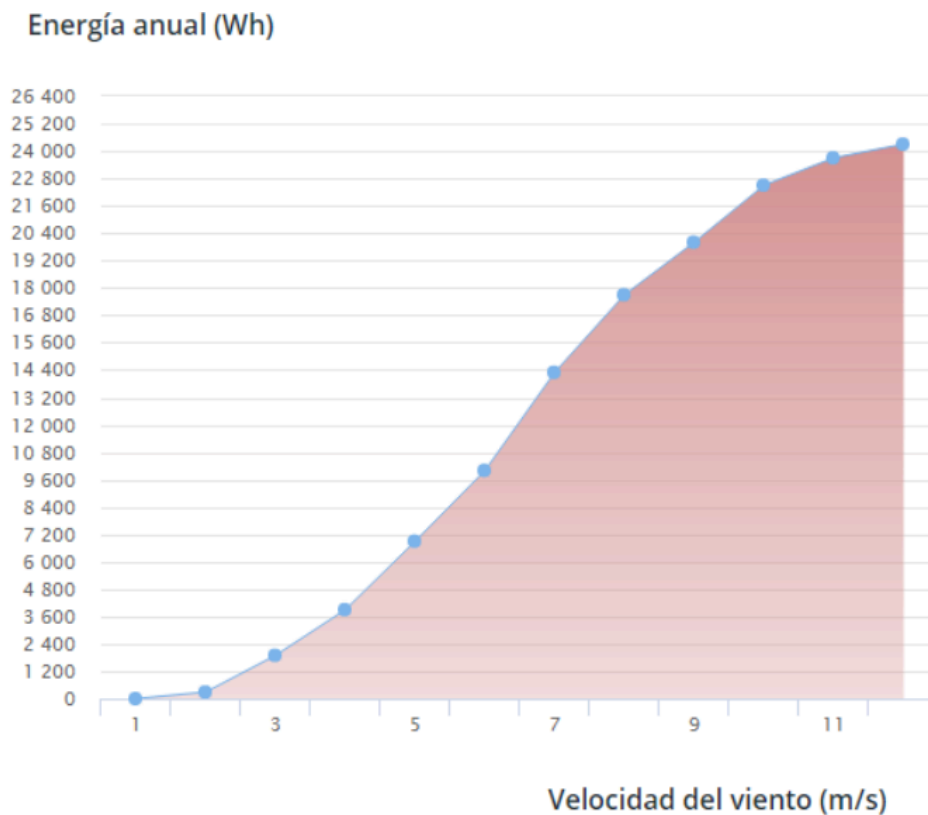


**Figura 3-6 Turbina ENAIR E70 pro ubicado en la granja Irquis.**

Fuente: (ENAIR, 2018)



(a)



(b)

**Figura 3-7 (a) Curva de potencia de la turbina ENAIR E70 pro, (b) Curva de energía anual de la turbina ENAIR E70 pro**

Fuente: (ENAIR, 2018)

### 3.1.5.4. Turbina eólica Tyd-wt-5000

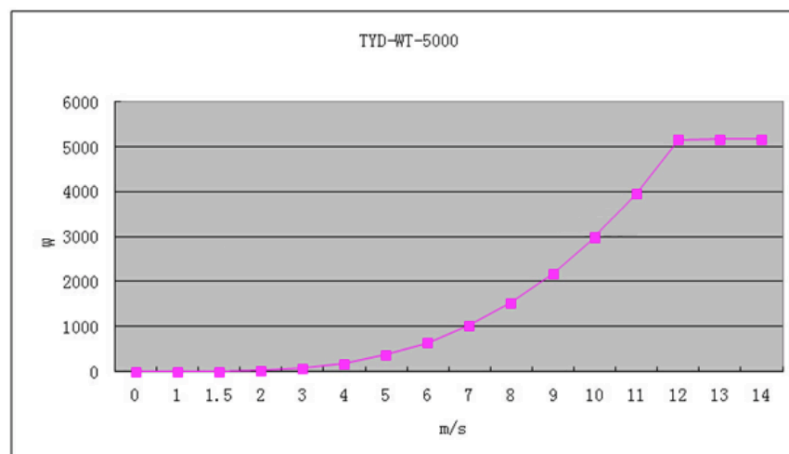
Es una turbina de tipo rotor de eje vertical de 3 palas, tiene un diámetro de 3.5 metros con una área de barrido de  $9.6 \text{ m}^2$ , fabricado en aluminio resistente a la corrosión. Ver figura 3-8. La velocidad nominal de rotación es 200 rpm. La turbina necesita una velocidad de arranque de viento de 2.5 m/s, la potencia nominal es de 5000W cuando la velocidad del viento alcanza 12m/s. Energéticamente es capaz de alcanzar producciones sobre los 125kWh/día. Las curvas de potencia y energía se muestran en la figura 3-9.



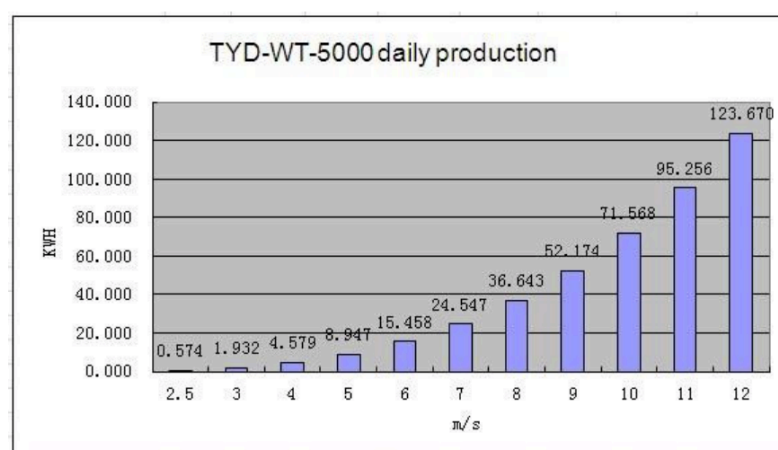
**Figura 3-8 Aerogenerador TYD-WT-5000 ubicado en la granja Irquís.**

Fuente: (Mendez Urgiles, 2018)





(a)



(b)

**Figura 3-9 (a) Curva de potencia de la turbina TYD-WT-5000, (b) Curva de energía diaria de la turbina TYD-WT-5000**

Fuente: <https://spanish.alibaba.com>

### 3.2. Mini parque fotovoltaico ubicado en el campus Balzay

En cuanto, al parque fotovoltaico se tiene una capacidad instalada de 35 kW conformado con 140 paneles de 250 Wp c/u de marca Artersa dispuestos de la siguiente manera: 60 paneles fijos monocristalinos orientados a un ángulo de 5 grados con capacidad de 15kW, 60 paneles fijos policristalinos orientados a un ángulo de 5 grados con capacidad de 15kW; cada conjunto de los paneles antes mencionados se encuentran conectados a un Inversor GPtech de 15 kVA respectivamente. Además, se tiene 14 paneles policristalinos con capacidad de 3,5 kW móviles a un eje, con seguimiento al sol de Este-Oeste y 6 paneles policristalinos móviles a dos ejes con capacidad instalada de 1,5 kW, los que están conectados a un inversor Fronius de 5 kW.



### 3.2.1. Cálculo de la producción energética de una instalación solar fotovoltaica

La producción energética de una instalación fotovoltaica está en función de la irradiación solar y en dependencia de la potencia instalada y del rendimiento de la instalación. Para la estimación de los valores de operación de un sistema fotovoltaico es indispensable conocer la irradiancia global incidente sobre la superficie del generador en una escala temporal. Por lo que se debe calcular los siguientes datos:

1.  $G(\alpha, \beta) = G(0,0)$ : Valor anual de irradiación diaria sobre la superficie horizontal expresada en  $kWh/m^2$
2.  $G(\alpha, \beta) = G(0, \beta)$ : Valor anual de irradiación diaria sobre el plano del generador, obtenido a partir de la expresión anterior.
3. El rendimiento energético de la instalación o "Performance ratio" en el que se incluye las diferentes pérdidas.

Donde  $\alpha, \beta$  corresponden al azimut y a la inclinación del generador respectivamente.

El concepto de irradiación anual incidente sobre una superficie inclinada con un ángulo óptimo viene expresado por  $G_a = G(B_{opt})$ . El ángulo óptimo viene expresado en la siguiente ecuación. (Argumedo, 2009)

$$B_{opt} = 3.7 + \theta \quad (27)$$

Donde  $\theta$  corresponde a la latitud del lugar. A partir del valor del ángulo óptimo la irradiación anual sobre la superficie óptima se expresa así:

$$G_a(B_{opt}) = G_a(0) / (1 - 4.46E - 4 * B_{opt} - 1.19E - 4B_{opt}^2) \quad (28)$$

En la mayoría de los casos, los paneles se encuentran orientados en un grado diferente al óptimo. (Argumedo, 2009)

$$G_{efectiva} = G_a(B_{opt}) * (-1.218E-4 (\beta - B_{opt})^2 + 2.892E - 4(\beta - B_{opt}) + 0.9314) \quad (29)$$

La energía producida anualmente por un sistema fotovoltaico conectado a la red viene expresada en la siguiente ecuación. (Argumedo, 2009)

$$Ep = \frac{P * \left( \frac{G(\alpha, \beta)}{G_{efectiva}} \right)}{PR} \left( \frac{kWh}{anual} \right) \quad (30)$$

En donde, P corresponde a la potencia pico de los módulos solares y PR al rendimiento de la instalación. La diferencia en la producción energética obtenida con respecto a la real se da por las diferentes pérdidas que puede tener una instalación debido a diferentes factores, entre estas están:

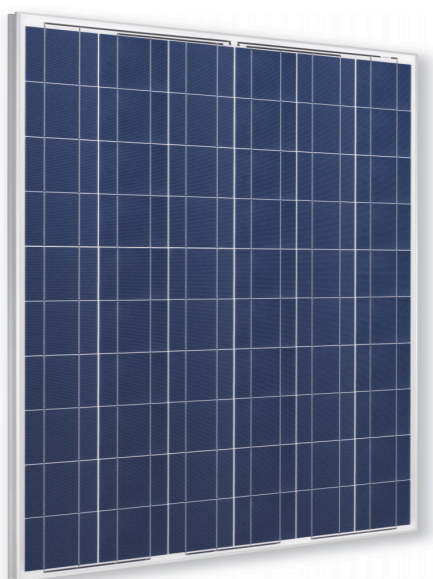
- Pérdidas por suciedad o polvo.

- Pérdidas angulares y espectrales.
- Pérdidas por efecto Joule en el cableado.
- Pérdidas por sombras.
- Pérdidas por rendimiento del inversor y seguidores.
- Pérdidas por temperatura.

### 3.2.2. Tecnología instalada en el parque fotovoltaico

#### 3.2.2.1. Módulo fotovoltaico atersa policristalino a-250p

Las placas solares ATERSA están formadas por 60 células de silicio policristalino, encapsuladas entre un cristal y una capa posterior de poliéster modificado. El cristal utilizado en la fabricación del Panel Solar de 250W tiene un espesor de 3,2mm y se caracteriza por tener un elevado nivel de transmisividad, lo que permite aprovechar toda la luz proyectada por el sol. Ambas capas están unidas mediante un encapsulante, el cual es uno de los mejores que se pueden instalar en un módulo solar, el EVA (etil-viniloacetato). El marco del panel solar está fabricado en aluminio, este a su vez se recubre con una capa que lo convierte en aluminio anodizado lo que lo hace mucho más duradero y resistente a las inclemencias del tiempo. (ATERSA, 2018)



Potencia Nominal	250 W
Eficiencia del modulo	15,35%
Corriente punto máximo de potencia (Imp)	8,45A
Tensión punto de máxima potencia (Vmp)	29,53V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,91A
Tensión de Circuito abierto (Voc)	37,60V

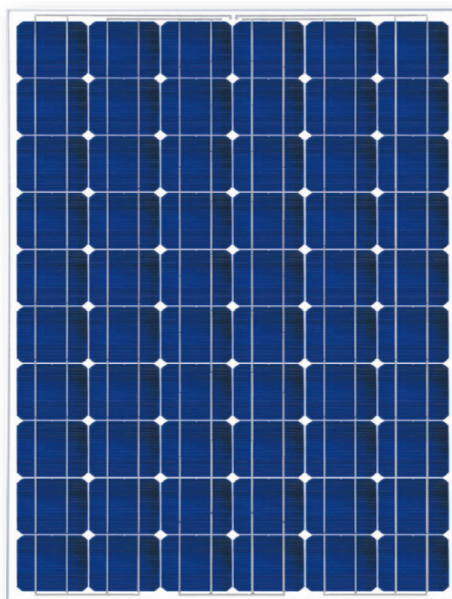
**Figura 3-10 Modulo fotovoltaico Atersa policristalino A-250p**

**Tabla 3-3 Parámetros característicos Modulo fotovoltaico Atersa policristalino A-250p**

Fuente: (ATERSA, 2018)

### 3.2.2.2. Módulo fotovoltaico atersa monocristalino a-250m

Está formado por 60 células de silicio monocristalino, encapsuladas entre un cristal y una capa posterior de poliéster modificado. El cristal se caracteriza por tener un elevado nivel de transmisividad, lo que permite aprovechar toda la luz proyectada por el sol. Ambas capas están unidas mediante el encapsulante, el cual, es uno de los mejores que se pueden instalar en un módulo solar. El EVA (etilviniloacetato). La técnica de su procesado es una parte esencial en la fabricación del panel solar y lo que garantiza la vida útil de modulo. El marco del panel solar está fabricado en aluminio, este a su vez es recubierto por una capa de óxido protector que lo convierte en aluminio anodizado, lo que lo hace mucho más duradero y resistente a las inclemencias del tiempo. Es un módulo de alta eficiencia. (ATERSA, 2018)



Potencia Nominal	250 W
Eficiencia del modulo	15,35%
Corriente punto máximo de potencia (I <sub>mp</sub> )	8,24A
Tensión punto de máxima potencia (V <sub>mp</sub> )	30,35V
Corriente de cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	8,79A
Tensión de Circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	37,62V

**Figura 3-11 Modulo fotovoltaico Atersa monocristalino A-250m**  
**Tabla 3-4 Parámetros característicos Modulo fotovoltaico Atersa monocristalino A250m**

Fuente: (ATERSA, 2018)

### 3.2.2.3. Inversor GPtech pv15

GPtech. ha desarrollado, con tecnología propia, los inversores fotovoltaicos de la serie POWER PV, para la conexión de plantas de generación fotovoltaica a la red eléctrica de distribución. Los inversores están realizados con tecnología de última generación, utilizando módulos IGBT de alto rendimiento y modulación PWM de alta

Universidad de Cuenca

frecuencia basada en tecnología DSP. Esta familia de inversores presenta las siguientes características:

- Rango de operación de potencia flexible basado en el requerido factor de potencia.
  - Amplio rango de operación DC.
  - Mantiene la máxima potencia en condiciones ambientales extremas.
  - Sistema de refrigeración por aire redundante para un mejor rendimiento en condiciones extremas de clima.
  - Control remoto de potencia activa y reactiva.
  - Respuesta de frecuencia de rampa de potencia programable para garantizar el balance de la red.
  - Diferentes modos de operación:
    - 1) Máxima inyección de potencia reactiva.
    - 2) Factor de potencia constante
    - 3) Sin inyección de corriente
    - 4) Compensación de caída de tensión
  - Regulación instantánea de la potencia según variaciones de frecuencia.
- (GpTech, 2018)



Potencia Nominal	15 kW.
Eficiencia del modulo	96,00%
Vac	230 V 3F
Frecuencia	60 Hz
Iac	44 A
Vdc	240-600V
Idc	62A

**Figura 3-12 Inversor GPTech PV15**

**Tabla 3-5 Parámetros característicos Inversor GPTech PV15**

Fuente: (GpTech, 2018)

### 3.2.2.4. Inversor Fronius symo

Los inversores Fronius son eficientes y seguros y constituyen el corazón de cada instalación fotovoltaica. Los rangos de potencia, de 1,5 a 27,0 kW, garantizan la adaptación para cualquier tamaño de instalación, desde una casa unifamiliar hasta grandes sistemas fotovoltaicos. La conexión a Internet a través de WLAN o Ethernet integrada de serie y la sencilla integración de componentes de otros fabricantes hacen que el Fronius Symo sea uno de los inversores más comunicativos y eficientes del mercado. El interface de contador permite además una gestión de alimentación dinámica y una visualización del consumo muy clara. (Fronius, 2018)



Potencia Nominal	5 kW.
Número de seguidores MPP	2
Máxima corriente de entrada	16 / 16 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV	24 / 24 A
Rango de tensión de entrada CC	150 - 1000 V
Tensión CC mínima de puesta en marcha	200V
Rango de tensión de punto de rendimiento máximo utilizable	150 - 800 V
Corriente de salida CA	7,2 A
Rango de tensión CA	150 - 280 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Rendimiento	97%

**Figura 3-13 Inversor Fronius Symo**

**Tabla 3-6 Parámetros característicos Inversor Fronius Symo**

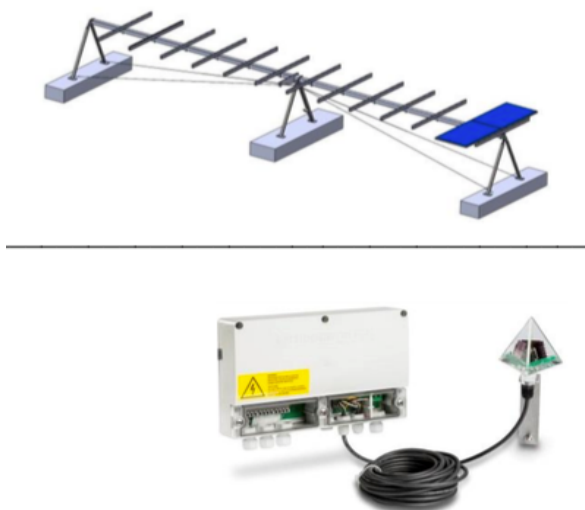
Fuente: (Fronius, 2018)

### 3.2.2.5. Degertracker s100-pf-dr

El seguidor solar de un eje DEGER de origen alemán permite el aprovechamiento óptimo de toda la energía de irradiación, construido con tecnología MLD (Maximun Light Detection), se puede obtener un incremento de 30% en el rendimiento comparado con aplicaciones fijas fotovoltaicas. Algunas ventajas de este seguidor son:

- Sensor de nieve, que permite incrementar el rendimiento.
- Instalación rápida, sencilla y de fácil manejo.
- Tecnología robusta y duradera.
- Restablecimiento automático en posición inicial por la noche.

- Hasta 100 seguidores pueden ser gestionados por uno
- Caja de control central (CCC)
- Protección contra el viento en condiciones de tormenta. (<https://qksol.com/>, 2018)



Tensión de funcionamiento	110-240 V(50-60 Hz)
Corriente nominal de entrada	2,3 A
Control	MLD
Tensión de salida	24 V.
Corriente de salida	10 A.
Consumo Interno por año	5kWh

**Figura 3-14 Degertracker s100-pf-dr**

**Tabla 3-7 Parámetros característicos Degertracker s100-pf-dr**

Fuente: (<https://qksol.com/>, 2018)

### 3.2.2.6. Sat st44m2v4p

Seguidor solar de dos ejes diseñado para paneles fotovoltaicos concentradores. Usado en los techos de las casas, señalización de tráfico, alumbrado público, cabañas, centrales eléctricas pequeñas y grandes donde los paneles solares están conectados en serie y la salida está conectada directamente al inversor o a un punto de carga. El rendimiento del doble eje, puede ser un 10 % más en comparación con el sistema de un solo eje y hasta un 33% más en comparación con un sistema solar fijo. Algunas características de este seguidor son:

- Algoritmo astronómico controlado por tiempo para el rastreo del sol.
- Instalación sencilla y sincronización del tiempo de sol.
- Interfaz web fácil de usar para monitoreo, configuración y actualización
- Puerto de comunicación USB, opcionalmente RS485.



Universidad de Cuenca

### **3.3. Análisis de datos.**

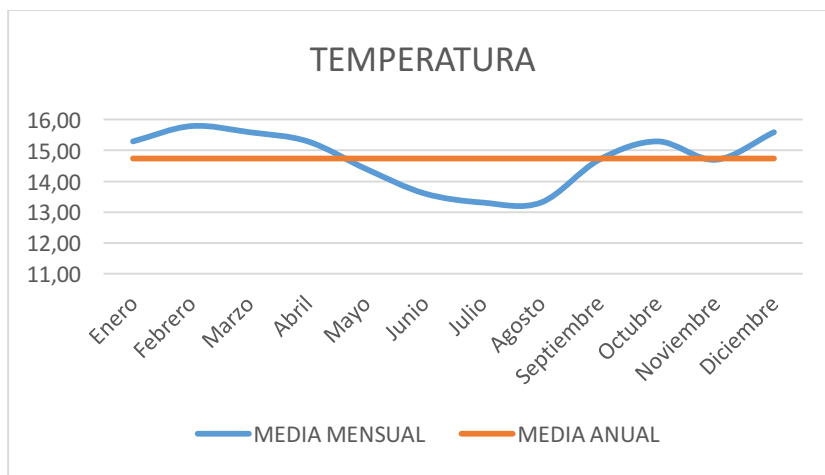
En esta sección se procederá a calcular y analizar la generación de las dos tecnologías de energías renovables instaladas. Cabe recalcar, que en el caso del parque mini eólico no está conectado aún a la red, por lo que no se tiene datos de generación de electricidad, sin embargo, con ayuda de del anemómetro nrg40c y la veleta nrg200p de propiedad de (Elecaastro S.A), se tiene datos de velocidad y dirección del viento cada diez minutos del día desde los meses de abril del 2017 a marzo del 2018 y a partir de estos se calculara la función de distribución de Weibull. Además, se procederá a calcular el coeficiente de potencia y el valor de densidad de aire en el punto de instalación de los aerogeneradores colocados a 18m, de tal manera calcular una producción energética más cercana a la realidad en nuestro medio. En cambio, para el parque fotovoltaico se procederá a analizar los datos de generación de electricidad de los inversores y de la estación meteorológica desde enero 2018 hasta los primeros días del mes de diciembre.

#### **3.3.1. Producción energética de los aerogeneradores Enair e70pro y Tyd-wt-5000**

##### **3.3.1.1. Cálculo del valor de densidad de aire.**

El valor de densidad de aire es de  $0,9371 \text{ kg/m}^3$  que se obtuvo de la ecuación 31, la cual depende de la altura del buje del rotor con respecto a nivel del mar y la temperatura media, en este caso se considera los aerogeneradores colocados a 18m en el campus Irquis (2663 msnm) y el valor de temperatura de  $14,72^\circ\text{C}$  que corresponde a la temperatura media anual de la ciudad de Cuenca, la misma que fue tomada del National Climatic Data Center (NOAA, 2018).





**Figura 3-15 Temperatura media en la ciudad de Cuenca**

Fuente: Elaboración propia datos de (NOAA, 2018)

$$\rho = \left( \frac{P_0}{RT} \right)^{-\frac{gz}{RT}} \tag{31}$$

$P_0$ : Presión atmosférica = 101235 Pa.

$R$ : Constante de aire =  $286,9 \frac{J}{kg^\circ K}$

$T$ : Temperatura media =  $287,72^\circ K$

$g$  = aceleración de la gravedad =  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$z$  = altitud = 2681 m

### 3.3.1.2. Distribución de Weibull

Para el análisis del recurso eólico se considera los datos proporcionados por Elecaustro S.A a una altura de 15m, los mismos que al aplicar el concepto de perfil vertical del viento sección 3.1.2 y el valor de rugosidad de la tabla 3-2; se tendrá los valores correspondientes a la altura de 18m que están ubicadas los aerogeneradores. Obsérvese los valores medios mensuales y el valor de promedio anual en la figura 3-16 y tabla 3-8.

$$V_2 = \frac{V_1 \ln\left(\frac{18}{0,1}\right)}{\ln\left(\frac{15}{0,1}\right)}$$

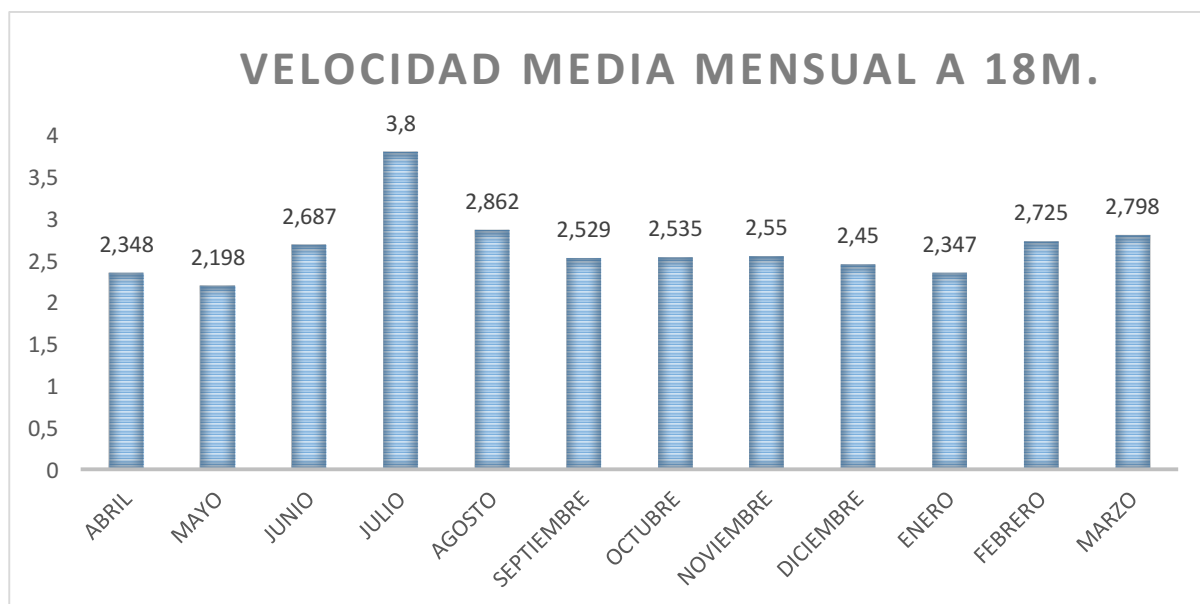
$$V_2 = 1,0364V_1$$



**Tabla 3-8 Velocidades medias mensuales de 15m y 18m.**

Fuente: Elaboración propia datos (ELECAUSTRO S.A)

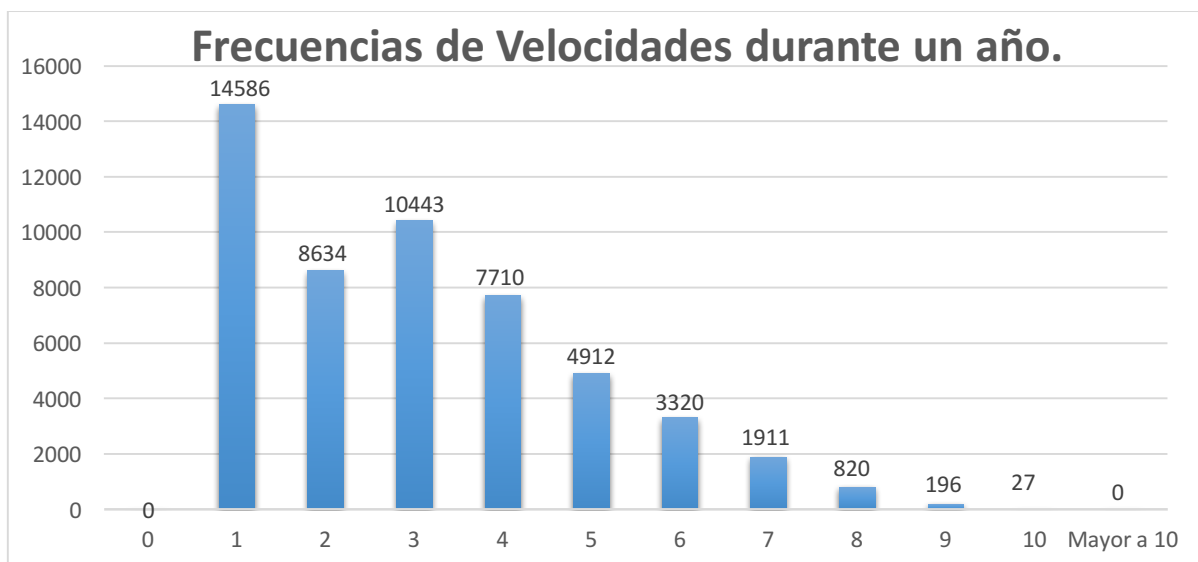
Fecha	Velocidad media mensual 15m (m/s)	Velocidad media mensual 18m (m/s)
abr-17	2,266	2,348
may-17	2,121	2,198
jun-17	2,593	2,687
jul-17	3,667	3,800
ago-17	2,761	2,862
sep-17	2,440	2,529
oct-17	2,446	2,535
nov-17	2,460	2,550
dic-17	2,364	2,450
ene-18	2,265	2,347
feb-18	2,629	2,725
mar-18	2,700	2,798
Promedio	2,559	2,652



**Figura 3-16 Velocidad media mensual a 18 metros de altura**

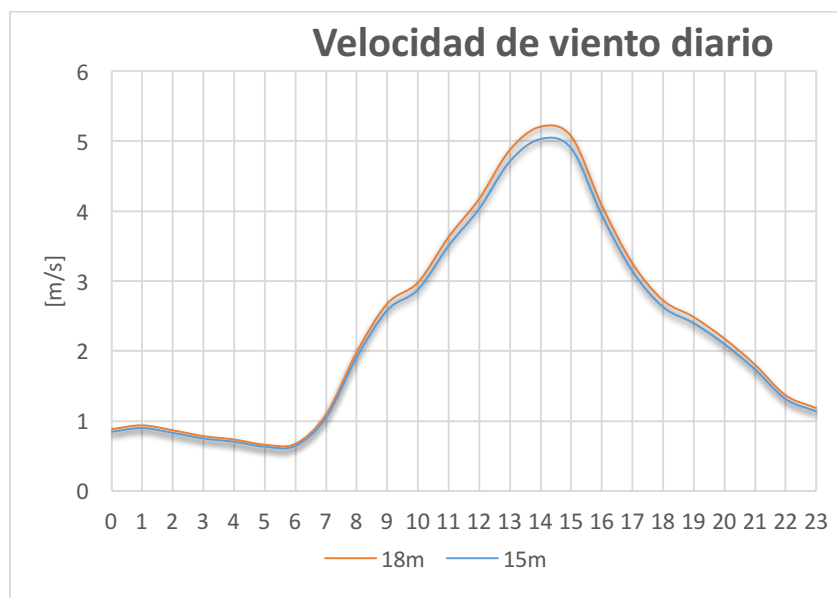
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3-17 se puede observar el histograma de frecuencias con un total de 52560 mediciones, que corresponde a las medidas cada diez minutos a lo largo del año. La figura 3-18 muestra el comportamiento de la velocidad a lo largo de un día.



**Figura 3-17 Frecuencia de Velocidades de un año**

Fuente: Elaboración propia datos (ELECAUSTRO S.A)



**Figura 3-18 Comportamiento de la velocidad a lo largo de un día.**

Fuente: Elaboración propia datos (ELECAUSTRO S.A)

Para el cálculo de los valores  $k$  y  $c$  se debe seguir los siguientes pasos:

1. Organizar las velocidades del viento en diferentes clases desde 0m/s hasta la última variación existente, en este caso hasta 10m/s. Por ejemplo, en el caso de la clase 1m/s incluye velocidades mayores a 1m/s y menores o iguales a 2m/s.



Universidad de Cuenca

- Determinar frecuencia puntual y frecuencia acumulada.

$$Frecuencia_{puntual} = \frac{horas \ a\ \a\ \a}{8760}$$

$$Frecuencia_{acumulada} = Frecuencia_{puntual \ n} - Frecuencia_{puntual \ n-1}$$

- Calcular los factores x e y de las expresiones 14 y 15.
- Calcular los valores  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ . Para este caso de estudio, los resultados son:

$$\bar{x} = 1,3731$$

$$\bar{y} = 0,7195$$

- Calcular el factor de forma, el intercepto y el factor de escala.

$$k = \frac{8,243}{6,910} = 1,1929$$

$$b = 0,7195 - 1,1929 * 1,3731 = -0,9184$$

$$c = e^{\frac{0,9184}{1,1929}} = 2,1595$$



**Tabla 3-9 Cálculos para encontrar la función de Weibull.**

Fuente: Elaboración propia

				x	y				
Clase	Horas año	Frecuencia	Frecuencia acumulada	$Ln(Clase)$	$Ln\left(Ln\left(\frac{1}{1 - Frecuencia\ acumulada}\right)\right)$	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x}) * (y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$
0	0,00	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000	-1,3731	-0,7195	0,988	1,885
1	2431,04	0,27752	0,2775	0,0000	-1,1237	-1,3731	-1,8432	2,531	1,885
2	1439,01	0,16427	0,4418	0,6931	-0,5395	-0,6800	-1,2590	0,856	0,462
3	1740,50	0,19869	0,6405	1,0986	0,0227	-0,2745	-0,6968	0,191	0,075
4	1285,04	0,14669	0,7872	1,3863	0,4365	0,0132	-0,2830	-0,004	0,000
5	818,64	0,09345	0,8806	1,6094	0,7540	0,2363	0,0345	0,008	0,056
6	553,38	0,06317	0,9438	1,7918	1,0573	0,4186	0,3378	0,141	0,175
7	318,54	0,03636	0,9802	1,9459	1,3660	0,5728	0,6465	0,370	0,328
8	136,64	0,01560	0,9958	2,0794	1,6977	0,7063	0,9782	0,691	0,499
9	32,65	0,00373	0,9995	2,1972	2,0231	0,8241	1,3036	1,074	0,679
10	4,56	0,00052	1,0000	2,3026	2,2203	0,9295	1,5008	1,395	0,864
<b>TOTAL</b>	8760	1,0000	<b>MEDIA</b>	1,3731	0,7195	<b>SUMATORIA</b>		8,243	6,910



Universidad de Cuenca

Como se mencionó anteriormente, los valores  $k$  y  $c$  fueron obtenidos con velocidades medidas a 15m, por lo cual, se procede a aplicar las formulaciones 19 y 21 descritas en la sección 3.1.3, de tal manera obtener los parámetros  $k'$  y  $c'$  que son los correspondientes a la altura de 18m; con estos nuevos valores se calcula la distribución de Weibull  $f(v)$  con velocidades comprendidas entre 0 y 10m/s, para posteriormente calcular la producción energética.

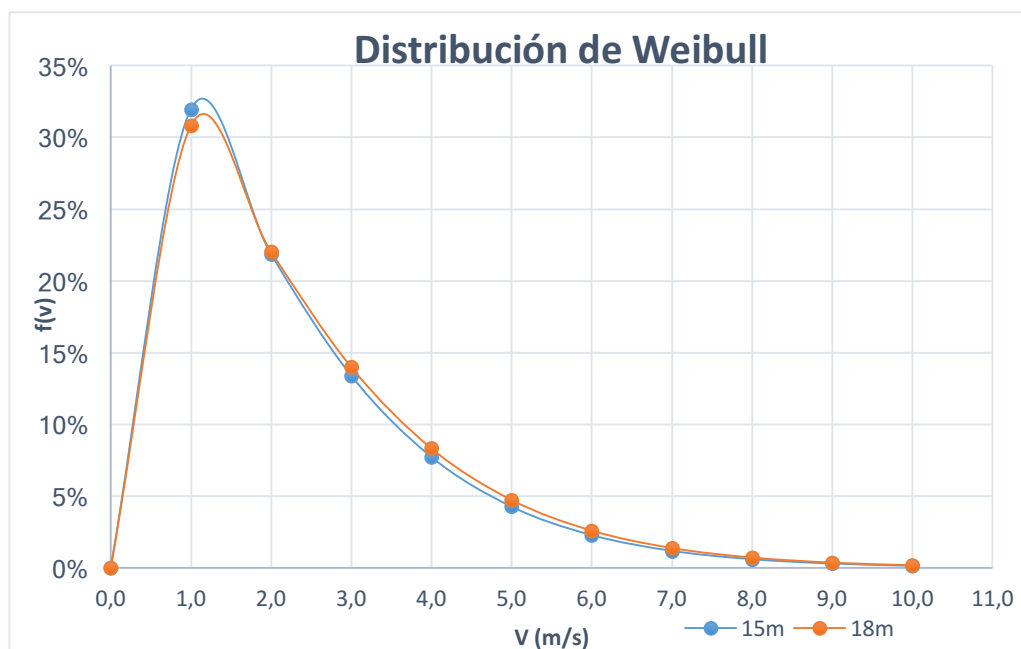
$$k' = 1,2130$$

$$c' = 2,2867$$

**Tabla 3-10 Valores de la distribución de Weibull a 15m y distribución corregida a 18m.**

Fuente: Elaboración propia

Velocidad	Velocidad (intervalo)	f(v) 15m	f(v) 18m
0,0	0-0,5	0,0000	0,0000
1	0,5-1,5	0,3194	0,3082
2	1,5-2,5	0,2185	0,2204
3	2,5-3,5	0,1340	0,1400
4	3,5-4,5	0,0773	0,0833
5	4,5-5,5	0,0427	0,0473
6	5,5-6,5	0,0228	0,0260
7	6,5-7,5	0,0119	0,0138
8	7,5-8,5	0,0060	0,0072
9	8,5-9,5	0,0030	0,0037
10	9,5-10,5	0,0015	0,0018



**Figura 3-19 Distribución de Weibull a 15m y distribución corregida a 18m.**  
 Fuente: Elaboración propia

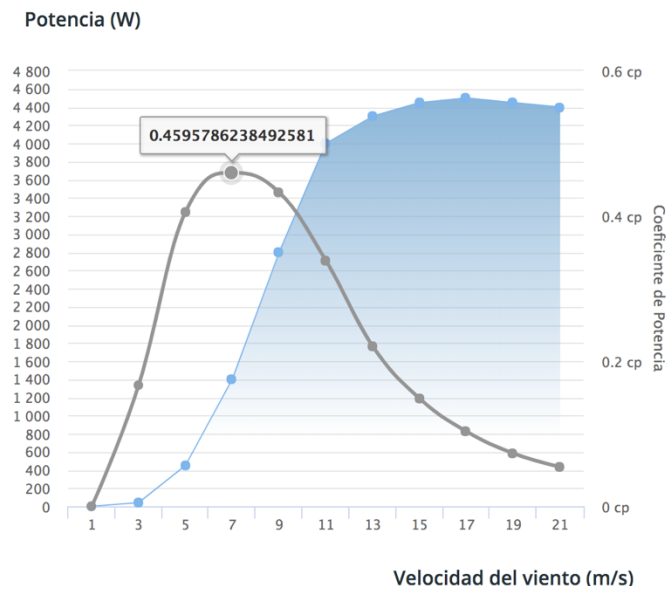
**3.3.1.3. Cálculos del valor del coeficiente de potencia.**

Como se explicó en la sección 3.1.4, se despejará  $C_p$  de la expresión 7 y se calculará a partir de las curvas de potencia de los aerogeneradores de eje horizontal y eje vertical; refiérase a las figuras 3-7(a) y 3-7(b) antes descritas. La tabla a continuación, muestra los valores utilizados en el cálculo y los resultados de  $C_p$ . La empresa ENAIR en su página web presenta una herramienta que facilita el cálculo de  $C_p$ , el mismo que se pudo corroborar con el obtenido en la tabla 3-11. Ver figura 3-20.

**Tabla 3-11 Valores usados para encontrar el Coeficiente de Potencia**

Fuente: (ENAIR, 2018); <https://spanish.alibaba.com>

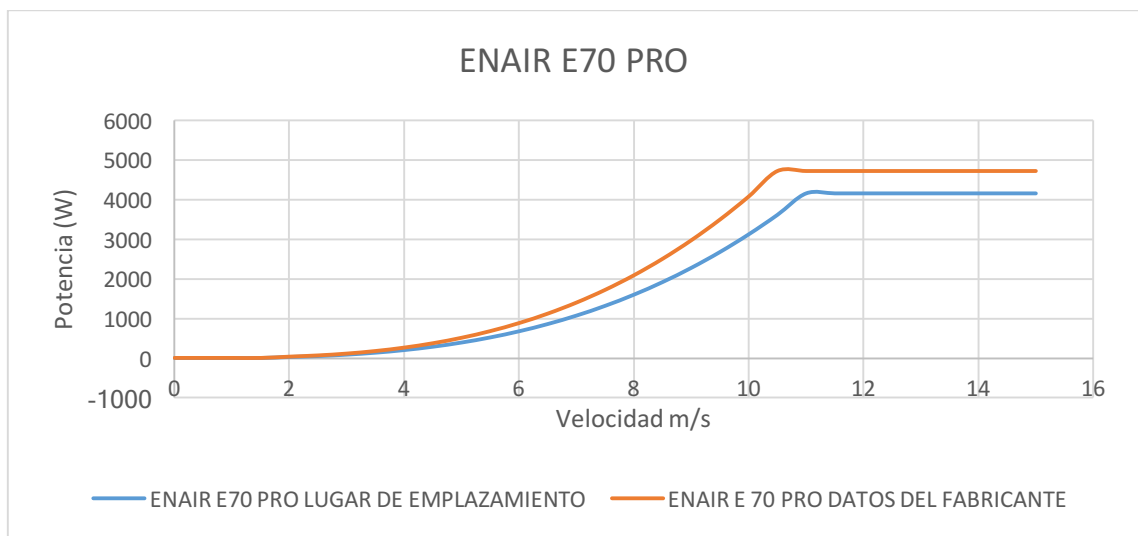
	ENAIR E70 PRO	TYD-WT-5000
Área de barrido	14,5 m <sup>2</sup>	17,5 m <sup>2</sup>
Densidad	1,225 $\frac{kg}{m^3}$	1,225 $\frac{kg}{m^3}$
Potencia	1400 W	1000 W
Velocidad	7 m/s	7m/s
<b>C<sub>p</sub></b>	<b>0,459</b>	<b>0,272</b>



**Figura 3-20 Coeficiente de Potencia de la turbina Enair e70 pro dado por el fabricante**

Fuente: (ENAIR, 2018)

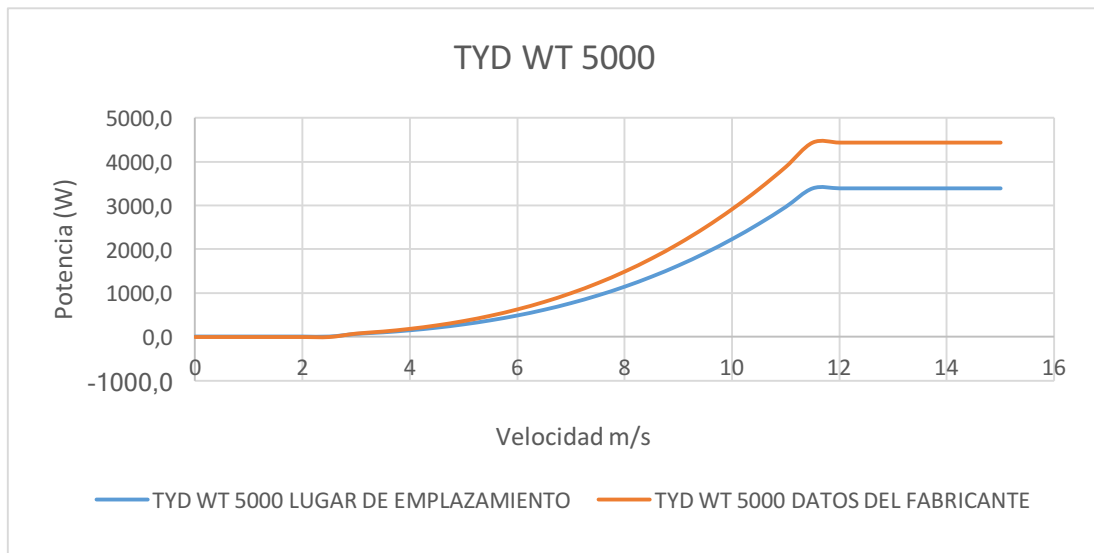
A continuación, se presenta dos figuras donde se puede observar la diferencia en las curvas de potencia, utilizando los parámetros característicos entregados por el fabricante y los parámetros nuevos calculados para el lugar de emplazamiento. Esta diferencia repercute en la producción total energética en los dos tipos de aerogeneradores.



**Figura 3-21 Curva de Potencia dado por el fabricante y la obtenida en el lugar de emplazamiento**

Fuente: (ENAIR, 2018); Elaboración propia





**Figura 3-22 Curva de Potencia dado por el fabricante y la obtenida en el lugar de emplazamiento**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Cálculo de la energía producida por los aerogeneradores Enair e70pro y Tyd-wt-5000

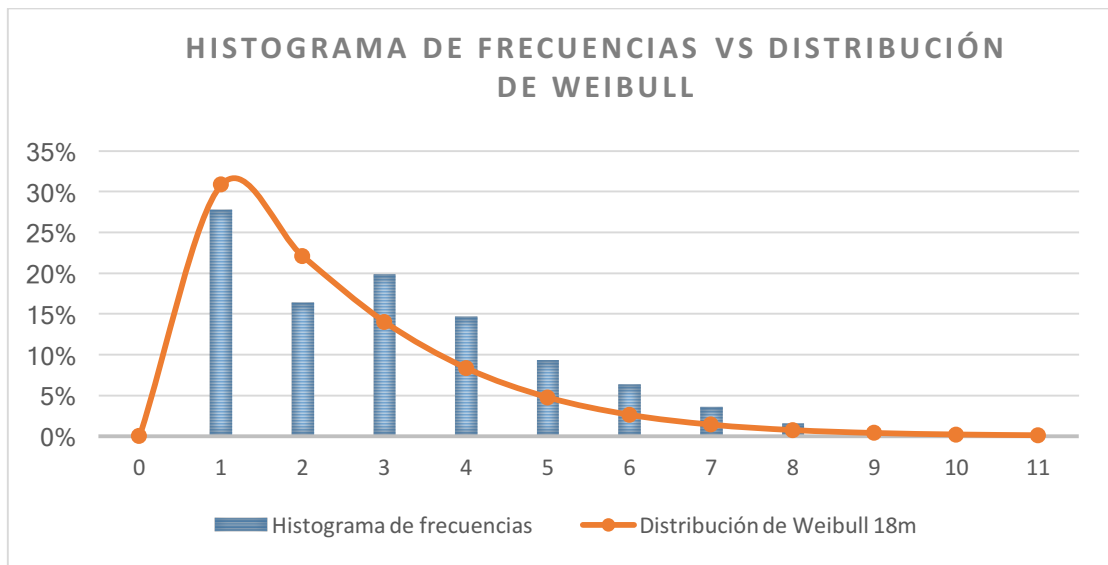
Para el cálculo energético se utilizará lo anteriormente calculado: densidad, coeficiente de potencia y la función de distribución de Weibull corregida a 18m. En la figura 3-23 se muestra la distribución de Weibull comparada con el histograma de frecuencias, en donde se puede apreciar que el comportamiento de la distribución con respecto a la cantidad de muestras tomadas; estos valores correspondientes a  $f(v)$  se multiplican por 8760 horas que tiene un año, para encontrar las horas años en que las velocidades estarán presentes y simultáneamente se multiplica por la potencia extraíble de la turbina (ecuación 7), para lo cual se considera el valor de densidad y el respectivo coeficiente de potencia de los aerogeneradores pudiendo así encontrar la energía anual producida; la misma que fue multiplicada por 0,95 que corresponde al rendimiento de los equipos de conexión a la red. (ENAIR, 2018)

Obsérvese la figura 3-24, en la que se compara las dos curvas de potencia en el lugar de emplazamiento. Cabe indicar, que en el caso de la turbina de eje horizontal la velocidad mínima para producir energía eléctrica es de 1,5 m/s y para la de eje vertical es de 2,5 m/s, por consiguiente, en los cálculos se consideró velocidades mayores a 2m/s y 3m/s respectivamente.



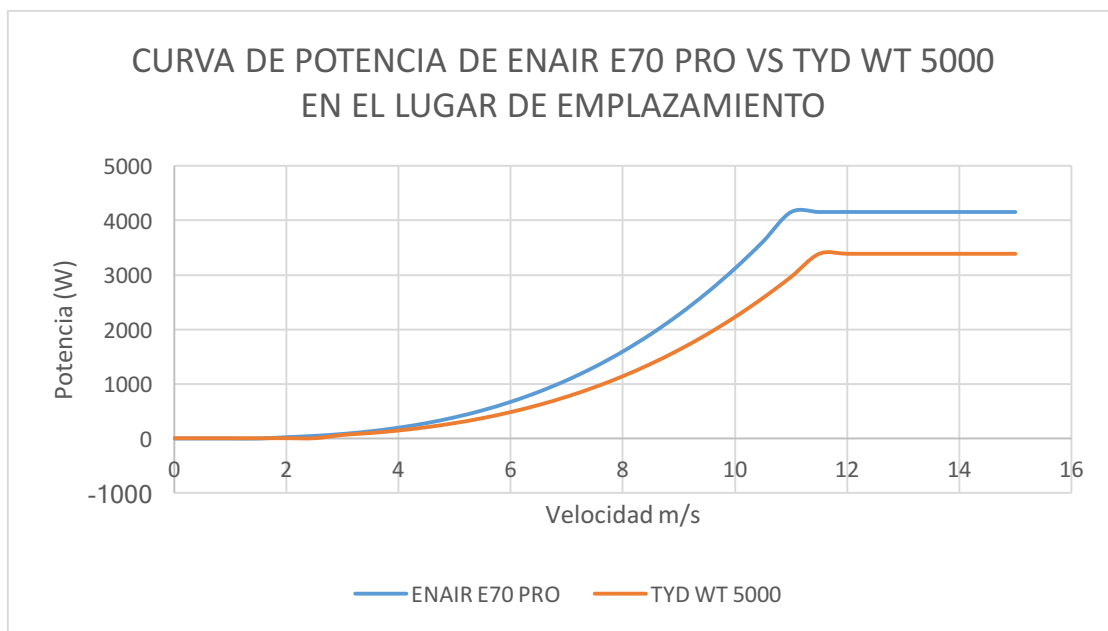
Universidad de Cuenca

Las tablas 3-12 y 3-13 muestran la producción total anual de energía eléctrica para cada uno de los aerogeneradores.



**Figura 3-23 Histograma de Frecuencias y función de Weibull**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3-24 Curvas de Potencia de los dos Aerogeneradores en el lugar de emplazamiento.**

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3-12 Producción energética de Enair e70 pro**

Fuente: Elaboración propia

Velocidad	Velocidad (intervalo)	f(v)	P(kW)	Horas Año	Energía(kWh/año)
0,0	0-0,5	0,0000	0,0000	0,00	0,00
1	0,5-1,5	0,3082	0,0000	2700,25	0,00
2	1,5-2,5	0,2204	0,0250	1930,30	48,23
3	2,5-3,5	0,1400	0,0843	1226,32	103,41
4	3,5-4,5	0,0833	0,1999	729,65	145,85
5	4,5-5,5	0,0473	0,3904	414,69	161,90
6	5,5-6,5	0,0260	0,6746	227,46	153,45
7	6,5-7,5	0,0138	1,0713	121,17	129,80
8	7,5-8,5	0,0072	1,5991	62,96	100,68
9	8,5-9,5	0,0037	2,2768	32,01	72,87
10	9,5-10,5	0,0018	3,1232	15,96	49,84
				<b>Total</b>	<b>917,71</b>

**Tabla 3-13 Producción energética de Tyd wt 5000.**

Fuente: Elaboración propia

Velocidad	Velocidad (intervalo)	f(v)	P(kW)	Horas Año	Energía(kWh/año)
0,0	0-0,5	0,0000	0,0000	0,00	0,00
1	0,5-1,5	0,3082	0,0000	2700,25	0,00
2	1,5-2,5	0,2204	0,0000	1930,30	0,00
3	2,5-3,5	0,1400	0,0602	1226,32	73,85
4	3,5-4,5	0,0833	0,1427	729,65	104,15
5	4,5-5,5	0,0473	0,2788	414,69	115,61
6	5,5-6,5	0,0260	0,4817	227,46	109,58
7	6,5-7,5	0,0138	0,7650	121,17	92,69
8	7,5-8,5	0,0072	1,1419	62,96	71,89
9	8,5-9,5	0,0037	1,6259	32,01	52,04
10	9,5-10,5	0,0018	2,2303	15,96	35,59
				<b>Total</b>	<b>622,63</b>

A partir de estos datos se procedió a calcular el factor de planta de cada aerogenerador, obteniéndose así los siguientes resultados:

$$F_{planta_{EnairE70pro}} = \frac{917,71 \text{ kWh}}{8760h * 4kW} = 2,62\%$$

$$F_{planta_{TYD WT 5000}} = \frac{622,63 \text{ kWh}}{8760h * 5kW} = 1,42\%$$



Universidad de Cuenca

### **3.5. Producción energética del parque fotovoltaico ubicado en el campus Balzay**

A diferencia, del parque mini eólico, en este caso, ya se tiene datos de generación de electricidad, debido a esto, se procederá a analizar la información proporcionada por los inversores, estación meteorológica y el sistema SCADA del laboratorio. Como ya se mencionó anteriormente, se encuentra instalado 4 tipos de tecnologías: Paneles fijos monocristalinos, paneles fijos policristalinos, paneles policristalinos móviles a un eje y paneles policristalinos móviles a dos ejes. La gran ventaja al analizar simultáneamente estas tecnologías es que, los datos de generación fueron obtenidos bajos las mismas condiciones como: radiación solar, temperatura, nubosidad, etc.

En el caso de los datos estación meteorológica y del SCADA (datos de los paneles fijos) la información que se pudo recopilar fue de cada minuto del día, a lo largo del año, en cambio para los paneles móviles la información fue de cada 5 minutos, por lo que se optó por agrupar toda la información en el intervalo de 5 minutos; por diferentes circunstancias ya sea por trabajos en el laboratorio o mantenimiento de los equipos, no se tiene información de todos los días del año debido a esto, se agrupo la información para los días en donde no hubo ninguna eventualidad, para posteriormente encontrar un promedio de un día para cada mes.

Cabe recalcar, que antes del 5 de mayo del 2018 no se dispone de datos de generación eléctrica de los paneles móviles a dos ejes.

A partir de los datos de radiación solar obtenidos de la estación meteorológica, se analizó la cantidad de energía obtenida durante los días medidos, es decir la irradiación solar, de tal manera encontrar el promedio de las H.S.P que mantienen la irradiancia ideal de  $1000 \frac{w}{m^2}$ . En la figura 3-25 y tabla 3-14 muestra los valores de obtenidos

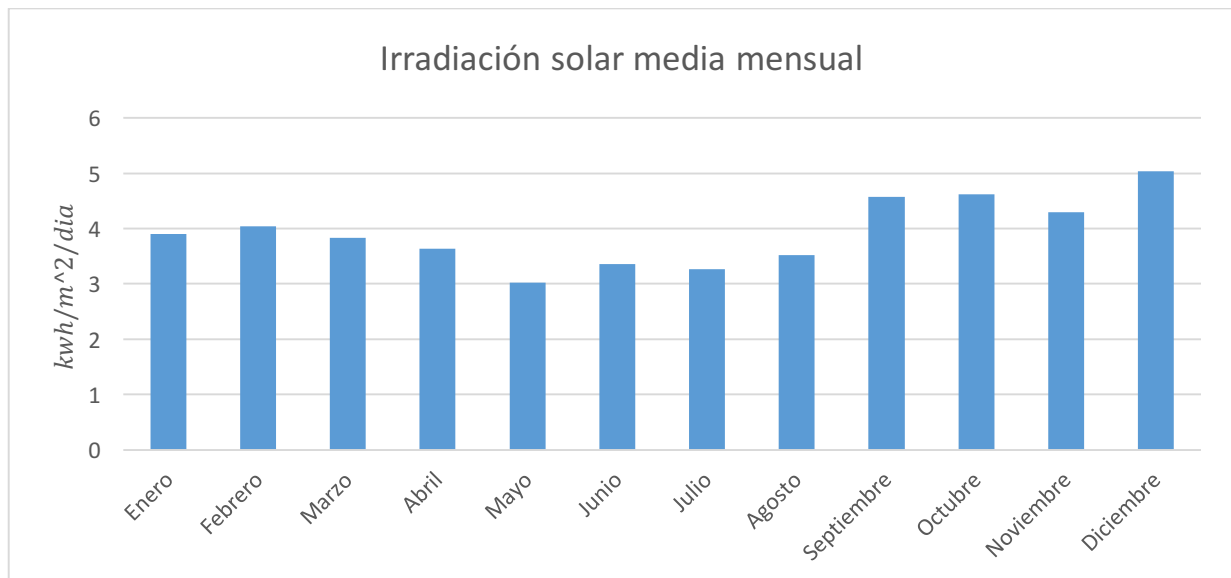
De la tabla 3-14 se determina que el recurso solar estará presente 1550,79 horas del año con una radiación solar de  $1000 \frac{w}{m^2}$ .



**Tabla 3-14 Valores de irradiancia solar del año 2018**

Fuente: Elaboración propia

Mes	Días	Irradiación solar diaria $kWh/m^2/dia$	Irradiación solar mensual $kWh/m^2/mes$
Enero	31	3,9	120,9
Febrero	28	4,04	113,12
Marzo	31	3,83	118,73
Abril	30	3,63	108,9
Mayo	31	3,02	93,62
Junio	30	3,36	100,8
Julio	31	3,26	101,06
Agosto	31	3,52	109,12
Septiembre	30	4,57	137,1
Octubre	31	4,62	143,22
Noviembre	30	4,3	129
Diciembre	31	5,03	155,93
<b>Promedio</b>		3,92	119,29
<b>Total anual</b>		<b><math>kWh/m^2/año</math></b>	<b>1550,79</b>



**Figura 3-25 Irradiación solar media mensual del año 2018.**

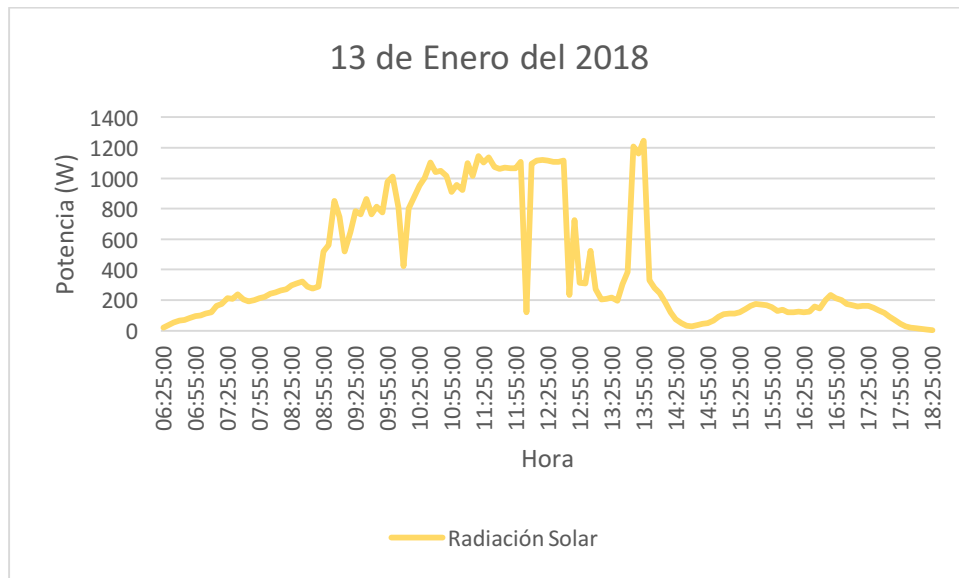
Fuente: Elaboración propia

Remítase al anexo 4 , en donde se observa la generación del parque solar fotovoltaico ubicado en Balzay.

Universidad de Cuenca

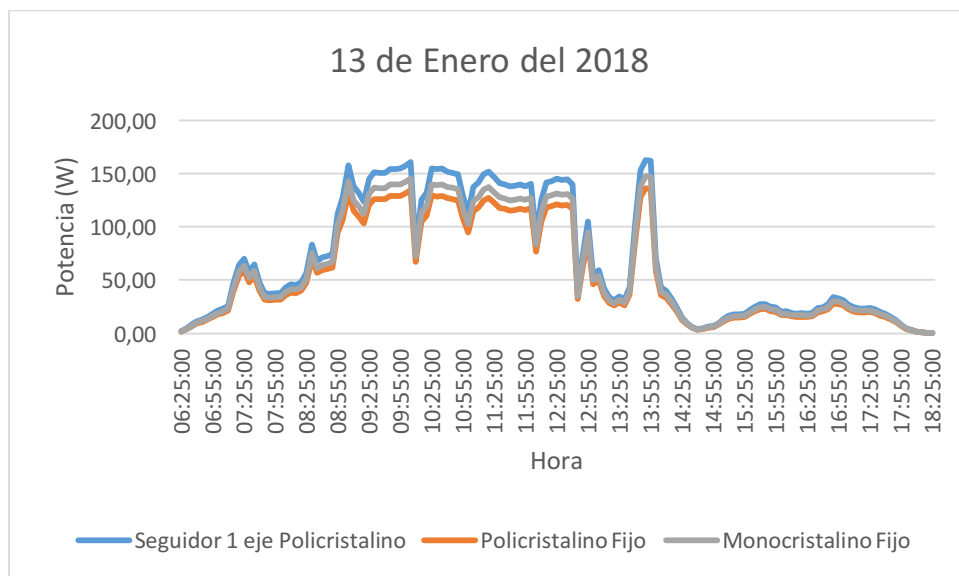
Los resultados que se presentan a continuación, son por unidad de  $m^2$ , el área de cada panel instalado es de  $1,63 m^2$ . Las tablas a continuación, mostraran los valores de energía de los diferentes días del mes, en cambio las gráficas: la radiación solar y la potencia de un día del mes de las diferentes tecnologías instaladas.

### 3.5.1. Enero



**Figura 3-26 Radiación solar de un día del mes de enero**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-27 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de enero.**

Fuente: Elaboración propia

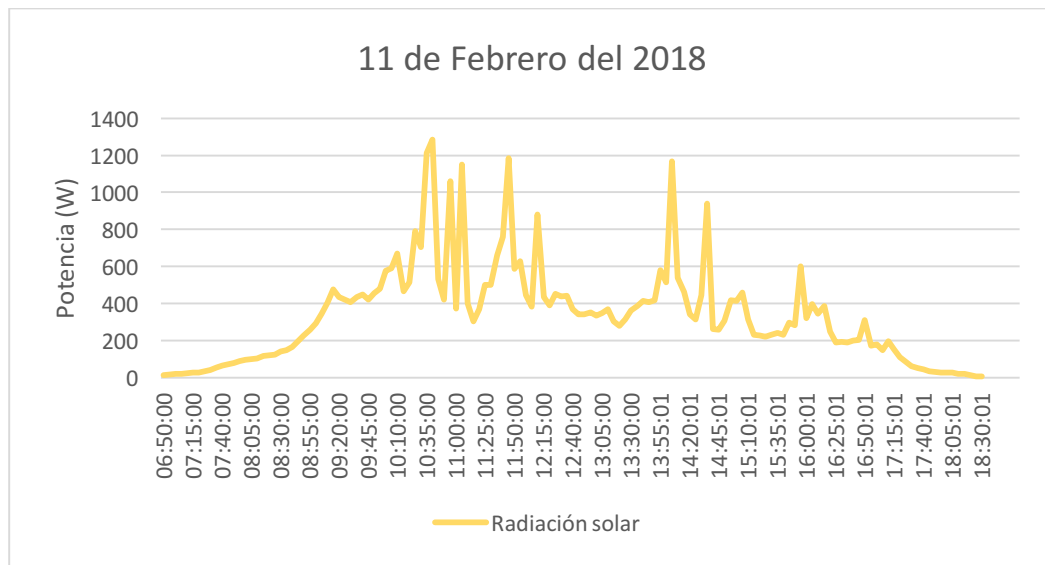


**Tabla 3-15 Producción energética del mes de enero**

Fuente: Elaboración propia

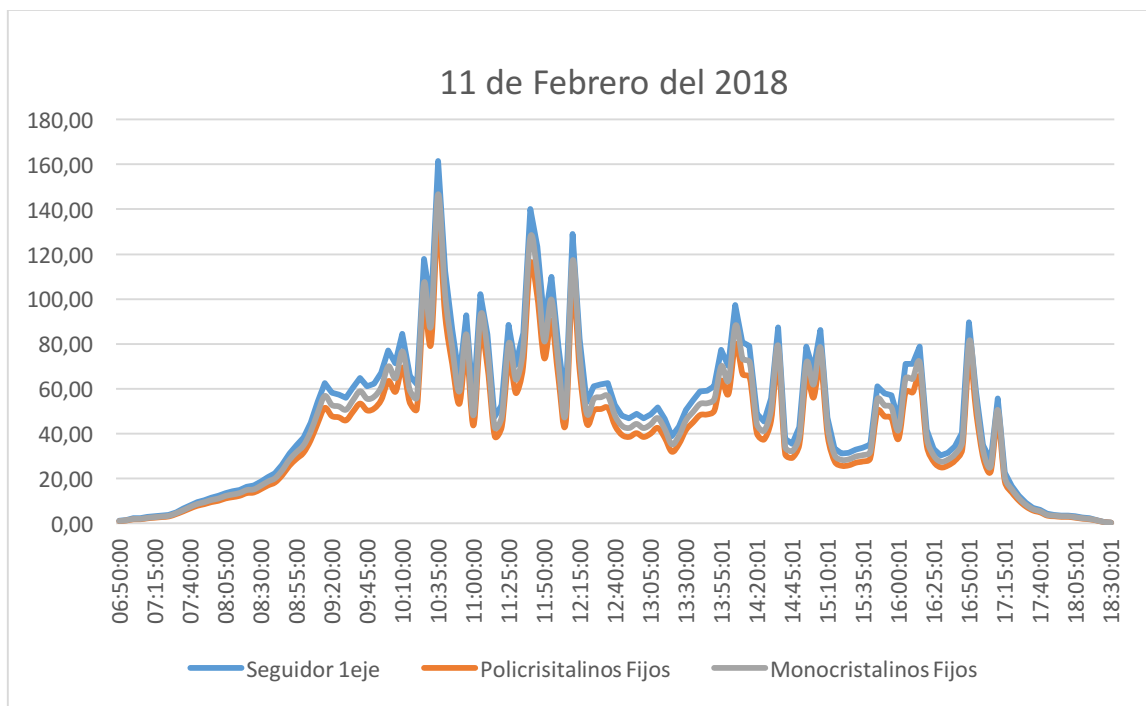
ENERO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )			
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos
5/1/18	663,77	553,76	598,97
6/1/18	768,98	632,20	705,40
7/1/18	707,10	594,69	627,50
8/1/18	1194,03	1001,66	1068,73
9/1/18	1191,43	993,74	1106,47
10/1/18	1159,00	950,44	1050,83
11/1/18	867,00	721,63	786,08
12/1/18	620,59	510,26	563,31
13/1/18	697,66	580,55	628,80
14/1/18	821,60	672,71	758,84
15/1/18	617,26	515,94	570,09
16/1/18	351,70	293,81	318,24
17/1/18	517,91	432,07	474,25
18/1/18	538,65	453,02	501,70
19/1/18	704,04	590,62	639,06
20/1/18	477,50	398,27	430,37
21/1/18	486,75	399,16	453,52
22/1/18	599,47	498,95	549,91
23/1/18	685,56	574,56	628,87
24/1/18	542,64	451,55	503,95
25/1/18	494,73	405,08	449,07
26/1/18	447,14	373,75	412,99
27/1/18	656,14	547,39	611,13
28/1/18	817,26	671,89	761,46
29/1/18	1011,63	834,01	897,75
Promedio	705,58	586,07	643,89

### 3.5.2. Febrero



**Figura 3-28 Radiación solar de un día del mes de febrero**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-29 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de febrero.**

Fuente: Elaboración propia



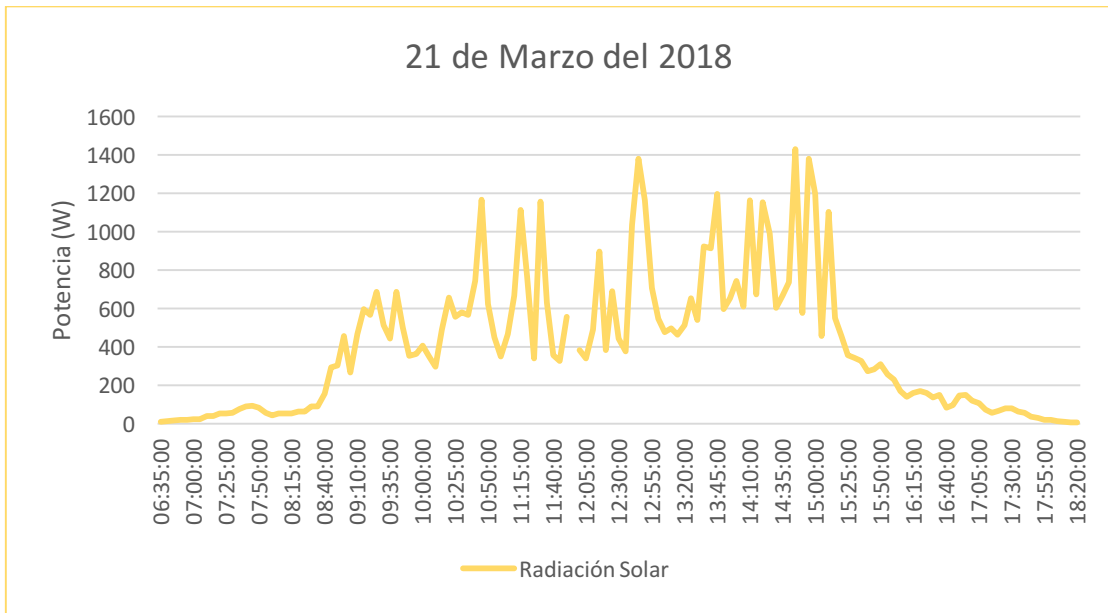


**Tabla 3-16 Producción energética del mes de febrero**

Fuente: Elaboración propia.

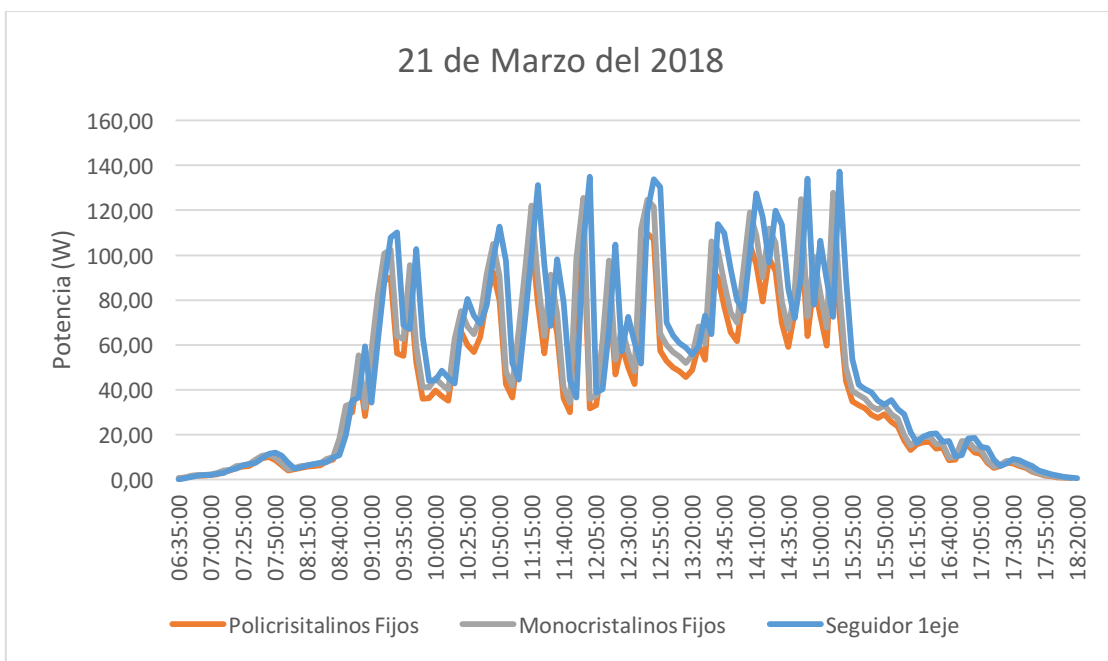
FEBRERO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )			
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos
1/2/18	838,05	699,15	756,23
2/2/18	242,34	199,24	222,31
3/2/18	446,40	375,44	396,15
4/2/18	1119,56	939,19	1002,08
5/2/18	1196,68	998,12	1111,34
6/2/18	405,12	332,22	367,31
9/2/18	684,61	569,81	620,71
10/2/18	866,54	712,49	786,55
11/2/18	560,97	466,80	505,60
12/2/18	1135,39	929,63	1048,66
13/2/18	871,28	728,26	804,70
14/2/18	536,71	448,37	485,65
15/2/18	354,24	295,53	324,38
16/2/18	441,49	371,30	411,20
17/2/18	394,15	330,65	357,77
18/2/18	933,89	778,94	841,71
19/2/18	470,35	385,71	438,24
20/2/18	468,84	390,23	430,07
21/2/18	879,23	736,87	806,53
22/2/18	760,80	633,08	706,54
23/2/18	727,03	595,27	659,92
24/2/18	1386,65	1159,04	1280,72
25/2/18	1425,86	1189,55	1328,06
26/2/18	973,76	800,55	907,28
27/2/18	901,62	743,32	800,13
Promedio	760,86	632,35	695,99

### 3.5.3. Marzo



**Figura 3-30 Radiación solar de un día del mes de marzo**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-31 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de marzo.**

Fuente: Elaboración propia

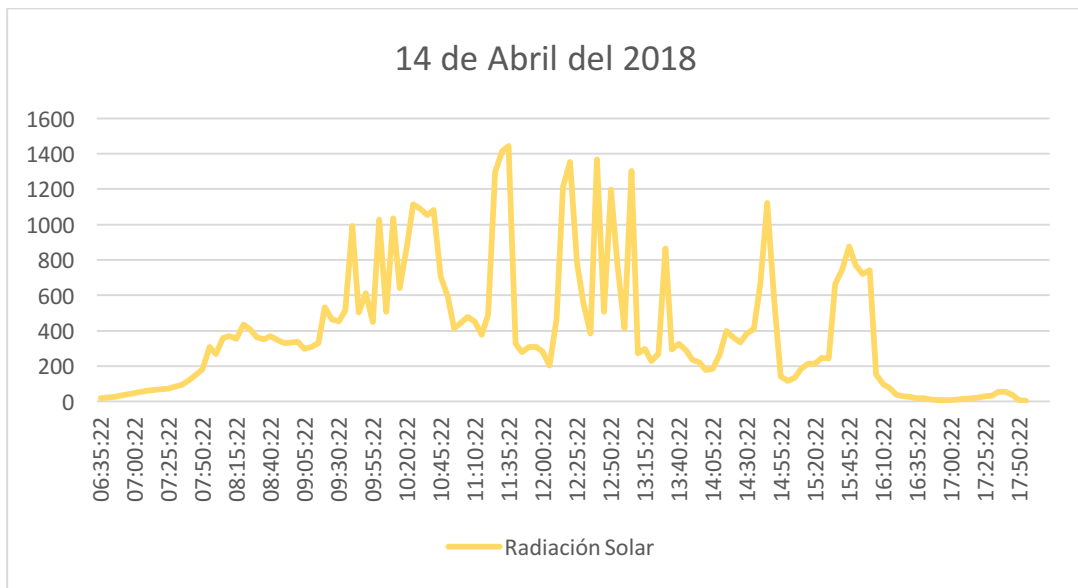


**Tabla 3-17 Producción energética del mes de marzo**

Fuente: Elaboración propia

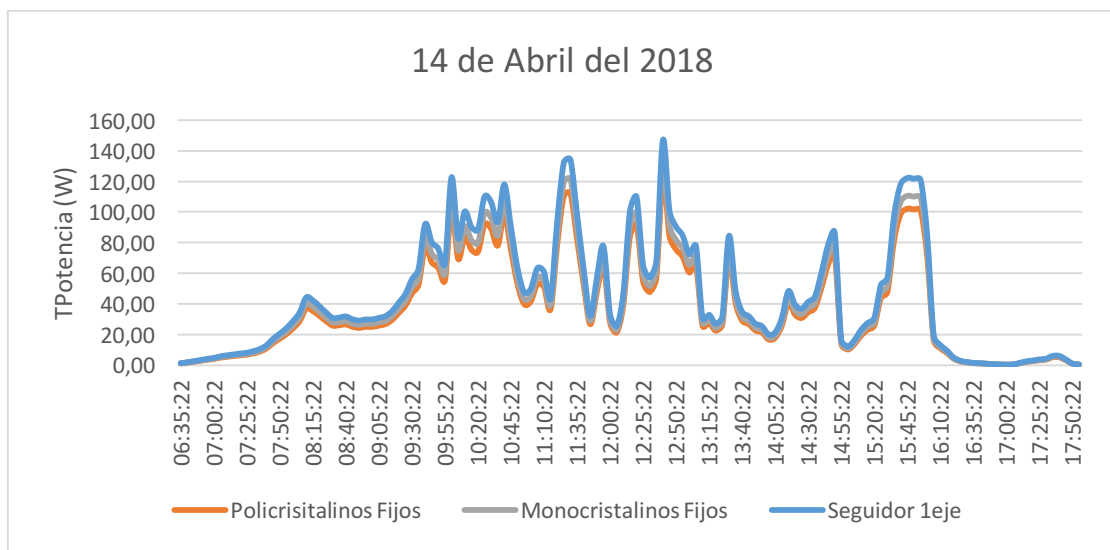
MARZO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )			
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos
1/3/18	760,63	634,57	686,37
4/3/18	571,16	469,57	523,93
5/3/18	613,20	515,72	544,17
6/3/18	425,47	356,92	380,82
7/3/18	421,45	351,53	391,40
8/3/18	450,27	369,24	408,24
9/3/18	682,43	568,00	618,74
12/3/18	899,99	740,00	816,92
13/3/18	868,29	722,53	782,58
14/3/18	946,32	774,82	874,03
15/3/18	805,66	673,41	744,09
16/3/18	678,91	567,16	614,32
17/3/18	579,75	483,67	530,89
18/3/18	724,95	609,71	675,22
19/3/18	406,17	340,73	368,68
20/3/18	692,91	577,94	624,52
21/3/18	702,10	575,76	654,17
22/3/18	810,50	674,60	743,49
23/3/18	467,57	391,87	428,91
24/3/18	646,93	538,33	600,80
25/3/18	949,65	777,55	861,99
26/3/18	333,57	278,82	308,09
27/3/18	904,26	754,39	842,23
28/3/18	638,16	524,65	594,59
29/3/18	587,71	484,53	521,55
Promedio	662,72	550,24	605,63

3.5.4. Abril



**Figura 3-32 Radiación solar de un día del mes de abril**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-33 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de abril.**

Fuente: Elaboración propia



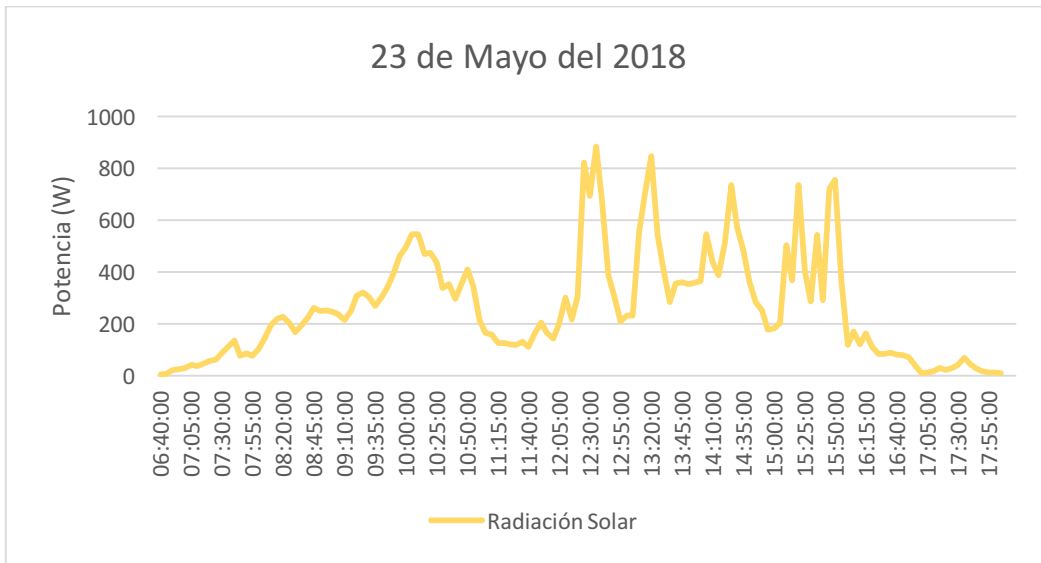
**Tabla 3-18 Producción energética del mes de abril.**

Fuente: Elaboración propia

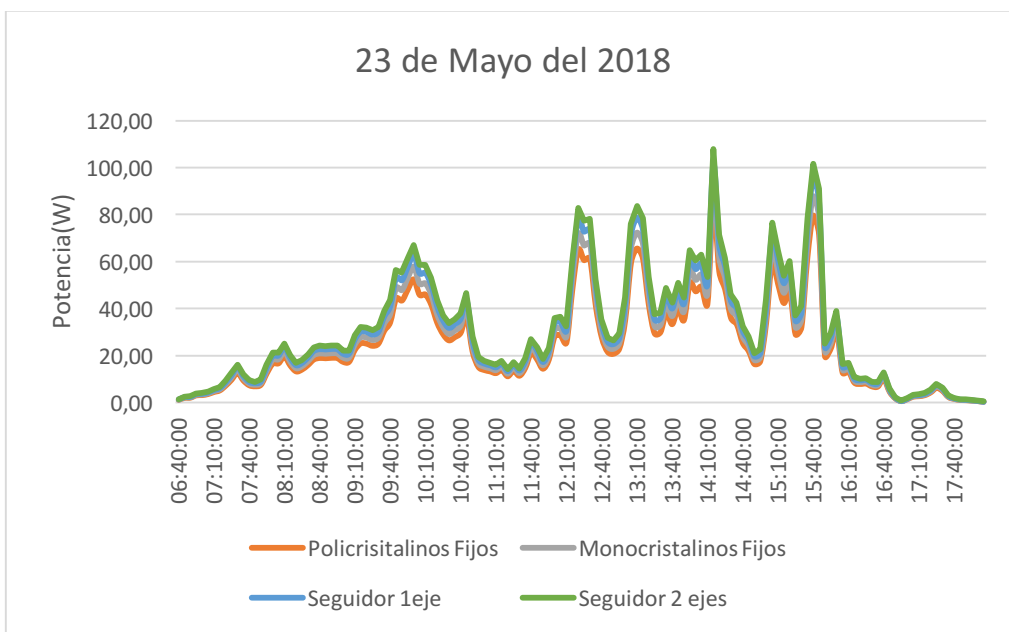
ABRIL ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )			
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos
2/4/18	499,27	416,53	450,53
3/4/18	455,14	374,18	417,50
5/4/18	557,73	469,07	494,94
6/4/18	645,41	541,43	577,68
7/4/18	719,58	600,18	668,26
8/4/18	610,02	500,24	553,08
9/4/18	715,37	595,42	648,60
10/4/18	632,34	519,93	573,98
11/4/18	1202,24	1000,42	1083,57
12/4/18	1305,59	1068,98	1205,86
13/4/18	506,30	423,19	467,61
14/4/18	610,50	510,01	552,42
15/4/18	544,90	454,59	498,97
16/4/18	263,87	221,92	245,77
17/4/18	299,91	251,59	272,23
18/4/18	554,83	462,77	500,06
19/4/18	436,75	358,16	406,93
20/4/18	920,55	766,20	844,44
21/4/18	480,04	402,32	440,34
22/4/18	629,50	523,83	584,61
23/4/18	571,69	468,09	518,93
24/4/18	957,95	800,71	884,77
25/4/18	509,78	425,29	474,82
26/4/18	423,65	348,30	394,73
27/4/18	545,04	449,35	483,68
28/4/18	239,18	197,65	216,67
29/4/18	547,96	452,70	494,55
30/4/18	525,45	433,98	472,49
Promedio	615,94	511,09	562,60



3.5.5. Mayo



**Figura 3-34 Radiación solar de un día del mes de mayo**  
 Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-35 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de mayo.**  
 Fuente: Elaboración propia



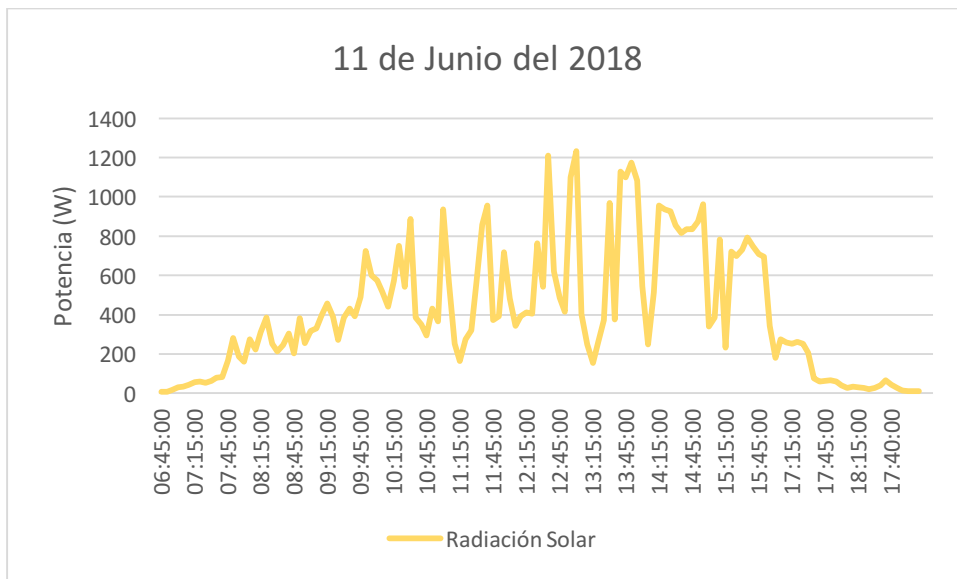
**Tabla 3-19 Producción energética del mes de mayo**

Fuente: Elaboración propia

MAYO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
5/5/18	738,51	616,11	666,42	801,41
6/5/18	492,31	404,74	451,60	536,47
7/5/18	275,02	231,30	244,06	299,83
8/5/18	770,23	646,14	689,40	835,75
9/5/18	430,27	358,88	399,58	468,48
10/5/18	581,88	477,17	527,57	631,44
11/5/18	488,21	406,35	442,64	531,92
12/5/18	590,34	485,39	535,85	643,59
13/5/18	564,35	469,61	508,65	611,04
14/5/18	760,36	622,57	702,28	823,27
15/5/18	749,13	626,17	691,89	814,96
16/5/18	332,12	277,46	300,53	358,25
17/5/18	508,56	424,27	465,69	549,88
18/5/18	510,31	429,18	475,30	549,80
19/5/18	612,27	513,63	555,75	661,12
20/5/18	583,05	486,31	525,49	626,74
21/5/18	653,01	535,50	608,43	708,08
22/5/18	668,74	556,61	613,44	724,42
23/5/18	462,27	387,43	424,05	506,86
24/5/18	385,23	320,56	357,76	409,76
25/5/18	488,19	399,72	443,13	528,31
26/5/18	365,00	305,09	337,12	403,54
27/5/18	357,02	297,85	332,53	387,28
28/5/18	622,07	511,42	579,60	673,61
29/5/18	512,55	422,56	454,85	554,94
30/5/18	524,67	433,57	475,28	567,98
31/5/18	680,58	562,26	614,25	736,65
Promedio	539,02	447,48	492,21	584,30

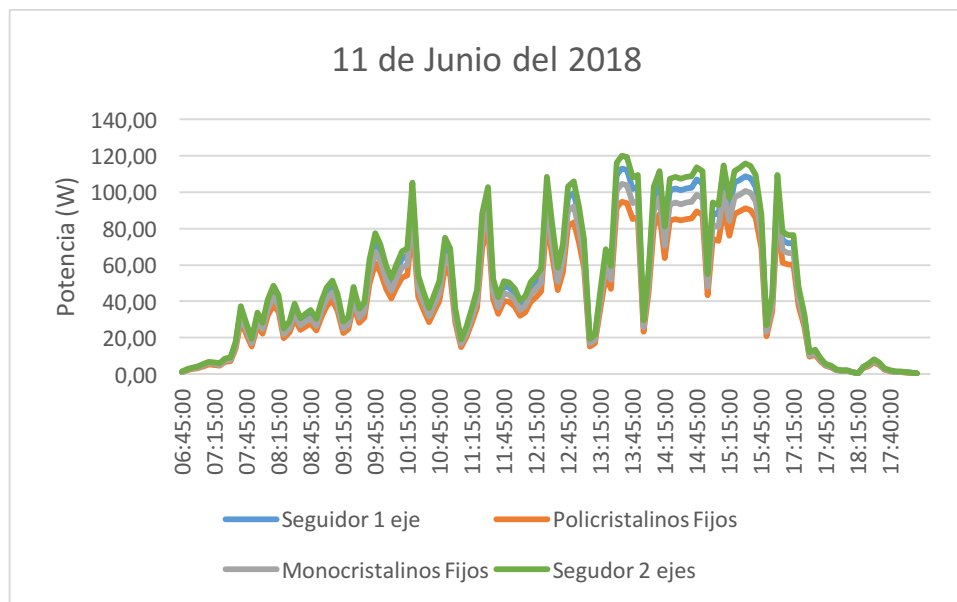


3.5.6. Junio



**Figura 3-36 Radiación solar de un día del mes de junio**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-37 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de junio.**

Fuente: Elaboración propia



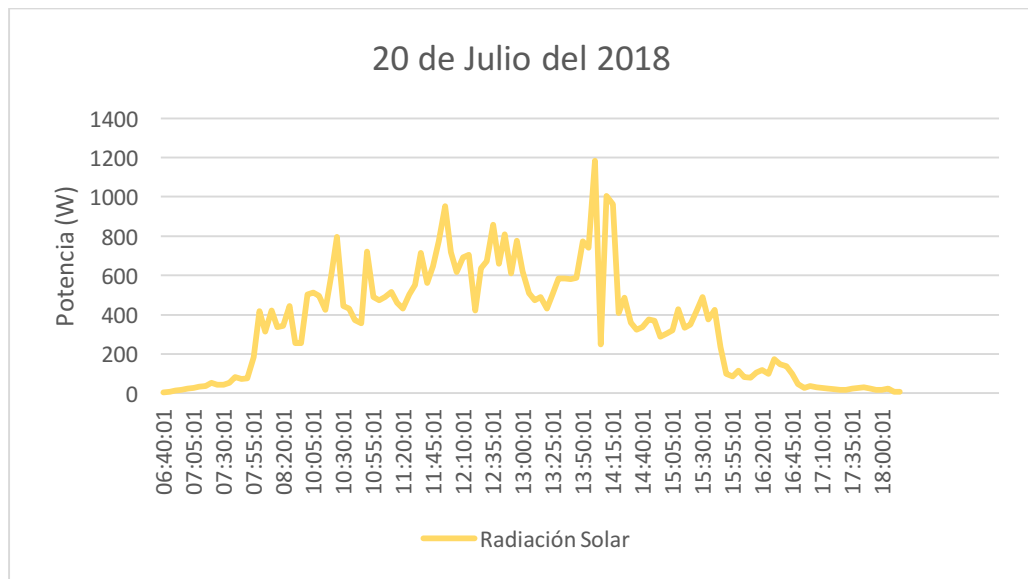


**Tabla 3-20 Producción energética del mes de junio**

Fuente: Elaboración propia

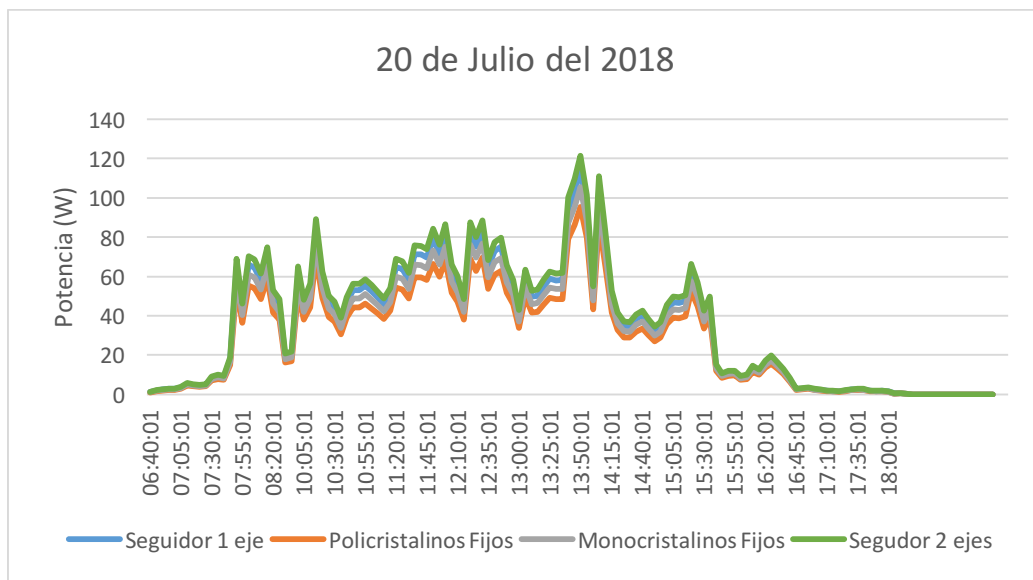
JUNIO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/6/18	970,25	809,45	875,53	1052,88
2/6/18	652,75	536,64	598,77	711,29
3/6/18	476,61	400,85	422,96	519,61
4/6/18	619,32	519,55	554,33	672,01
5/6/18	342,90	286,01	318,45	373,36
6/6/18	825,99	677,36	748,90	896,34
7/6/18	1075,35	895,04	974,99	1171,64
8/6/18	485,40	399,11	440,60	529,18
9/6/18	665,21	553,54	599,55	720,24
10/6/18	694,64	568,76	641,58	752,11
11/6/18	797,04	666,21	736,13	867,07
12/6/18	541,41	452,29	489,90	584,00
13/6/18	1173,53	979,03	1074,62	1268,88
14/6/18	398,09	334,80	370,78	428,90
15/6/18	564,01	473,14	511,95	609,01
16/6/18	253,45	211,40	228,43	272,44
17/6/18	201,38	165,14	187,63	218,37
18/6/18	245,81	204,60	225,49	266,28
19/6/18	300,79	252,09	275,92	329,80
20/6/18	1106,60	920,83	1027,69	1177,08
21/6/18	714,00	584,60	648,09	772,68
22/6/18	479,56	400,84	442,93	530,20
23/6/18	569,43	475,05	530,37	617,69
24/6/18	744,14	611,78	693,33	805,80
25/6/18	515,55	425,03	457,51	558,19
26/6/18	311,17	257,16	284,87	336,86
27/6/18	641,00	529,42	586,57	696,92
28/6/18	436,41	360,23	399,18	472,73
29/6/18	419,35	345,94	383,42	455,92
30/6/18	427,48	352,43	390,68	464,32
Promedio	583,47	483,83	534,04	632,11

3.5.7. Julio



**Figura 3-38 Radiación solar de un día del mes de Julio**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-39 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de Julio.**

Fuente: Elaboración propia

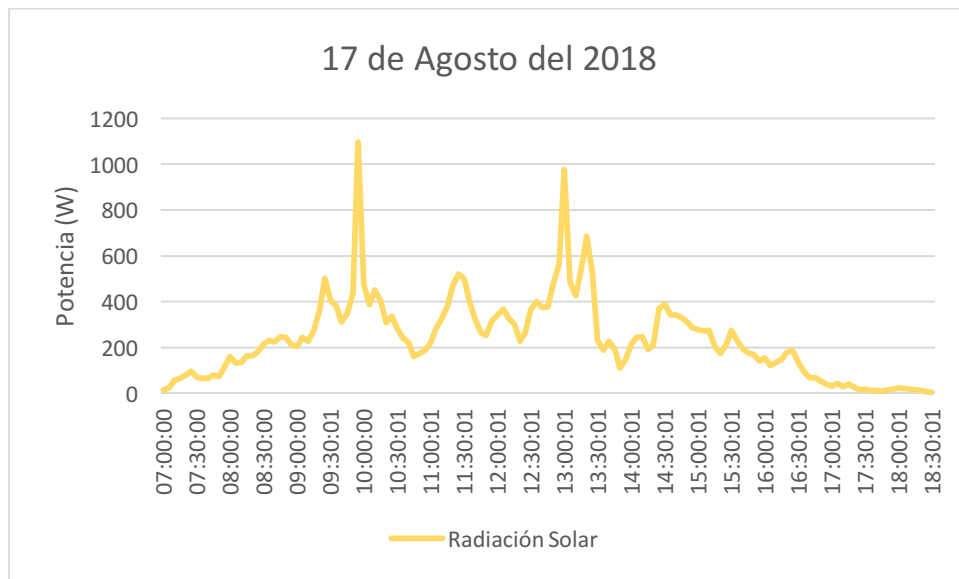


**Tabla 3-21 Producción energética del mes de Julio.**

Fuente: Elaboración propia

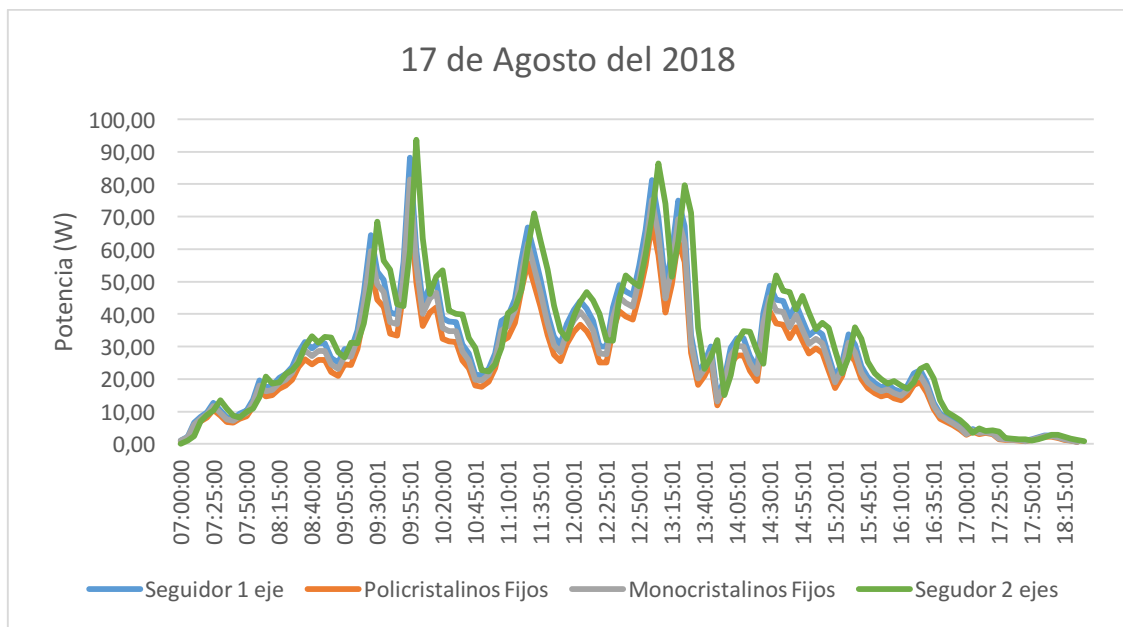
JULIO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/7/18	833,35	695,24	752,00	904,32
2/7/18	1121,13	921,71	1028,43	1221,69
3/7/18	631,18	530,85	560,13	688,12
4/7/18	361,48	303,24	323,55	392,23
5/7/18	435,27	363,05	404,23	473,93
6/7/18	751,11	615,94	681,00	815,07
7/7/18	577,68	480,81	523,76	629,40
8/7/18	406,21	334,00	368,72	442,86
9/7/18	495,94	412,69	446,99	536,97
10/7/18	477,47	390,94	440,99	516,97
11/7/18	457,22	382,17	422,28	497,39
12/7/18	388,53	324,58	351,57	419,10
13/7/18	304,28	253,85	278,63	329,00
14/7/18	461,84	388,42	430,16	497,59
16/7/18	984,81	826,15	893,91	1063,39
17/7/18	376,44	313,98	339,28	404,64
18/7/18	545,12	447,02	507,90	591,08
19/7/18	466,05	387,90	427,51	504,85
20/7/18	434,79	364,40	398,84	476,72
21/7/18	550,97	458,47	511,68	586,06
22/7/18	416,52	341,03	378,07	450,75
23/7/18	592,18	494,98	546,95	654,71
25/7/18	368,34	307,29	343,07	399,56
26/7/18	530,90	436,47	494,66	570,69
27/7/18	286,31	236,04	254,08	310,45
28/7/18	841,03	695,04	769,93	911,06
29/7/18	788,69	651,40	721,72	864,75
30/7/18	670,63	553,55	613,42	713,34
31/7/18	539,38	444,95	493,16	583,71
Promedio	525,91	436,21	481,70	569,76

### 3.5.8. Agosto



**Figura 3-40 Radiación solar de un día del mes de agosto**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-41 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de agosto.**

Fuente: Elaboración propia

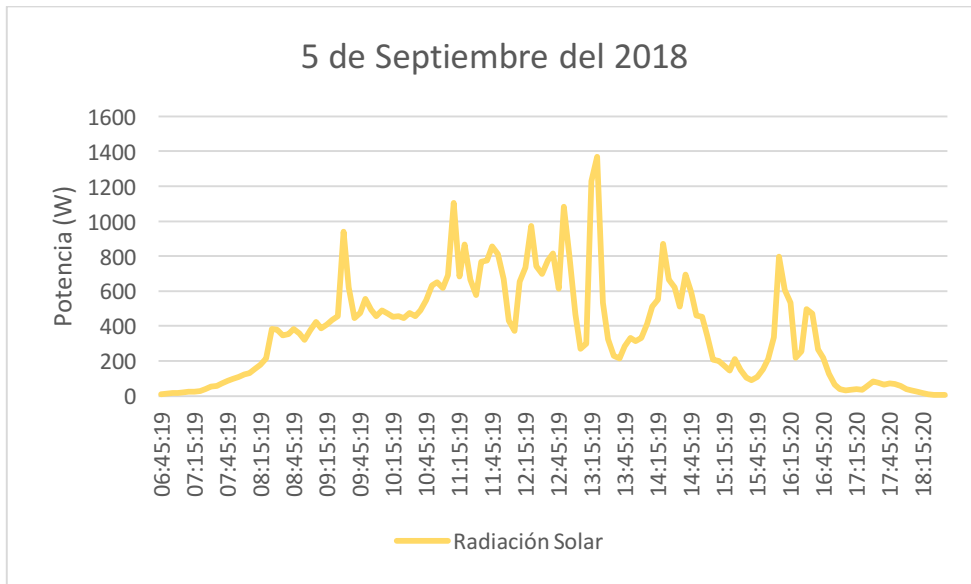


**Tabla 3-22 Producción energética del mes de agosto**

Fuente: Elaboración propia

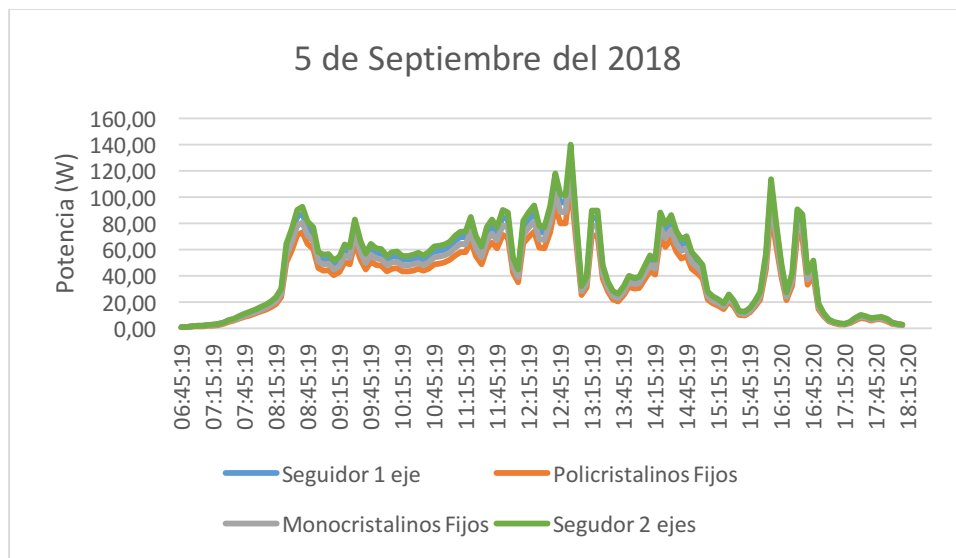
AGOSTO ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/8/18	496,24	414,00	447,79	538,50
2/8/18	968,61	796,32	888,52	1055,49
3/8/18	827,34	695,82	734,20	901,96
4/8/18	768,91	645,04	688,23	834,32
5/8/18	778,46	649,30	722,95	847,61
6/8/18	727,07	596,23	659,21	788,99
7/8/18	900,61	749,60	816,55	981,25
8/8/18	421,04	346,19	382,18	459,02
9/8/18	548,36	456,31	494,24	593,73
10/8/18	497,47	407,32	459,47	538,63
11/8/18	500,89	418,67	462,61	544,90
12/8/18	778,09	650,02	704,06	839,29
13/8/18	568,35	474,16	520,45	614,53
14/8/18	670,90	564,25	624,88	722,83
15/8/18	457,01	383,39	414,83	493,48
16/8/18	422,83	352,67	381,09	454,52
17/8/18	495,90	406,66	462,04	537,71
18/8/18	722,94	601,72	663,17	783,14
19/8/18	668,89	560,59	613,58	733,39
20/8/18	495,79	412,56	460,43	527,36
21/8/18	399,80	327,35	362,90	432,66
22/8/18	678,76	567,35	626,91	750,43
23/8/18	957,25	798,60	891,59	1038,38
24/8/18	1169,19	961,22	1089,36	1256,80
25/8/18	627,62	517,42	556,96	680,54
26/8/18	367,98	304,11	336,87	398,62
27/8/18	324,26	267,81	296,72	355,53
28/8/18	353,90	292,12	323,71	376,44
29/8/18	542,78	447,76	496,27	587,39
30/8/18	458,43	377,95	418,97	499,49
Promedio	590,24	489,68	540,76	639,56

### 3.5.9. Septiembre



**Figura 3-42 Radiación solar de un día del mes de septiembre**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-43 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de septiembre.**

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3-23 Producción energética del mes de septiembre**

Fuente: Elaboración propia

SEPTIEMBRE ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/9/18	437,70	365,16	394,97	474,98
2/9/18	593,50	487,93	544,43	646,73
3/9/18	566,43	476,38	502,66	617,52
4/9/18	323,26	271,18	289,34	350,76
5/9/18	746,52	622,65	693,28	812,82
6/9/18	1203,55	986,97	1091,22	1306,05
7/9/18	895,89	745,67	812,27	976,11
8/9/18	626,81	515,37	568,95	683,35
9/9/18	327,96	272,91	295,59	355,09
10/9/18	259,57	212,53	239,74	281,04
11/9/18	806,87	674,43	745,21	877,77
12/9/18	634,72	530,25	574,34	684,65
13/9/18	851,48	710,36	779,71	920,66
14/9/18	662,67	557,33	617,22	713,96
15/9/18	835,14	700,59	758,05	901,77
16/9/18	798,19	665,76	719,40	858,01
17/9/18	640,98	525,64	597,22	695,03
18/9/18	1299,66	1081,74	1192,20	1407,88
19/9/18	766,03	642,01	702,70	839,91
20/9/18	1079,82	898,55	1002,82	1148,59
21/9/18	278,17	227,76	252,49	301,03
22/9/18	272,75	227,98	251,92	301,55
23/9/18	517,42	431,67	481,93	561,28
24/9/18	988,48	812,65	920,99	1076,28
25/9/18	777,42	640,92	689,90	843,62
26/9/18	721,54	596,29	660,55	786,15
27/9/18	923,75	762,95	845,31	1007,08
28/9/18	1085,99	896,41	993,35	1175,84
29/9/18	859,35	708,90	785,71	930,44
30/9/18	1003,60	827,40	917,21	1091,78
Promedio	764,71	634,12	699,84	829,00

3.5.10. Octubre

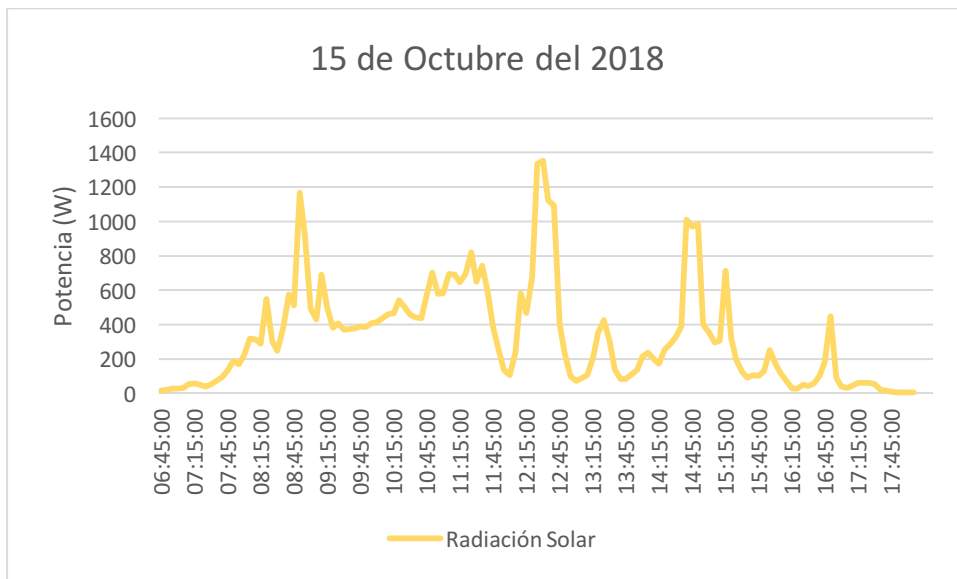


Figura 3-44 Radiación solar de un día del mes de octubre

Fuente: Elaboración propia

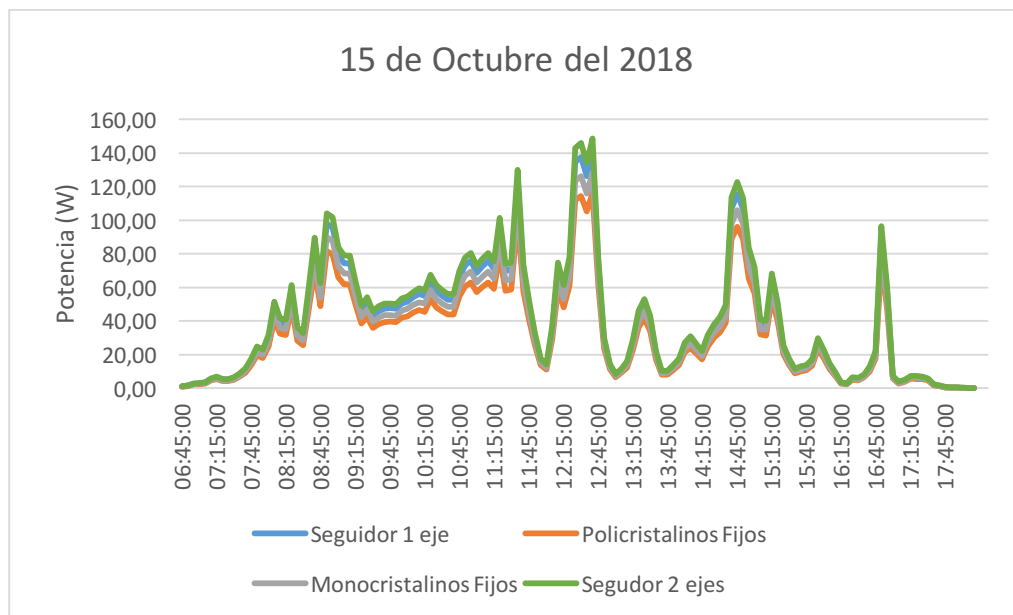


Figura 3-45 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de octubre.

Fuente: Elaboración propia



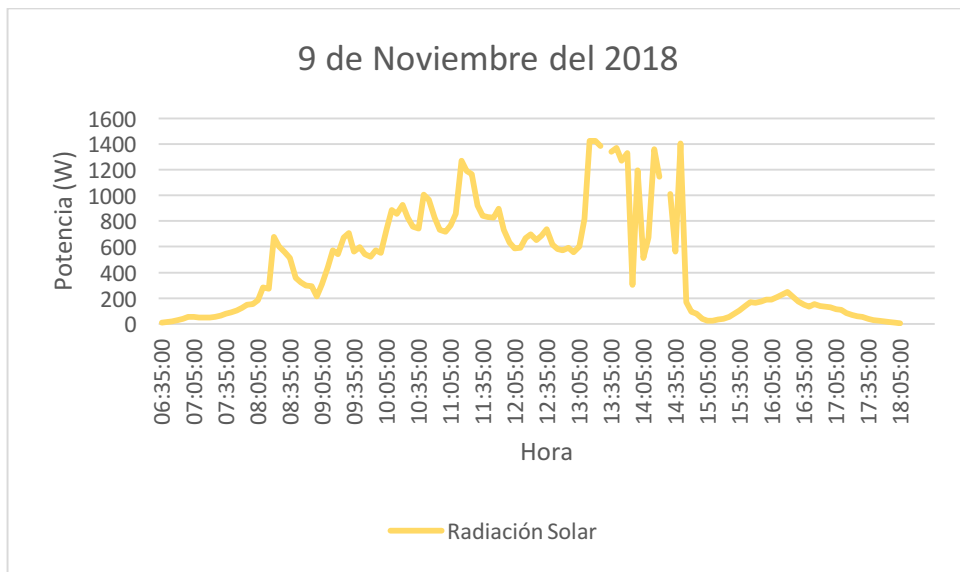


**Tabla 3-24 Producción energética del mes de octubre**

Fuente: Elaboración propia

OCTUBRE ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/10/18	421,05	351,27	379,95	456,91
2/10/18	798,84	656,74	732,79	870,49
3/10/18	649,55	546,29	576,43	708,14
4/10/18	437,07	366,66	391,21	474,25
5/10/18	551,20	459,75	511,90	600,16
6/10/18	414,68	340,06	375,97	449,99
7/10/18	733,39	610,42	664,94	799,06
8/10/18	798,03	656,15	724,37	870,01
9/10/18	810,62	674,54	730,60	877,68
10/10/18	517,17	423,44	477,66	559,95
11/10/18	998,20	834,35	921,92	1085,91
12/10/18	1182,44	987,81	1069,94	1275,45
13/10/18	696,34	580,93	637,65	752,92
14/10/18	900,53	757,38	838,76	970,23
15/10/18	839,42	704,18	761,94	906,40
16/10/18	920,92	768,12	830,02	989,93
17/10/18	686,48	562,95	639,61	744,37
18/10/18	654,80	545,01	600,66	709,32
19/10/18	870,56	729,61	798,58	954,51
20/10/18	611,86	509,14	568,23	650,83
21/10/18	944,31	773,18	857,15	1021,92
22/10/18	864,90	722,93	798,83	956,22
23/10/18	1139,80	950,89	1061,62	1236,40
24/10/18	1181,32	971,20	1100,67	1286,25
25/10/18	846,00	697,47	750,76	918,05
26/10/18	693,84	573,40	635,18	755,96
27/10/18	514,81	425,19	471,09	561,25
28/10/18	556,65	459,47	509,16	602,70
29/10/18	636,58	525,13	582,03	689,24
30/10/18	1108,22	913,66	1012,83	1205,59
31/10/18	793,91	654,13	725,26	861,11
<b>Promedio</b>	<b>820,04</b>	<b>680,43</b>	<b>750,78</b>	<b>889,65</b>

3.5.11. Noviembre



**Figura 3-46 Radiación solar de un día del mes de noviembre**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-47 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de noviembre.**

Fuente: Elaboración propia



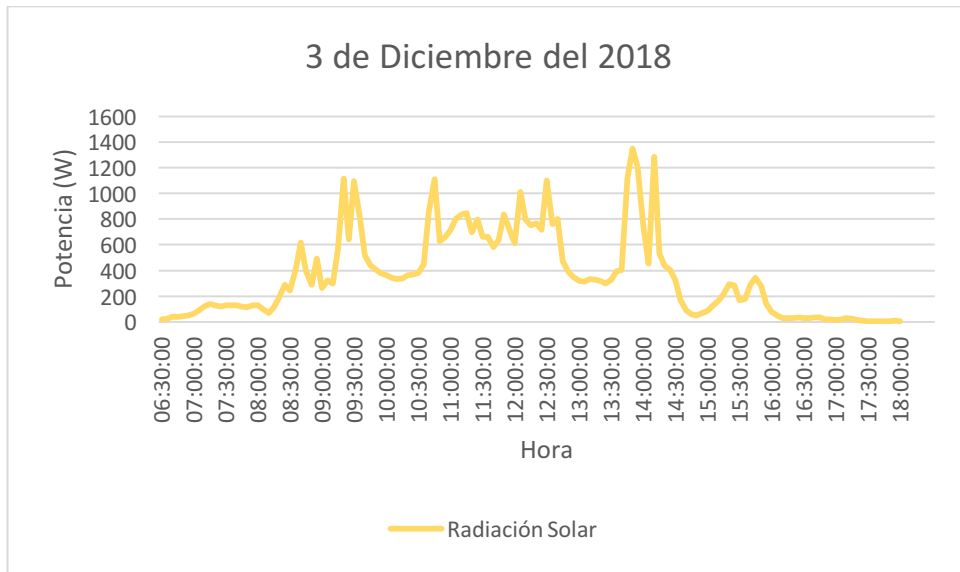
**Tabla 3-25 Producción energética del mes de noviembre**

Fuente: Elaboración propia

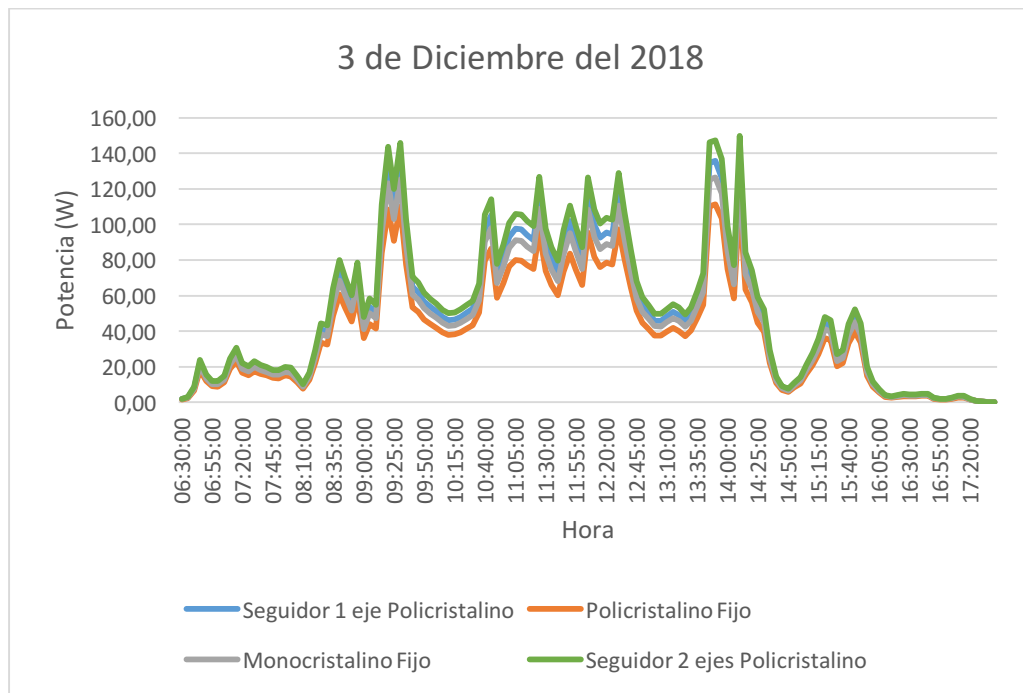
NOVIEMBRE ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/11/18	527,63	440,18	476,12	572,57
2/11/18	513,31	422,00	470,86	559,35
3/11/18	886,90	745,92	787,06	966,91
4/11/18	860,62	721,97	770,31	933,82
5/11/18	616,30	514,04	572,35	671,04
6/11/18	1058,75	868,23	959,94	1148,92
7/11/18	802,11	667,61	727,24	873,93
8/11/18	654,74	538,34	594,31	713,80
10/11/18	614,94	511,71	554,24	665,81
11/11/18	800,15	655,14	739,03	866,35
12/11/18	862,57	720,98	796,65	938,36
13/11/18	842,08	703,48	761,97	908,32
15/11/18	797,54	661,00	730,29	862,34
16/11/18	948,68	786,01	869,72	1022,11
17/11/18	663,19	549,30	608,72	716,11
18/11/18	664,52	550,22	610,67	714,31
19/11/18	523,05	432,95	481,24	567,16
20/11/18	528,28	437,13	486,64	572,27
21/11/18	758,68	627,58	699,71	831,84
22/11/18	554,83	458,81	512,33	590,17
23/11/18	969,97	801,85	896,74	1049,69
24/11/18	865,21	715,02	800,85	956,57
25/11/18	830,33	685,98	769,50	900,71
26/11/18	540,37	446,28	492,25	585,08
27/11/18	635,67	524,82	579,75	688,25
28/11/18	936,49	772,94	855,13	1018,78
29/11/18	812,58	670,45	729,53	876,49
30/11/18	739,52	609,98	664,72	799,61
Promedio	732,82	607,46	669,94	795,03



3.5.12. Diciembre



**Figura 3-48 Radiación solar de un día del mes de diciembre**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3-49 Potencia de las diferentes tecnologías en un día del mes de diciembre.**  
Fuente: Elaboración propia

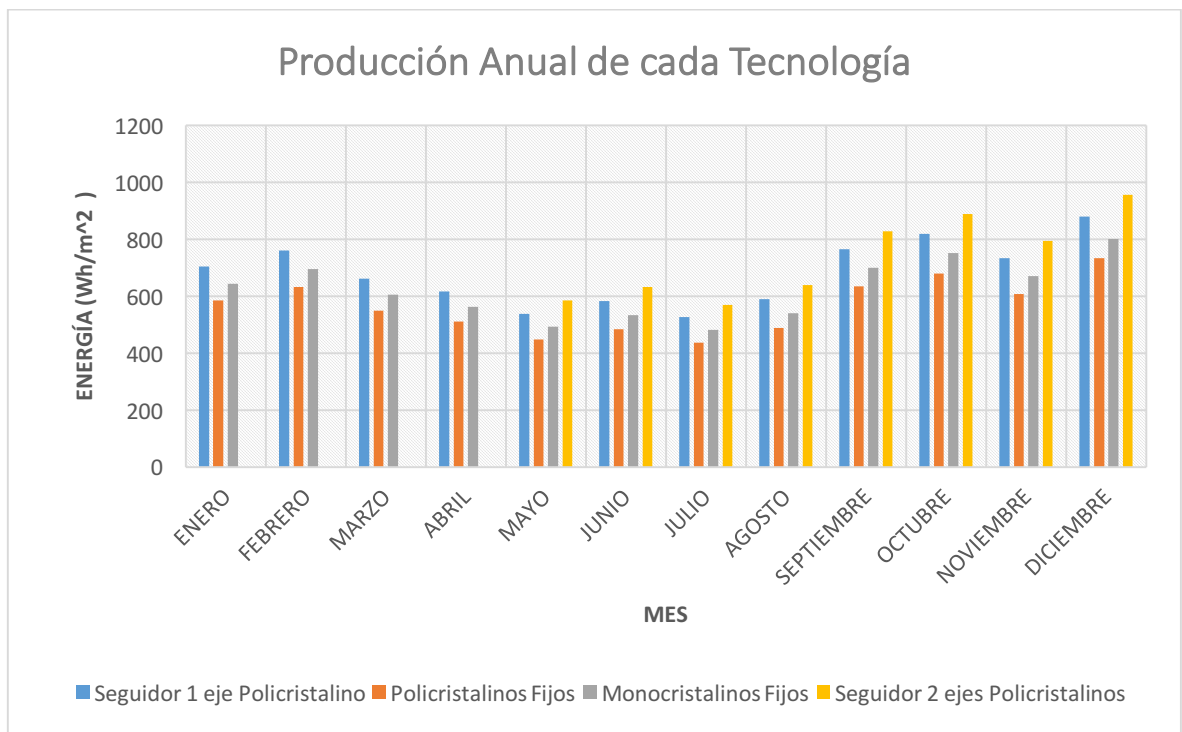


**Tabla 3-26 Producción energética del mes de diciembre**

Fuente: Elaboración propia

DICIEMBRE ENERGÍA (Wh/m <sup>2</sup> )				
Día	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
1/12/18	1018,37	858,25	932,49	1105,10
3/12/18	735,44	615,19	669,31	801,40
4/12/18	917,65	760,06	834,61	1000,42
5/12/18	803,84	672,06	725,37	872,22
6/12/18	920,50	768,29	839,97	1002,26
Promedio	879,16	734,77	800,35	956,28

La figura 3-50 muestra la comparación en la producción anual de energía, con las distintas tecnologías. La tabla 3-27 expresa un resumen anual de energía obtenida por los paneles solares con sus respectivas aplicaciones



**Figura 3-50 Producción energética anual.**

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3-27 Producción energética anual.**

Fuente: Elaboración propia

RESUMEN ENERGÍA ANUAL Wh/m <sup>2</sup>				
MES	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
ENERO	705,58	586,07	643,89	-
FEBRERO	760,86	632,35	695,99	-
MARZO	662,72	550,24	605,63	-
ABRIL	615,94	511,09	562,60	-
MAYO	539,02	447,48	492,21	584,30
JUNIO	583,47	483,83	534,04	632,11
JULIO	525,91	436,21	481,70	569,76
AGOSTO	590,24	489,68	540,76	639,56
SEPTIEMBRE	764,71	634,12	699,84	829,00
OCTUBRE	820,04	680,43	750,78	889,65
NOVIEMBRE	732,82	607,46	669,94	795,03
DICIEMBRE	879,16	734,77	800,35	956,28
PROMEDIO	681,71	566,14	623,14	736,96

A partir, de los datos obtenidos se puede señalar que la de mayor rendimiento es la tecnología de paneles policristalinos móviles a dos ejes con 736,96 Wh por día. Por lo tanto, al analizar los paneles policristalinos en los 3 diferentes escenarios (fijos, móviles a un eje y móviles a dos ejes), se concluye que: Se puede obtener un 28,5 % más de energía con un seguidor solar a dos ejes y un 18,2 % más de energía con un seguidor de un eje. Además, con los paneles monocristalinos se puede obtener un 10% más de energía con respecto a los policristalinos.

En la sección 2.3.5 y 2.3.7 se referencio valores a cerca de los rendimientos de las diferentes tecnologías, los mismos que se pueden comparar con los obtenidos en la sección 3-5.

Si se construiría proyectos similares a los estudiados en nuestra zona los factores de planta de cada tecnología estarían bordeando valores alrededor de:



$$F_{planta_{PolycristalinosFijos}} = \frac{(0,566 * 365) \frac{kWh}{m^2} * 1,63m^2}{8760h * 0,25kW} = 15,5\%$$

$$F_{planta_{MonocristalinosFijos}} = \frac{(0,6231 * 365) \frac{kWh}{m^2} * 1,63m^2}{8760h * 0,25kW} = 17,02\%$$

$$F_{planta_{Polycristalinos 1eje}} = \frac{(0,68171 * 365) \frac{kWh}{m^2} * 1,63m^2}{8760h * 0,25kW} = 18,52\%$$

$$F_{planta_{Polycristalinos 2 ejes}} = \frac{(0,73696 * 365) \frac{kWh}{m^2} * 1,63m^2}{8760h * 0,25kW} = 20,00\%$$



Universidad de Cuenca

#### 4. **Análisis económico de las distintas tecnologías instaladas**

El análisis económico es la etapa final en donde se presenta en términos monetarios la fiabilidad de construir o no un proyecto sin importar la índole. En el presente capítulo estará dividido en cuatro secciones: La primera una base conceptual de los términos o conceptos económicos que permiten analizar la viabilidad económica de los proyectos, en la segunda parte se dará hincapié a la normativa ecuatoriana vigente sobre los proyectos de energía renovable no convencionales, la tercera parte consiste en analizar los precios de instalación de las tecnologías y por último se mostrarán los resultados obtenidos.

Para la sección tres y cuatro serán realizados por dos diferentes metodologías. Debido a que, después de analizar técnicamente la energía mini eólica se encontraron valores muy bajos de energía anual producida. Por lo tanto, para el caso de la energía mini eólica se analizará como si fuera una empresa privada que solo inyecta energía a la red y los precios serán calculados para el total de la instalación. En cambio, para la energía solar fotovoltaica se basará en la nueva regulación 042/18 "Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica", que fue publicada el 22 de Octubre del 2018 por parte del ARCONEL, en donde establece las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaica (uSFV) de hasta 100kW de capacidad nominal instalada, ubicados en techos, superficies de edificaciones para los consumidores de tipo residencial. En este caso, los cálculos serán realizados para un edificio típico en la zona urbana de 6 pisos, 24 abonados y una superficie de  $200 m^2$ . Los datos de energía serán tomados del cuadro de demandas máximas diversificadas de la Centrosur y para los precios se encontrará un equivalente por  $m^2$  para cada una de las 4 tecnologías SFV.

##### 4.1. **Viabilidad económica**

Es la parte final de todo el análisis sobre la realización de proyectos de inversión, en este caso proyectos energéticos o alternativas energéticas, de igual forma a como se evalúa cualquier tipo de proyectos financieros. A continuación, se describe los conceptos económicos VAN, TIR y PAYBACK.





Universidad de Cuenca

#### 4.1.1. Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto de un proyecto de inversión es la suma algebraica del valor actualizado de todos los flujos de fondos (ingresos y egresos) que se hayan realizado, o se han de realizar en el futuro en relación con él, durante un período determinado de tiempo. Se representa por la siguiente formula:

$$VAN = -Inversión + \sum_{t=1}^n \frac{Fc}{(1+i)^n} \quad (1)$$

En donde,  $Fc$  representa los flujos de caja e  $i$  la tasa de descuento. De acuerdo con el modelo del VAN, si se trata de evaluar un proyecto de inversión, si su VAN es mayor a cero será realizado. Si se trata de elegir entre varios proyectos excluyentes entre sí, se debería realizar el del valor actual neto mayor. Para el desarrollo se utilizará un  $i=6\%$ .

#### 4.1.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto sea igual a cero. Además, es un indicador de rentabilidad del proyecto; a mayor TIR, mayor rentabilidad. Se considera que una inversión es aconsejable si el TIR resultante es igual o superior a la exigida por el inversor. En este caso, será de 6%, debido a que es tomado en trabajos similares y a partir de este valor el riesgo de la inversión disminuye. (Guerrero Dumas & León Brabo, 2018)

#### 4.1.3. Pay-Back

El periodo de recuperación o pay-back, es el tiempo que un proyecto tarda en recuperar los fondos de inversión, es decir desde que tiempo el proyecto empieza a generar dinero. Es un indicador de riesgo puesto que a mayor tiempo de recuperación de inversión mayor será la incertidumbre. (Baca Urbina, 2001)

$$PayBack = \frac{\text{Costo de inversión}}{\text{Flujos de cajas anuales}} \quad (2)$$

#### 4.1.4. Otros factores para la evaluación de proyectos de inversión energéticos.

- Las medidas de apoyo vigentes, establecidas por organismos oficiales, pueden contribuir a modificar los costos de la inversión: ayudas, subvenciones, créditos, etc.
- Los impuestos, lo que podría dar lugar a reducciones de costos por la vía de privilegios o rebajas.



Universidad de Cuenca

- Las variaciones de los precios de energía.
- La tasa de inflación, que afecta al conjunto de la economía.

#### 4.2. Normativa Ecuatoriana

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (**LOSPEE**), que está en vigencia desde el 16 de enero del 2015 en uno de sus artículos indica que se debe “Desarrollar mecanismos de promoción por parte del Estado, que incentiven el aprovechamiento técnico y económico de recursos energéticos, con énfasis en las fuentes renovables. El ente regulador del sector eléctrico es la Agencia de Regulación y Control del Energía (**ARCONEL**) que en el caso de la generación eólica la regulación **ARCONEL-004-15** “Requerimientos Técnicos para la Conexión y Operación de Generadores Renovables No Convencionales a Las Redes de Transmisión y Distribución ” en la sección 5.1.2 es la que se encuentra vigente y en la que se estipula los lineamientos técnicos que deben cumplir los generadores de energía, con el objeto de mantener la calidad y confiabilidad de la energía, siendo estos:

- Prueba de desempeño de potencia del aerogenerador, mediante la cual se obtendrá la curva de potencia del aerogenerador en el lugar de emplazamiento y así determinar la producción anual de energía.
- Medición y evaluación de la calidad de potencia de las turbinas eólicas conectadas a la red; con el que se analizará el impacto de las turbinas en la calidad del voltaje.
- Certificado de conformidad; con lo cual se verifica que el aerogenerador cumple con todos los requerimientos técnicos.

Además, en la misma regulación, en el capítulo 3 indica los requerimientos operativos como el control de potencia activa o reactiva, calidad de energía y respuesta ante fallas externas. (Arconel, 2015)

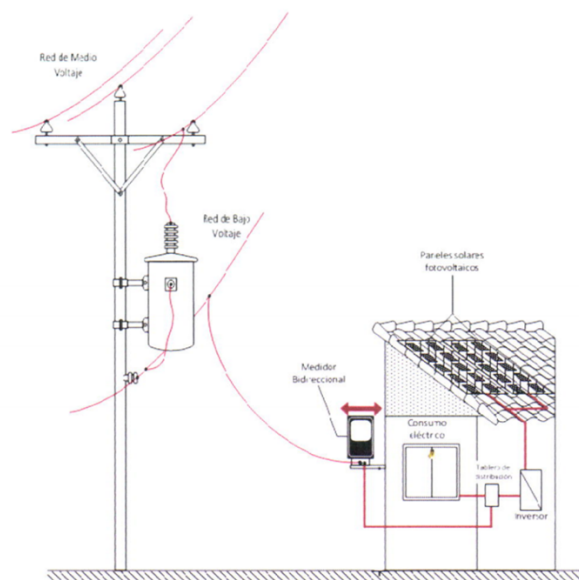
En cambio, para el caso de la generación fotovoltaica se considerara la regulación **ARCONEL-003-18** “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, en la que se establece las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaica; hasta una capacidad nominal instalada de 100 kW, ubicados en techos, superficies de viviendas

Universidad de Cuenca

o edificaciones para las categorías residencial. El proyecto debe conectarse con las redes de bajo medio voltaje de la empresa distribuidora, según la figura 4-1.

Dentro de la categoría general se considera a los consumidores:

- a) Locales y establecimientos comerciales públicos o privados.
- b) Locales públicos o privados destinados a la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial y sus oficinas administrativas.
- c) Instalaciones de Bombeo de Agua.
- d) Entidades de Asistencia Social.
- e) Entidades de Beneficio Público.
- f) Entidades Oficiales.
- g) Escenarios Deportivos.
- h) Culto Religioso.
- i) Servicio Comunitario.
- j) Y los demás que no estén considerados en la Categoría Residencial.



**Figura 4-1 Esquema de conexión a la red de distribución.**

Fuente: (Arconel, 2018)

Los requerimientos técnicos son los siguientes:

- Diagrama unifilar de la instalación.
- Especificaciones generales del equipamiento.
- Esquema de conexión a la red de distribución de medio o bajo voltaje.
- Modo de conexión.



## Universidad de Cuenca

- Estudio del sistema de protecciones y equipo de seccionamiento.
- Aspectos técnicos complementarios respecto a las protecciones, a fin de cumplir con los estándares y requerimiento de la empresa de distribución.
- Número y potencia de los paneles fotovoltaicos.
- Potencia total instalada del sistema fotovoltaico.
- Estimación de la producción energética mensual y anual del proyecto.
- Características de los inversores.
- Potencia de cortocircuito.
- Las características del punto de entrega y medición.

En cuanto a la parte comercial de la energía producida, será destinada únicamente al autoconsumo de la edificación o de la vivienda. En caso de que existan excedentes de energía, la empresa de distribución realizara mensualmente el balance económico de la energía para su respectiva facturación.

$$\Delta E = \text{Energía consumida de la red} - \text{Energía inyectada en la red} \quad (3)$$

Si  $\Delta E$  es menor a cero el remanente negativo y viceversa. En el caso del remanente negativo, la empresa de distribución valorara la energía consumida a la tarifa correspondiente aprobado por el ARCONEL. Por lo contrario, en el caso eventual de que exista un remanente positivo de energía, la misma se pasa a un crédito de energía a favor del consumidor que se pasa hacia el siguiente mes; el periodo máximo de reseteo es de dos años. Además, el consumidor sin importar el caso de la factura deberá pagar los valores correspondientes a comercialización, alumbrado público, los rubros correspondientes a los bomberos y a la recolección de basura. De la misma manera, en el capítulo 3 indica los requerimientos técnicos como el control de potencia activa o reactiva, calidad de energía, sistemas de medición, etc. (Arconel, 2018)

Para el procedimiento de calificación y registro de proyectos de generación de energías renovables no convencionales, está en vigencia la regulación **CONELC-002-13** que determina el procedimiento que deben cumplir los proyectos de generación de energías renovables, menor a 1 MW, para obtener el registro y el tratamiento en los aspectos comerciales, técnicos y de control. (Arconel, 2013)



Universidad de Cuenca

Previamente, se tenía la regulación **CONELEC-001-13**; en donde indicaba la Participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales en la que se presentaba los precios y despacho de energía en período preferente y ordinario; dependiendo de cada una de las tecnologías instaladas, pero desde julio 2016 esta regulación fue derogada mediante la resolución **ARCONEL-031-16**; esperando así un nuevo marco normativo en función de las disposiciones de la LOSPEE.

Para finalizar con la sección 4.2 es importante resaltar que en el **artículo 67** de la **Ley del Régimen de Sector Eléctrico**, el cual manifiesta que se “exonerará el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras”.

#### 4.3. Costos Totales

Para la elaboración de precios se tomó los valores que indican los fabricantes en sus respectivas páginas web, todos los productos son de origen español a excepción de los inversores Fronius que son de origen austriaco; para la conversión monetaria se tomó el valor referencial de 1,1378 Dólares/Euro que corresponde al 5 de noviembre del 2018.

En cada una de las tablas siguientes se incluye dos valores referenciales, el primero corresponde a gastos varios, en donde se incluye todos los elementos para el armado de la instalación y además los elementos de protección eléctrica y su valor es el 7% de la inversión total. De la misma manera en los trabajos de instalación y montaje se tomó un valor referencial de 10% de la inversión total. (MANCHADO PERERO, 2017), (SUAREZ CARRIO, 2008)

A continuación, se presenta las tablas donde se indica los precios totales de las instalaciones. Cabe recalcar, que en el caso de la energía solar fotovoltaica se encontró precios por  $m^2$  de acuerdo a los parques ya instalados en el laboratorio de microred en el campus Balzay.



**Tabla 4-1 Costos del aerogenerador de eje horizontal**

Fuente: (ENAIR, 2018)

AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
1	ENAIR E 70 PRO	ENAIR	\$7.332,00	\$7.332,00	\$8.211,84
1	Torre para la estructura	ENAIR	\$2.491,00	\$2.491,00	\$2.789,92
1	Conexión a la red (Inversor y regulador de red)	ENAIR	\$2.984,50	\$2.984,50	\$3.342,64
1	Gastos Varios		\$896,53	\$896,53	\$1.004,11
TOTAL					\$15.348,51
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$2.055,60	\$2.055,60	\$2.302,28
TOTAL					\$2.302,28
GASTOS TOTALES					\$17.650,78
PRECIO POR W DE INSTALACION					\$4,41

**Tabla 4-2 Costos aerogenerador eje vertical**

Fuente: (ENAIR, 2018); www.diytrade.com

AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
1	TYD WT 5000 incluye estructura	TOYODA	10300,00	\$10.300,00	\$11.536,00
1	Conexión a la red (Inversor y regulador de red)	ENAIR	\$2.984,50	\$2.984,50	\$3.342,64
1	Gastos Varios		\$929,92	\$929,92	\$1.041,50
TOTAL					\$15.920,14
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$2.132,16	\$2.132,16	\$2.388,02
TOTAL					\$2.388,02
GASTOS TOTALES					\$18.308,17
PRECIO POR W DE INSTALACION					\$3,66



**Tabla 4-3 Costos de la tecnología policristalinos fijos**

Fuente: atersa.shop; <https://autosolar.es>; <https://es.ensolar.com>;[1]

POLICRISTALINO FIJOS 15 kWp					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
60	Paneles fotovoltaicos A250P	ATERSA	\$160,59	\$9.635,38	\$10.791,62
1	Inversor	GPTech	\$4.018,50 [1]	\$4.018,50	\$4.500,72
3	Estructura 20 Módulos	ATERSA	\$467,85	\$1.403,54	\$1.571,97
1	Gastos Varios		\$1.999,02	\$1.999,02	\$2.238,90
1	Batería Ion Litio (Vida Útil 20 años)	Fronius	\$13.500,00	\$13.500,00	\$15.120,00
TOTAL					\$34.223,21
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$3.055,64	\$3.055,64	\$3.422,32
TOTAL					\$3.422,32
GASTOS TOTALES					\$37.645,5
PRECIO POR w DE INSTALACION					\$2,5097
PRECIO POR m <sup>2</sup> DE INSTALACION					\$371,92

**Tabla 4-4 Costos de la tecnología monocristalinos fijos**

Fuente: atersa.shop; <https://autosolar.es>; <https://es.ensolar.com>;[2]

MONOCRISTALINO FIJOS 15 kWp					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
60	Paneles fotovoltaicos A250M	ATERSA	\$212,56	\$12.753,73	\$14.284,18
1	Inversor	GPTech	\$4.018,50 [2]	\$4.018,50	\$4.500,72
3	Estructura 20 Módulos	ATERSA	\$467,85	\$1.403,54	\$1.571,97
1	Gastos Varios		\$2.217,30	\$2.217,30	\$2.483,38
1	Batería Ion Litio (Vida Útil 20 años)	Fronius	\$13.500,00	\$13.500,00	\$15.120,00
TOTAL					\$37.960,25
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$3.389,31	\$3.389,31	\$3.796,02
TOTAL					\$3.796,02
GASTOS TOTALES					\$41.756,27
PRECIO POR w DE INSTALACION					\$2,783
PRECIO POR m <sup>2</sup> DE INSTALACION					\$426,96



**Tabla 4-5 Costos de la tecnología policristalinos móviles a un eje**

Fuente: atersa.shop; <https://autosolar.es>; <https://lidarsolar.es>

POLICRISTALINOS SEGUIMIENTO A UN EJE 4kWp					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
16	Paneles fotovoltaicos A250P	ATERSA	\$160,59	\$2.569,43	\$2.877,77
1	Inversor	Fronius 4kW	\$1.398,28	\$1.398,28	\$1.566,07
1	Estructura Deger (incluye control)	DegerTracker	\$4.679,30	\$4.679,30	\$5.240,81
1	Gastos Varios		\$857,29	\$857,29	\$960,17
1	Batería Ion Litio (Vida Útil 20 años)	Fronius	\$3.600,00	\$3.600,00	\$4.032,00
TOTAL					\$14.676,82
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$1.310,43	\$1.310,43	\$1.467,68
TOTAL					\$1.467,68
GASTOS TOTALES					\$16.144,50
PRECIO POR w DE INSTALACION					\$4,036
PRECIO POR m <sup>2</sup> DE INSTALACION					\$619,04

**Tabla 4-5 Costos de la tecnología policristalinos móviles a un eje**

Fuente: atersa.shop; <https://autosolar.es>; [solarmotors.com](https://solarmotors.com)

POLICRISTALINOS SEGUIMIENTO A DOS EJES 1,5kWp					
MATERIAL					
CANTIDAD	MATERIAL	MARCA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL CON IVA (12%)
6	Paneles fotovoltaicos A250P	ATERSA	\$160,59	\$963,54	\$1.079,16
1	Inversor	Fronius 1,5kW	\$1.097,21	\$1.097,21	\$1.228,88
1	Estructura SAT (incluye control)	SolarMotors	\$2.002,00	\$2.002,00	\$2.242,24
1	Gastos Varios		\$378,89	\$378,89	\$424,36
1	Batería Ion Litio (Vida Útil 20 años)	Fronius	1350	1350,00	1512,00
TOTAL					\$6.486,64
INSTALACION Y MONTAJE					
1	Mano y dirección de obra		\$579,16	\$579,16	\$648,66
TOTAL					\$648,66
GASTOS TOTALES					\$7.135,30
PRECIO POR w DE INSTALACION					\$4.756
PRECIO POR m <sup>2</sup> DE INSTALACION					\$729,58





#### 4.4. Cálculos de la viabilidad económica.

##### 4.4.1. Energía mini eólica.

El precio por kWh de energía eólica es de 11,74 cUSD\$ según la regulación **CONELC 001/13** “Precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales”, pero la misma fue derogada; razón por la cual en el presente trabajo se evaluará con el valor de 9,33 cUSD\$ que corresponde al precio oficial de la energía estipulado por el ARCONEL en el pliego tarifario. En la sección que tiene que ver con cálculos correspondientes a operación y mantenimiento según la agencia internacional de energías renovables IRENA rondan los 0,0142 \$/kWh. (Arconel, 2013); (IRENA, 2017).

**Tabla 4-6 Cálculos viabilidad económica aerogenerador eje horizontal**

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-18.308,17	\$-	\$-18.308,17	\$-18.308,17
1		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
2		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
3		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
4		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
5		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
6		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
7		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
8		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
9		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
10		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
11		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
12		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
13		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
14		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
15		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
16		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
17		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
18		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
19		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
20		\$85,35	\$-13,05	\$72,30
			<b>VAN</b>	<b>\$-4.556,18</b>



**Tabla 4-7 Cálculos viabilidad económica aerogenerador eje vertical**

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-18.308,17	\$-	\$-18.308,17	\$-18.308,17
1		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
2		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
3		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
4		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
5		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
6		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
7		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
8		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
9		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
10		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
11		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
12		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
13		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
14		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
15		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
16		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
17		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
18		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
19		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
20		\$57,90	\$-8,85	\$49,05
			<b>VAN</b>	<b>\$-4.822,82</b>

Los valores negativos de VAN que se obtuvieron, muestran la inviabilidad de la energía mini eólica en la zona, debido a que no genera beneficios “económicos ” dada a la baja velocidad del viento. El TIR para que uno de los casos toma un valor de -17,2 % y para el otro de -19,2% respectivamente, reflejando el nulo beneficio de proyectos con energía mini eólica. No es posible hablar de tiempo de recuperación ya que, al no generarse beneficio, no es viable recuperar la inversión inicial.

En cuanto a la viabilidad ambiental, el factor de emisión de  $CO_2$  para la generación de energía eléctrica en el Ecuador, corresponde a un valor de 0,6945 toneladas de  $CO_2$ /kWh. (Oscullo & Haro, 2014)

- Aerogenerador de eje horizontal.

$$917,71 \frac{kWh}{año} * 0,6945 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{kWh} = 637,35 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{año}$$



Universidad de Cuenca

- Aerogenerador de eje vertical.

$$622,63 \frac{kWh}{año} * 0,6945 \frac{toneladas de CO_2}{kWh} = 432,41 \frac{toneladas de CO_2}{año}$$

Si el proyecto es analizado desde el punto de vista medioambiental, es totalmente viable.

#### 4.4.2. Energía micro solar fotovoltaica.

La viabilidad económica se basará en la regulación ARCONEL 042/18, antes explicada. Cabe recalcar, que como no existe ningún incentivo económico en la producción energética, las diferentes tecnologías serán analizadas de acuerdo al tamaño de instalación ( $m^2$ ). La superficie necesaria de cada tecnología es inversamente proporcional a los rendimientos que tiene una con respecto a otra. Se partirá del caso de menor rendimiento, es decir los paneles policristalinos fijos. Anteriormente, en el inicio del capítulo se explicó que los cálculos serán realizados para un edificio típico en la zona urbana de 6 pisos, 24 abonados y una superficie de  $200 m^2$ . El consumo mensual de cada abonado es de  $140 kWh$ , el mismo que fue tomado del cuadro de demandas máximas diversificadas correspondientes al estrato "C", en la categoría residencial.

$$24 \text{ abonados} * \frac{140 kWh}{mes} = \frac{3360 kWh}{mes}$$

$$200 m^2 * \frac{0,56 kWh}{m^2 día} * 31 días = \frac{3472 kWh}{mes}$$

- Monocristalinos Fijos

$$\text{Área} * \frac{0,623 kWh}{m^2 día} * 31 días = \frac{3472 kWh}{mes}$$

$$\text{Área} = 180 m^2$$

- Policristalinos móviles a un eje

$$\text{Área} * \frac{0,68 kWh}{m^2 día} * 31 días = \frac{3472 kWh}{mes}$$

$$\text{Área} = 164 m^2$$

- Policristalinos móviles a dos ejes

$$\text{Área} * \frac{0,736 kWh}{m^2 día} * 31 días = \frac{3472 kWh}{mes}$$

$$\text{Área} = 152 m^2$$



Universidad de Cuenca

Analizar desde este punto de vista resulta muy útil, ya que la regulación 042/18 incentiva la microgeneración fotovoltaica en techos, superficies de viviendas o edificaciones para las categorías residencial. Por lo que, las características constructivas o el diseño arquitectónico no hace posible tener un área disponible para generar electricidad que permita abastecer la demanda requerida para el caso más económico (Policristalinos Fijos), pudiendo así analizar o considerar los otros tipos de tecnologías estudiadas en el presente trabajo. Entonces, al analizar la regulación en el caso eventual que se tenga un excedente positivo a favor del consumidor, la empresa de distribución canjeara solamente con energía, para este caso 112 kWh/mes, los mismos podrían ser utilizados en dos casos puntuales. El primero cuando se requiera realizar una para por operación o mantenimiento y la segunda en el caso que lo demandado en un mes sea mayor a lo generado, por lo que el consumidor este obligado a requerir energía de la red de distribución. De la misma manera, que el caso de la energía mini eólica se calcular con el precio de 9,33 cUSD\$ que corresponde al precio oficial de la energía estipulado por el ARCONEL en el pliego tarifario. Cabe indicar, que los valores de comercialización, alumbrado público, recolección de basura y el aporte a los bomberos dependen del consumo energético. Sin embargo, no se considerará en la parte de egresos anuales. Debido a que es una evaluación energética y todo ciudadano sin importar que consuma energía de la red de distribución está obligado a pagar estos valores. Los datos de partida son los correspondientes a policristalinos fijos, se tendrá una producción anual de 41318 kWh/año, una inversión inicial de \$ 76984, ingresos anuales de \$3842,57 y egresos anuales de \$584,33 que se obtuvo de los trabajos de operación y mantenimiento como ya se explicó en el caso de la energía mini eólica.

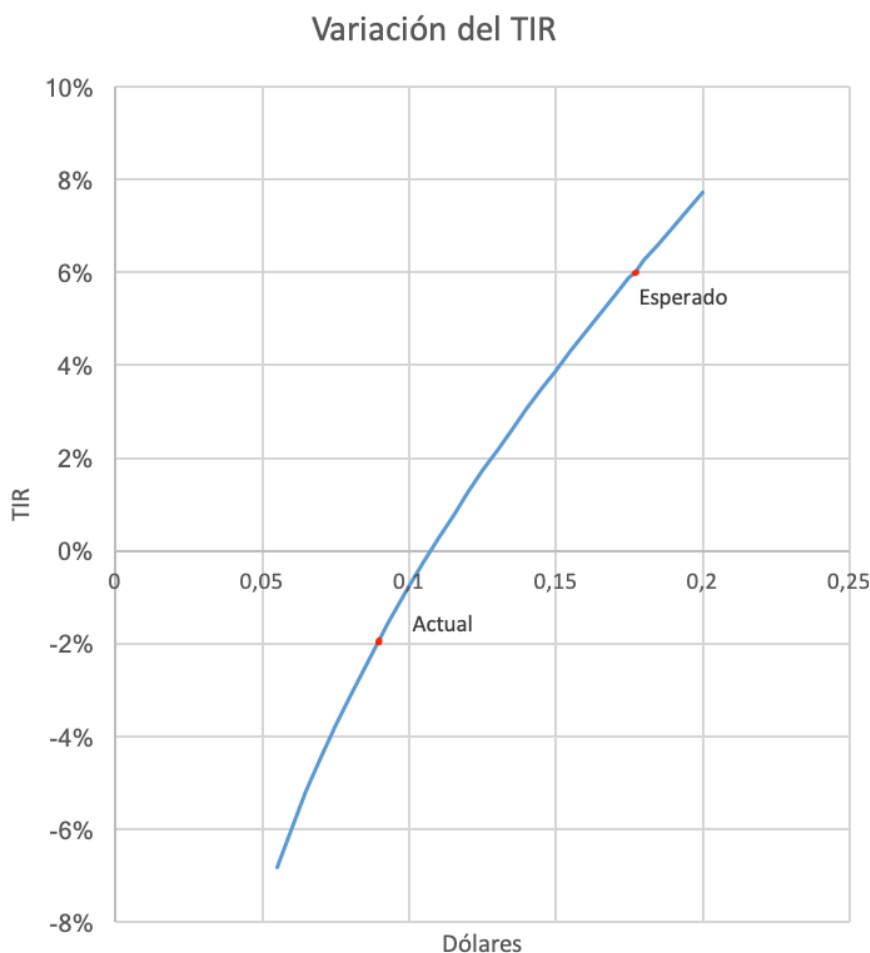


**Tabla 4-8 Viabilidad policristalinos fijos con precio 9,3 cUSD\$ por kWh**

Fuente: Elaboración propia

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-74.384,00	\$-	\$74.384,00	\$-74.384,00
1	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
2	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
3	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
4	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
5	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
6	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
7	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
8	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
9	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
10	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
11	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
12	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
13	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
14	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
15	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
16	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
17	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
18	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
19	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
20	\$-	\$3.842,57	\$584,34	\$3.258,23
			<b>VAN</b>	<b>\$15.491,23</b>
			<b>TIR</b>	<b>-1,23%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>22,83 años</b>

A pesar de, que el proyecto en estudio muestra un valor positivo de VAN, no es recomendable realizarlos por dos razones, primero que el TIR muestra un valor negativo lejos del 6% que se fijó anteriormente y segundo el tiempo de recuperación sobrepasa la vida útil del proyecto. En nuestra zona la viabilidad técnica de cualquier proyecto de energía solar fotovoltaica es positiva, pero debido al costo del kWh, se aconseja no realizar proyectos desde el punto de vista económico. Dado a esto se procederá a encontrar un valor nuevo para cada kWh, de tal manera que sea viable técnica como económicamente.



**Figura 4-2 Variación del TIR respecto al precio del kWh.**

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 4-2, a partir de 11cUSD\$ el kWh ya se obtiene un valor positivo del TIR, pero si hablamos de una inversión en donde se busque obtener un beneficio económico para tan grande inversión el TIR debería ser mayor o igual a 6% como se explicó con anterioridad, para eso, el kWh debería tomar un valor de 17,2 cUSD\$. Por lo cual, el autor de este trabajo concluye que si el kWh es mayor a 17,2 cUSD\$, es aconsejable generar energía para autoabastecerse, por lo contrario, resulta más rentable comprar la energía a la empresa de distribución.

A continuación, se realizará el análisis de las 4 diferentes tecnologías con un valor de 17,2 cUSD\$, recordando que se tiene precios diferentes por  $m^2$  y áreas diferentes para generar la misma cantidad energía, que se resume en la tabla 4-9.



Universidad de Cuenca

**Tabla 4-9 Resumen de áreas, precios y energía de cada tecnología.**

Fuente: Elaboración propia

Tecnología	Área (m <sup>2</sup> )	Precio (\$/m <sup>2</sup> )	Energía (kWh/m <sup>2</sup> )	Precio Total (\$)	Energía total anual (kWh)
Policristalinos Fijos	200	371,92	0,56	74384	41318
Monocristalinos Fijos	180	426,96	0,623	76852,8	41318
Policristalinos móviles a un eje	164	619,04	0,68	101522,56	41318
Policristalinos móviles a dos ejes	152	729,58	0,736	110896,16	41318

**Tabla 4-10 Viabilidad policristalinos fijos con precio 17,2 cUSD\$ por kWh**

Fuente: Elaboración propia

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-74.384,00	\$-	\$74.384,00	\$-74.384,00
1	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
2	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
3	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
4	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
5	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
6	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
7	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
8	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
9	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
10	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
11	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
12	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
13	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
14	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
15	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
16	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
17	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
18	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
19	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
20	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
			VAN	\$52.930,46
			TIR	6,07%
			PAYBACK	11,40 años



Universidad de Cuenca

**Tabla 4-11 Viabilidad monocristalinos fijos con precio 17,2 cUSD\$ por kWh**

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-76.852,80	\$-	\$76.852,80	\$-76.852,80
1	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
2	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
3	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
4	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
5	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
6	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
7	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
8	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
9	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
10	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
11	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
12	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
13	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
14	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
15	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
16	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
17	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
18	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
19	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
20	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
			<b>VAN</b>	<b>\$52.204,25</b>
			<b>TIR</b>	<b>5,67%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>11,78 años</b>





Universidad de Cuenca

**Tabla 4-12 Viabilidad policristalinos móviles a un eje con precio 17,2 cUSD\$ por kWh**

Fuente: Elaboración propia

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-101.522,56	\$-	\$101.522,56	\$-101.522,56
1	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
2	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
3	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
4	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
5	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
6	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
7	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
8	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
9	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
10	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
11	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
12	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
13	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
14	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
15	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
16	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
17	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
18	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
19	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
20	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
			VAN	\$44.947,50
			TIR	2,52%
			PAYBACK	15,57 años



Universidad de Cuenca

**Tabla 4-13 Viabilidad policristalinos móviles a dos ejes con precio 17,2 cUSD\$ por kWh**

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	\$-110.896,16	\$-	\$110.896,16	\$-110.896,16
1	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
2	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
3	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
4	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
5	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
6	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
7	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
8	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
9	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
10	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
11	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
12	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
13	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
14	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
15	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
16	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
17	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
18	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
19	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
20	\$-	\$7.106,70	\$584,34	\$6.522,36
			<b>VAN</b>	<b>\$42.190,21</b>
			<b>TIR</b>	<b>1,60%</b>
			<b>PAYBACK</b>	<b>17,00 años</b>

Después, de analizar cada tecnología con el precio de 17,2 cUSD\$, se puede concluir que todas estas presentan un VAN y TIR positivo, además el tiempo de recuperación es menor a la vida útil del proyecto que hacen que sea viable



Universidad de Cuenca

económicamente. Si se debería escoger un proyecto que satisfaga las necesidades de la demanda, sin duda, se debería escoger el que presenta el mayor VAN y el caso de este análisis corresponde a la tecnología de paneles policristalinos fijos. La diferencia entre los policristalinos y monocristalinos no es muy grande, pero si mantiene el concepto del mayor VAN, un inversionista escogería el primero. En resumen, si se desea instalar las otras 3 tecnologías es debido a los requerimientos físicos y constructivos de donde se desea instalar.

En cuanto a la viabilidad ambiental la energía generada por el parque solar fotovoltaico.

$$41318 \frac{kWh}{año} * 0,6945 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{kWh} = 28695,35 \frac{toneladas\ de\ CO_2}{año}$$

El proyecto desde el punto de vista medioambiental también es viable, cumpliendo así los objetivos técnicos económicos y ambientales que todo proyecto busca.



Universidad de Cuenca

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

La tecnología renovable no convencional a pequeña escala para la generación de electricidad instalada en los laboratorios de la Universidad de Cuenca, constituye una fuente de información cuantitativa para ampliar y profundizar el conocimiento de la microgeneración solar fotovoltaica y eólica, así como para establecer una línea base en futuras investigaciones.

El potencial eólico en la zona geográfica de la granja Irquis está caracterizado por alcanzar velocidades de un 1m/s, 2m/s, 3m/s y 4m/s, con probabilidades de ocurrencia del 30,82%, 22,04%, 14% y 8% respectivamente.

Los aerogeneradores de eje vertical y horizontal instalados en Irquis, para producir energía eléctrica, requieren velocidades mínimas de 2,5m/s y 1,5m/s respectivamente, los que, al relacionar con las velocidades del potencial eólico de la zona, se determina una producción energética no sostenible puesto que sus factores de planta son del 1,42% y 2,62% para el aerogenerador de eje vertical y horizontal en su orden.

La probabilidad de que los aerogeneradores de eje vertical y horizontal alcancen su velocidad nominal de 12m/s y de 11m/s respectivamente es del 0% para ambos casos.

La irradiancia solar promedio diaria en la zona estudiada es de  $3,92 \frac{kWh}{m^2}$  día y las H.S.P en el que el recurso solar tiene una radiación solar ideal de  $1000 \text{ w/m}^2$  son de 1550,79 horas del año.

Los paneles policristalinos fijos producen  $0,566 \text{ kWh/m}^2$  por día, mientras que los paneles policristalinos móviles producen un 18,2% más de energía para el seguidor de un eje y del 28,5% para el seguidor de dos ejes.

Los paneles monocristalinos fijos producen  $0,623 \text{ kWh/m}^2$  diarios que equivale a un 10% más de energía generada con respecto a los policristalinos fijos.

La normativa del servicio público de energía eléctrica vigente, incentiva el autoconsumo, más no la venta del excedente de energía generado, por lo que, cualquier inversionista tendrá un flujo de caja anual únicamente por el ahorro de la compra de energía eléctrica que tiene un precio de 9,33 cUSD\$ por kWh.



## Universidad de Cuenca

La rentabilidad de producción de energía eléctrica con microgeneración fotovoltaica se da a partir del reconocimiento tarifario con un valor económico superior a 17,2 cUSD\$ por kW/h, bajo el supuesto de un TIR del 6%.

En el parque solar de generación renovable Irquis y Balzay de la Universidad de Cuenca, constituyen fuentes alternativas de energía limpia y sostenible, que presenta beneficios económicos, energéticos, ambientales y de alto valor agregado académico, para brindar oportunidades de investigación en el desarrollo de proyectos energéticos.

La producción anual de energía del parque eólico sin considerar el aerogenerador ubicado a 24 metros sería de 1,54 MW/h, que representa un ahorro económico de 143,71 USD\$ y reduce la emisión anual de 1.069,76 toneladas de  $CO_2$ .

El parque solar fotovoltaico considerando los 35kWp instalados con sus 4 tecnologías generaron un total de 51,03 MWh en el año 2018, representando un ahorro económico de 4.761,57 USD\$ y evitó la emisión de 35.443,8 toneladas de  $CO_2$  a la atmósfera.

El presente trabajo de titulación sirve como punto de partida para otros estudios de energía renovable no convencional en las zonas estudiadas, puesto que, los datos recolectados y analizados son reales, obtenidos de fuentes técnicas, científicas y confiables, dando veracidad a los resultados obtenidos.



Universidad de Cuenca

## 5.2. Recomendaciones

Es necesario requerir a las autoridades del sector eléctrico la aplicación de políticas públicas, que permitan contar con tarifas de energía económicamente atractivas, para viabilizar el desarrollo, implementación y participación de consumidores con microgeneración fotovoltaica, tanto para el autoabastecimiento como para la venta de excedentes a la red de distribución eléctrica.

La incorporación de la aplicación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) permitirá mejorar los índices financieros de los proyectos de microgeneración fotovoltaica.









En el marco de proporcionar facilidades financieras a los emprendedores e inversionistas en sistemas de microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento, es necesario la apertura de líneas de crédito con tasas de interés blandas para que, los inversionistas puedan recurrir a las mismas y concreten sus proyectos de inversión.

## 6. ANEXOS

### 6.1. Potencial eólico estimado y factible a corto plazo en el Ecuador.

TABLA 6: POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR									
POTENCIAL BRUTO									
PROVINCIA	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
Carchi	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,60	13,80	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
Imbabura	7,0 - 7,5	2,46	7,39	0,20	12,68	> 7	6,32	18,95	32,54
	7,5 - 8,0	1,75	5,24	0,25	11,26	> 7,5	3,86	11,57	24,83
	8,0 - 8,5	1,47	4,40	0,30	11,34	> 8	2,11	6,32	16,28
	> 8,5	0,64	1,92	0,35	5,77	> 8,5	0,64	1,92	5,77
Pichincha	6,5 - 7,0	0,39	1,16	0,20	1,99	> 6,5	41,19	123,58	212,18
	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,20	109,48	> 7	40,81	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,25	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,30	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
Cotopaxi	> 8,5	2,47	7,40	0,35	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,20	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,80	2,40	0,30	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
Tungurahua	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
	6 - 6,5	4,48	13,44	0,20	23,08	> 6	5,34	16,02	27,51
	6,5 - 7,0	0,71	2,13	0,20	3,66	> 7	0,86	2,58	4,43
	7,0 - 7,5	0,15	0,45	0,25	0,97	> 7,5	0,15	0,45	0,97
Bolívar	7,0 - 7,5	1,02	3,05	0,20	5,23	> 7	2,42	7,27	12,49
	7,5 - 8,0	0,48	1,44	0,25	3,09	> 7,5	1,41	4,22	9,07
	8,0 - 8,5	0,48	1,44	0,30	3,71	> 8	0,93	2,78	7,17
	> 8,5	0,45	1,34	0,35	4,04	> 8,5	0,45	1,34	4,04
Chimborazo	7,0 - 7,5	14,97	44,91	0,20	77,10	> 7	30,60	91,80	157,62
	7,5 - 8,0	8,97	26,92	0,25	57,78	> 7,5	15,63	46,90	100,65
	8,0 - 8,5	4,58	13,75	0,30	35,42	> 8	6,66	19,97	51,44
	> 8,5	2,07	6,22	0,35	18,68	> 8,5	2,07	6,22	18,68
Cañar	7,0 - 7,5	11,50	34,49	0,20	59,21	> 7	23,95	71,85	123,36
	7,5 - 8,0	7,09	21,26	0,25	45,62	> 7,5	12,45	37,36	80,18
	8,0 - 8,5	3,16	9,47	0,30	24,39	> 8	5,37	16,10	41,48
	> 8,5	2,21	6,63	0,35	19,94	> 8,5	2,21	6,63	19,94
Azuay	7,0 - 7,5	62,16	186,47	0,20	320,17	> 7	98,25	294,75	506,07
	7,5 - 8,0	26,90	80,71	0,25	173,22	> 7,5	36,09	108,28	232,38
	8,0 - 8,5	7,16	21,47	0,30	55,29	> 8	9,19	27,56	70,99
	> 8,5	2,03	6,10	0,35	18,31	> 8,5	2,03	6,10	18,31
Loja	7,0 - 7,5	106,92	320,77	0,20	550,75	> 7	293,40	880,19	1511,26
	7,5 - 8,0	69,46	208,39	0,25	447,25	> 7,5	186,47	559,42	1200,64
	8,0 - 8,5	43,76	131,27	0,30	338,07	> 8	117,01	351,03	904,06
	> 8,5	73,25	219,76	0,35	660,32	> 8,5	73,25	219,76	660,32
Zamora Chinchipe	7,0 - 7,5	1,97	5,91	0,20	10,15	> 7	4,71	14,12	24,24
	7,5 - 8,0	2,39	7,17	0,25	15,38	> 7,5	2,74	8,21	17,62
	8,0 - 8,5	0,35	1,04	0,30	2,68	> 8	0,35	1,04	2,68
El Oro	7,0 - 7,5	20,32	60,97	0,20	104,67	> 7	45,08	135,25	232,22
	7,5 - 8,0	10,82	32,45	0,25	69,64	> 7,5	24,76	74,29	159,44
	8,0 - 8,5	7,16	21,49	0,30	55,35	> 8	13,95	41,84	107,75
	> 8,5	6,78	20,35	0,35	61,14	> 8,5	6,78	20,35	61,14
<b>TOTAL ESTIMADO PARA EL ECUADOR [MW]</b>						> 7	<b>556,99</b>	<b>1670,96</b>	<b>2868,98</b>
						> 7,5	309,96	929,87	1995,68
						> 8	166,54	499,61	1286,72
						> 8,5	91,59	274,76	825,57



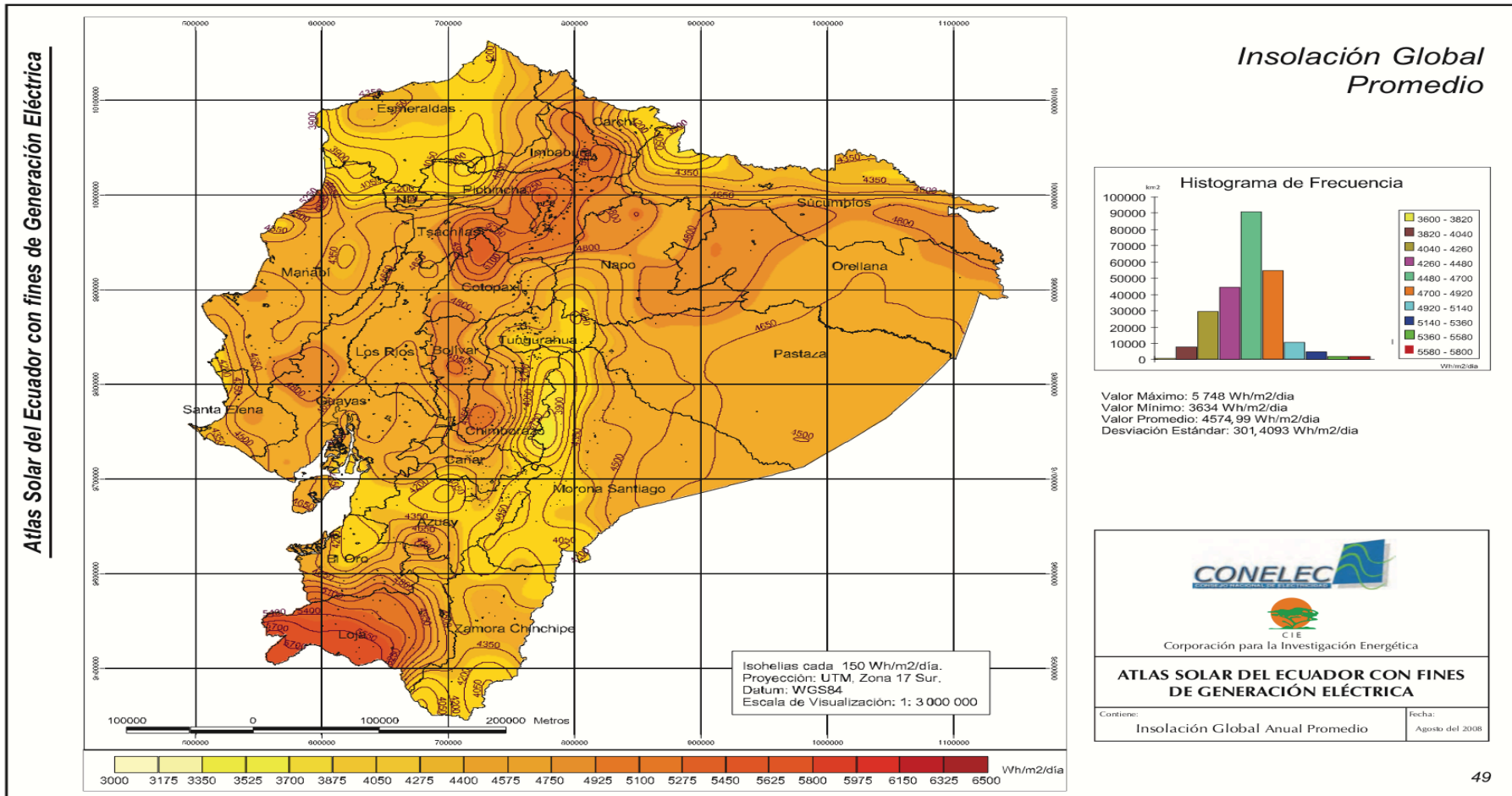
TABLA 7: POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR									
POTENCIAL FACTIBLE A CORTO PLAZO									
PROVINCIA	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
	7,0 - 7,5	1,24	3,72	0,20	6,39	> 7	4,60	13,80	23,69
	7,5 - 8,0	1,56	4,68	0,25	10,04	> 7,5	3,36	10,08	21,63
	8,0 - 8,5	0,96	2,88	0,30	7,42	> 8	1,80	5,40	13,91
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57
	7,0 - 7,5	1,08	3,24	0,20	5,56	> 7	3,68	11,04	18,96
	7,5 - 8,0	1,00	3,00	0,25	6,44	> 7,5	2,60	7,80	16,74
	8,0 - 8,5	1,04	3,12	0,30	8,04	> 8	1,60	4,80	12,36
	> 8,5	0,56	1,68	0,35	5,05	> 8,5	0,56	1,68	5,05
	7,0 - 7,5	21,25	63,76	0,25	109,48	> 7	40,81	122,42	210,18
	7,5 - 8,0	12,01	36,02	0,30	77,31	> 7,5	19,55	58,65	125,88
	8,0 - 8,5	5,08	15,23	0,35	39,23	> 8	7,54	22,63	58,29
	> 8,5	2,47	7,40	0,20	22,23	> 8,5	2,47	7,40	22,23
	7,0 - 7,5	1,02	3,05	0,20	5,23	> 7	2,42	7,27	12,49
	7,5 - 8,0	0,48	1,44	0,25	3,09	> 7,5	1,41	4,22	9,07
	8,0 - 8,5	0,48	1,44	0,30	3,71	> 8	0,93	2,78	7,17
	> 8,5	0,45	1,34	0,35	4,04	> 8,5	0,45	1,34	4,04
	7,0 - 7,5	7,31	21,93	0,20	37,66	> 7	11,87	35,61	61,14
	7,5 - 8,0	3,25	9,76	0,25	20,94	> 7,5	4,56	13,67	29,35
	8,0 - 8,5	1,19	3,56	0,30	9,16	> 8	1,31	3,92	10,08
	> 8,5	0,12	0,36	0,35	1,08	> 8,5	0,12	0,36	1,08
	7,0 - 7,5	11,50	34,49	0,20	59,21	> 7	23,95	71,85	123,36
	7,5 - 8,0	7,09	21,26	0,25	45,62	> 7,5	12,45	37,36	80,19
	8,0 - 8,5	3,16	9,47	0,30	24,39	> 8	5,37	16,11	41,48
	> 8,5	2,21	6,64	0,35	19,94	> 8,5	2,21	6,64	19,94
	7,0 - 7,5	21,38	64,14	0,20	110,13	> 7	33,92	101,77	174,74
	7,5 - 8,0	8,29	24,86	0,25	53,34	> 7,5	12,54	37,63	80,77
	8,0 - 8,5	2,90	8,70	0,30	22,40	> 8	4,26	12,78	32,91
	> 8,5	1,36	4,08	0,35	12,26	> 8,5	1,36	4,08	12,26
	7,0 - 7,5	71,46	214,38	0,20	368,08	> 7	173,49	520,46	893,62
	7,5 - 8,0	42,20	126,59	0,25	271,70	> 7,5	102,03	306,09	656,92
	8,0 - 8,5	22,48	67,45	0,30	173,72	> 8	59,83	179,49	462,27
	> 8,5	37,35	112,04	0,20	336,65	> 8,5	37,35	112,04	336,65
<b>TOTAL ESTIMADO PARA EL ECUADOR [MW]</b>						> 7	<b>294,74</b>	<b>884,22</b>	<b>1518,17</b>
						> 7,5	158,50	475,51	1020,54
						> 8	82,64	247,91	638,47
						> 8,5	45,35	136,06	408,81

Fuente: (MEER, ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica, 2014)





6.2. Insolación en el Ecuador.



Fuente: (Conelec, 2008)

Universidad de Cuenca

### 6.3. Fotos del seguidor de dos ejes.





Universidad de Cuenca

#### 6.4. Análisis de generación de electricidad del parque solar fotovoltaico ubicado en Balzay

Se presenta la generación de electricidad y los factores de planta de cada una de las tecnologías instaladas en el parque solar fotovoltaico del año 2018.(Elaboración propia).

PROMEDIO ENERGÍA DIARIA (KW/h)				
Mes	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
Enero	18,40	57,32	62,97	-
Febrero	19,84	61,84	68,07	-
Marzo	17,28	53,81	59,23	-
Abril	15,75	49,03	53,89	-
Mayo	12,43	44,22	47,23	5,78
Junio	13,42	47,75	50,89	6,24
Julio	12,66	45,04	46,38	5,88
Agosto	14,15	50,34	52,67	6,57
Septiembre	16,57	58,93	63,30	7,70
Octubre	17,50	62,25	66,39	8,14
Noviembre	16,96	60,22	64,88	7,88
Diciembre	20,06	71,86	67,01	9,35
<b>Promedio</b>	<b>16,25</b>	<b>55,22</b>	<b>58,58</b>	<b>7,19</b>



PROMEDIO ENERGÍA MENSUAL (kW/h)				
MES	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
ENERO	570,4	1776,92	1952,07	-
FEBRERO	555,52	1731,52	1905,96	-
MARZO	535,68	1668,11	1836,13	-
ABRIL	481,8	1499,4	1650,6	-
MAYO	381,3	1356,56	1492,34	177,01
JUNIO	399,3	1419,6	1566,9	185,4
JULIO	372	1322,46	1460,41	172,67
AGOSTO	417,57	1484,59	1639,59	193,75
SEPTIEMBRE	523,5	1860,6	2053,2	243,3
OCTUBRE	580,01	2063,05	2276,33	269,7
NOVIEMBRE	501,6	1782,3	1965,6	233,4
DICIEMBRE	621,86	2227,66	2426,37	289,85
<b>PROMEDIO</b>	<b>495,04</b>	<b>1682,73</b>	<b>1852,13</b>	<b>220,64</b>

ENERGÍA ANUAL (MW/h)				
	Seguidor 1 eje	Policristalinos Fijos	Monocristalinos Fijos	Seguidor 2 ejes
<b>Año 2018</b>	<b>5,95</b>	<b>20,21</b>	<b>22,24</b>	<b>2,63</b>

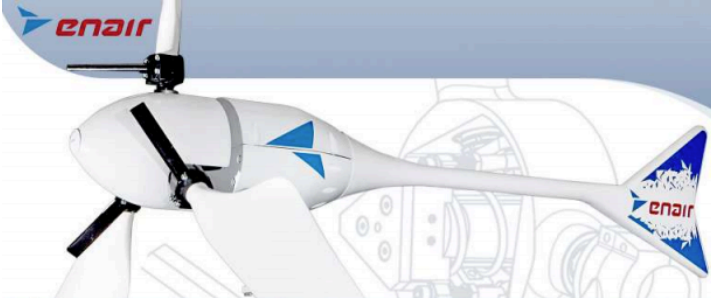
$$F_{planta_{policristalinosFijos}} = \frac{20,21 \text{ MWh}}{8760h * 15kW} = 15,38\%$$

$$F_{planta_{monocristalinosFijos}} = \frac{22,24 \text{ MWh}}{8760h * 15kW} = 16,92\%$$

$$F_{planta_{policristalinos1eje}} = \frac{5,95 \text{ MWh}}{8760h * 3,5 \text{ kW}} = 19,4\%$$

$$F_{planta_{policristalinos2ejes}} = \frac{2,63 \text{ MWh}}{8760h * 1,5kW} = 20,06\%$$

## 6.5. Ficha técnica turbina Enair E70PRO



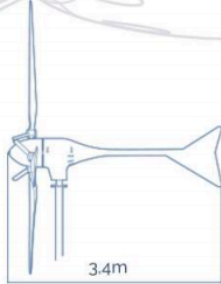
# E70PRO

## FICHA TÉCNICA


Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales   imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14,5m <sup>2</sup>
Peso	165kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB   Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



165kg











Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España  
+34 96 556 00 18      info@enair.es

www.enair.es

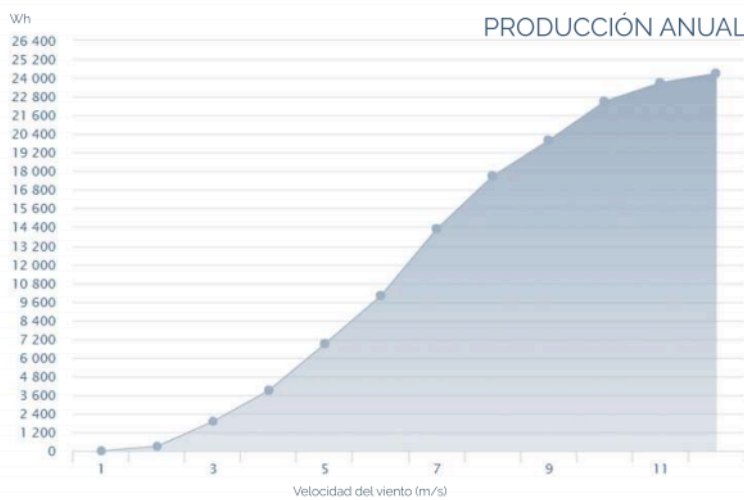


# E30PRO Wind Turbine FICHA TÉCNICA

<p><b>PASO VARIABLE PASIVO</b></p> 	<p>Tecnología patentada para maximizar la producción de energía. Es un sistema mecánico que gracias a la fuerza centrífuga, modifica el ángulo de las palas y nunca se sobrepasan sus rpm de diseño.</p> <p>Obteniendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos ruido</li> <li>- Más capacidad de absorber rachas de viento</li> <li>- Más constancia en la generación</li> <li>- Más energía con menos viento</li> </ul>
<p><b>CONTROL ELECTRÓNICO</b></p> 	<p>Sistema de gestión de la energía inteligente</p> <p><b>Conexión de baterías:</b> 7 tipos de baterías programables (litio, plomo, gel, etc.) Cargador con pulsos de derivación a resistencias en caso de sobrecarga. Solo deriva el exceso que no puede cargar para proteger las baterías</p> <p><b>Conexión a red:</b> Los inversores MPPT programados con la curva de potencia eólica maximizan la producción en todo momento. Compatibles con redes trifásicas y monofásicas en sistemas europeos y americanos</p>

-  **MAYOR ENERGÍA**
-  **MAYOR EFICIENCIA**
-  **MAYOR ROBUSTEZ**
-  **MAYOR SEGURIDAD**

## CLASS I WIND TURBINE IEC 61400-2/NVI-A



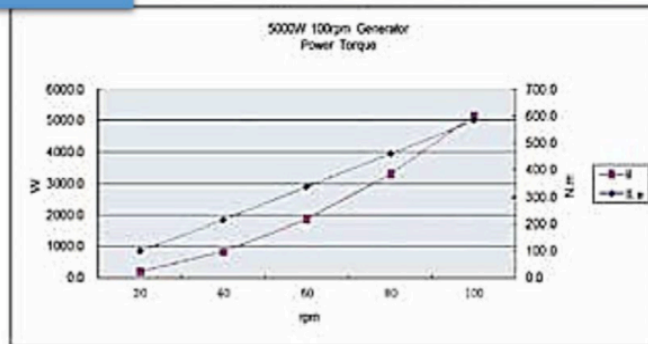
-  **Minimo ruido**  
El ruido esta en torno a un 1% por encima del ruido ambiente siendo prácticamente inapreciable para nuestro oido.
-  **Safety-Brake**  
Nuevo sistema de seguridad mecánica acoplada al eje que garantiza el frenado bajo las condiciones mas adversas, para vientos incluso mayores de 70m/s
-  **Anticorrosivo**  
El uso de pintura epoxy lo convierte en un conjunto anticorrosivo y antisalino ideal para islas y costas
-  **Anti-icing and Hermetic**  
Uretano acrílico de resina estructural con una composición química antiadherente al hielo y de máxima resistencia para temperaturas de hasta -50°C. Sellado hermético
-  **Storm-detection**  
Algoritmo inteligente de detección de tormentas y bloqueo de seguridad del aerogenerador totalmente automático combinado con el Safety-Brake
-  **Remote-Control**  
Control combinado con el Venus de Victron que permite la marcha/paro del aerogenerador de forma remota
-  **BBS (Battery Brake System)**  
Sistema inteligente que mide el nivel de carga de la batería y permite detener el aerogenerador cuando la batería llega a la tensión de consigna retomando la marcha cuando baja su carga

6.6. Ficha técnica turbina TYD WT 5000

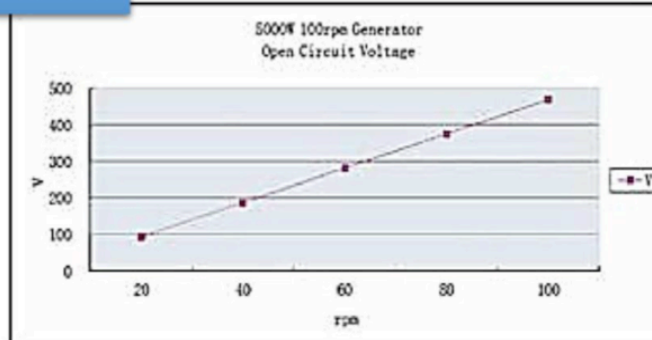


Aerogenerador de Eje Vertical de 5000W	
Arranque en (m/s)	1.5 m/s
Inicio de producción (m/s)	2.5 m/s
Velocidad Nominal (m/s)	12 m/s
Rev. por Minuto Nominales	100 RPM
Potencia Nominal	5.000 W
Diámetro en (m)	3.5 m
Cantidad de Palas	3
Longitud del Palas (m)	5 m
Max. velocidad de viento (m/s)	60 m/s
Peso:	679,4 Kg

**W/RPM** Power vs Torque

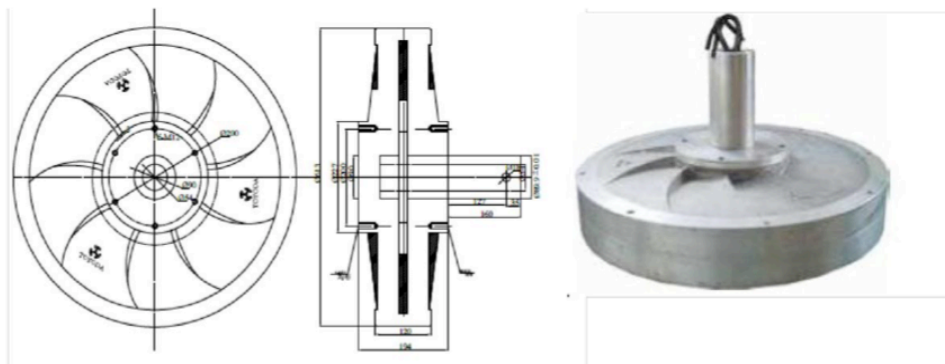


**V/RPM** Open Circuit Voltage



Especificaciones Mecánicas	
Montaje	Vertical
Peso del PMG	96 kg
Aislamiento	Tipo F
Tamaño PMG	613x350 mm
Potencia Nominal	5.000 W

Materiales del Generador	
Eje	Acero inoxidable
Rodamientos	SKF / NSK
Carcasa:	Aluminio
Material de los imanes:	NdFeB





## 6.7. Ficha técnica módulos fotovoltaicos A250M y A250P

Nouvelle gamme Ultra avec tolérance positive +

Caractéristiques électriques (STC: 1kW/m <sup>2</sup> , 25°C±2°C et AM 1,5)*		
	A-250M	A-255M
Puissance Nominale (0/+5 W)	250 W	255 W
Rendement du module	15,35%	15,66%
Courant au Point de Puissance Maximale (Imp)	8,24 A	8,34 A
Tension au Point de Puissance Maximale (Vmp)	30,35 V	30,57 V
Courant en Court-circuit (Isc)	8,79 A	8,89 A
Tension de Circuit Ouvert (Voc)	37,62 V	37,76 V

Paramètres thermiques	
Coefficient de Température d'Isc (α)	0,03% /°C
Coefficient de Température de Voc (β)	-0,34% /°C
Coefficient de Température de P (γ)	-0,43% /°C

Caractéristiques physiques	
Dimensions (mm ± 2 mm)	1645x990x40
Poids (kg)	21,5
Surface (m <sup>2</sup> )	1,63
Type de cellule	Monocristalline 156x156 mm (6 pouces)
Cellules en série	60 (6x10)
Verre	Verre trempé ultra-clair de 4 mm
Cadre	Alliage en aluminium peint au polyester
Boîte de connexion / Optionnelle	QUAD IP54 / QUAD IP65
Câbles	Câble Solaire 4 mm <sup>2</sup> 1100 mm
Connecteurs	MC4 ou combinés MC4

Conditions de fonctionnement	
Température	-40°C à +85°C
Tension Maximale du Système / Protection	1000 V / CLASS II
Charge Maximale du Vent / Neige	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m <sup>2</sup> )
Max. Courant Inverse (IR)	15,1 A

\*Spécifications électriques mesurées en STC. NOCT: 47±2°C.  
Tolérances mesures STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

- Modules par caisse: **25 unités**
- Poids par palette: **560 kg**
- Un conteneur de 40 pieds peut contenir **26 caisses: 650 panneaux**
- Un conteneur de 20 pieds peut contenir **12 caisses: 300 panneaux**
- Un camion TAUTLINER peut contenir **30 caisses: 750 panneaux**

**REMARQUE:** Les données figurant dans le présent document sont susceptibles de modifications sans préavis.

Dernière révision: **02/01/12**  
Réf.: **F-MU-6M 6x10-G**

➔ [www.atersa.com](http://www.atersa.com) • [atersa@elecnor.com](mailto:atersa@elecnor.com)

Madrid +34 915 178 452 • Valence +34 961 038 430 • Italie +39 039 226 24 82 • Allemagne +49 151 153 988 44



**Características eléctricas (STC: 1kW/m<sup>2</sup>, 25°C±2°C y AM 1,5)\***

	<b>A-240P</b>	<b>A-245P</b>	<b>A-250P</b>
Potencia Nominal (0/+5 W)	240 W	245 W	250 W
Eficiencia del módulo	14,74%	15,04%	15,35%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,21 A	8,33 A	8,45 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	29,21 V	29,37 V	29,53 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,73 A	8,82 A	8,91 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	37,16 V	37,38 V	37,60 V

**Parámetros térmicos**

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

**Características físicas**

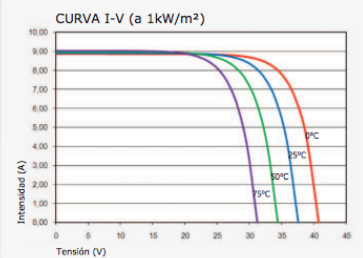
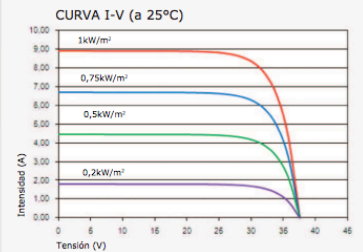
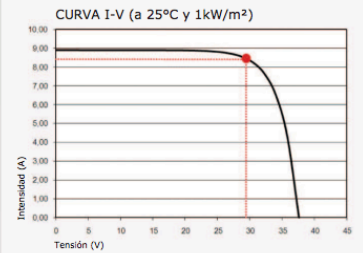
Dimensiones (mm ± 2 mm)	1645x990x40
Peso (kg)	21,5
Área (m <sup>2</sup> )	1,63
Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	60 (6x10)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3.2 mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones	TYCO IP65
Cables	Cable Solar 4 mm <sup>2</sup> 1200 mm
Conectores	TYCO

**Rango de funcionamiento**

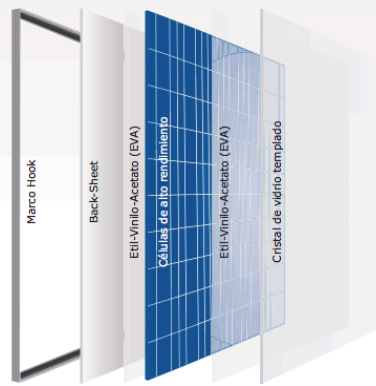
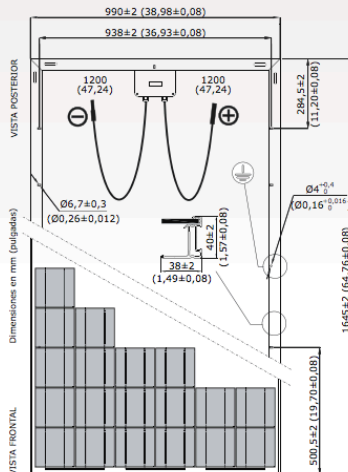
Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m <sup>2</sup> )
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

\*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.  
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

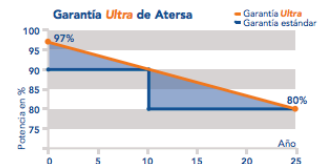
**Curvas modelo A-250P**



Vista genérica de la construcción de un módulo fotovoltaico



- Módulos por caja: **25 uds**
- Peso por palé: **580 kg**
- En un contenedor de 40 pies entran **25 cajas: 625 paneles**
- En un contenedor de 40 pies HC entran **26 cajas: 650 paneles**
- En un contenedor de 20 pies entran **10 cajas: 250 paneles**
- En un camión TAUTLINER entran **30 cajas: 750 paneles**



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

[www.atersa.com](http://www.atersa.com) • [atersa@elecnor.com](mailto:atersa@elecnor.com)  
Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111

Revisado: 18/02/15  
Ref.: MU-6P (4) 6x10-A (TY 3.2)  
© Atersa SL, 2015



## 6.8. Ficha técnica inversor Fronius Symo 5kW.



# FRONIUS SYMO

Maximum flexibility for the applications of tomorrow



SnapInverter technology



Integrated data communication



Dynamic Peak Manager



Smart Grid Ready



SuperFlex Design



Zero feed-in



With power categories ranging from 3.0 to 20.0 kW, the transformerless Fronius Symo is the three-phase inverter for systems of every size. Owing to the SuperFlex Design, the Fronius Symo is the perfect answer to irregularly shaped or multi-oriented roofs.

The standard interface to the internet via WLAN or Ethernet and the ease of integration of third-party components make the Fronius Symo one of the most communicative inverters on the market. Furthermore, the meter interface permits dynamic feed-in management and a clear visualisation of the consumption overview.

### TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

INPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Number MPP trackers		1			2	
Max. input current (I <sub>dc max 1</sub> / I <sub>dc max 2</sub> )		16.0 A			16.0 A / 16.0 A	
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> / MPP <sub>2</sub> ) <sup>1)</sup>		24.0 A			24.0 A / 24.0 A	
DC input voltage range (U <sub>dc min</sub> - U <sub>dc max</sub> )				150 - 1000 V		
Feed-in start voltage (U <sub>dc start</sub> )				200 V		
Usable MPP voltage range				150 - 800 V		
Number of DC connections		3			2+2	
Max. PV generator output (P <sub>dc max</sub> )	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>	6.0 kW <sub>peak</sub>	7.4 kW <sub>peak</sub>	9.0 kW <sub>peak</sub>

OUTPUT DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
AC nominal output (P <sub>ac,n</sub> )	3,000 W	3,700 W	4,500 W	3,000 W	3,700 W	4,500 W
Max. output power	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA	3,000 VA	3,700 VA	4,500 VA
AC output current (I <sub>ac,nom</sub> )	4.3 A	5.3 A	6.5 A	4.3 A	5.3 A	6.5 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frequency (Frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Total harmonic distortion	< 3 %					
Power factor (cos φ <sub>ac,n</sub> )	0.70 - 1 ind. / cap.			0.85 - 1 ind. / cap.		

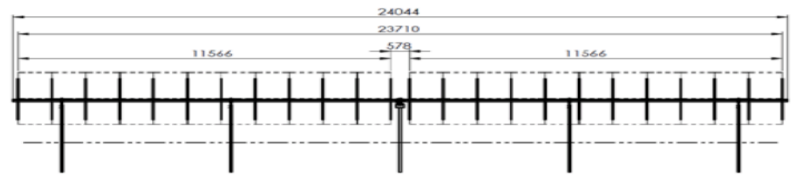
GENERAL DATA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm					
Weight	16.0 kg			19.9 kg		
Degree of protection	IP 65					
Protection class	1					
Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup>	2 / 3					
Night time consumption	< 1 W					
Inverter design	Transformerless					
Cooling	Regulated air cooling					
Installation	Indoor and outdoor installation					
Ambient temperature range	-25 - +60 °C					
Permitted humidity	0 - 100 %					
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)					
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
AC connection technology	5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>			5-pole AC screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>3)</sup>		
Certificates and compliance with standards	OVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>1)</sup> , CEI 0-21 <sup>1)</sup> , NRS 097					

<sup>1)</sup> This applies to Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M and 4.5-3-M. <sup>2)</sup> According to IEC 62109-1.  
<sup>3)</sup> 16 mm<sup>2</sup> without wire end ferrules. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).



## 6.9. Ficha técnica del seguidor de un eje Deger Tracker s100-pf-dr

### Technical Specification



**DEGERtracker S100-PF-DR with driven pile foundation <sup>[1]</sup>**

#### BASIC DATA

Nominal output (depending on module)	11,000 - 12,320 Wp DC
Tracking type	1-axis
Module surface up to	78,6 m <sup>2</sup>
Max. module surface (W x H)	2 x 11,57 m x 3,4 m
60-cell Standard Module (max.)	44
Approvals	CE, UL

#### STRUCTURE

Materials	hot-dip galvanized steel, aluminum, synthetics
Galvanization	EN ISO 1461 or comparable
Bond-Type	bolted connection, no weld at sight
Certified statics	yes
Max. North-South slope	10°
Weight (without mast/aluminum)	project specific
Subsoil requirements	soil survey necessary

#### DRIVE

Principle	maintenance free screw drive
East-West angle	+/- 50°
Spin speed	18°/min.
Sound level (without load)	50 dB(A)
Protection class	IP 55

#### ELECTRONICS & CONTROL

Operating voltage	100 - 240 V AC / 50 - 60 Hz
Rated input current	2,3 A
Control	MLD-Technology
Protection class	IP 54

#### POWER CONSUMPTION (APPROX)

Control mode	1 W
With running actuator	50 W - 240 W
Internal consumption per year	5 kWh

#### POWER OUTPUT

Output voltage	24 V DC
Output current (max.)	10 A

#### CLIMATIC CONDITIONS

Installation over sea level	max. 2000 m
Permissible ambient temperature	-20°C - +50°C
Humidity range	5% - 95%
Permitted wind speed	110 km/h <sup>[2]</sup>

[1] The depth of the driven pile foundation must be statically calculated  
 [2] With full occupancy - Laid out with planing tool



### 6.10. Ficha técnica seguidor de dos ejes SAT st44n2v4p

Mechanical Capabilities	
Number of turning axis	Dual-Axis
Hour Angle Limit	100°, software and hardware limit 50°E to 50°W
Elevation angle	15-90°, adjustable start
Type of hour-angle motor	Linear Motor SM4S510M2 with stroke of 510 mm
Type of elevation-angle motor	Linear Motor SM4S510M2 with stroke of 510 mm
Hour-angle shaft diameter and length	ø48 mm, L=1400 mm (steel)
Backstructure size	2 pcs of 1000 (H) mm & 4 pcs of 1500 (V) mm & 4 pcs of 2000 (V) mm
Type of backstructure clamp	Toothed scissors grippers - 16 pcs
Tube diameter for mounting	ø76,1 x 3,6 mm with reduced tube to ø68 mm (not included with kit)
Max. dimensions of a solar panel	4 pieces of 0,99 m x 1,65 m in total 6,5 m <sup>2</sup>
Max. weight of a solar panel	4 pcs per 20 kg
Estimated service life	800-1000h of motor operation (DC motor replace on 8 years if each day one cycle), backup battery replace on 3-5 years if battery in, all other 25 years
Positioning System Data	
Tracking accuracy	< 0.5° (optionally < 0.1° - for additional payment )
Operating Protocol	TdAPS (Time derived Astronomical Positioning System)
Type of Positioning System	Servo driver positioner with TdAPS arc logic function calc.
Type of positioner	Din Rail positioner MICRO and exterior cables
Type of timer	GMT clock with EOT and calendar
Type of application program for supervision and setting	Solar tracking system monitor via web site
Setting and changing data via PC	Yes
Monitoring possibility via PC	Yes
Turned on the position sent from PC	Yes, it turn on position sent from PC, also all other setting can be commanded with string sent from PC
Turning time interval	1-15 min.
Communication Data	
Type of communication interface	USB interface
Networking solution for control from centre	RS485
Firmware - Software	
Upgrading possibility via PC	Yes, firmware via PC with help of Helios Analytics
Electrical Data	
Motor Power Supply	24 VDC +5% / -15% (2.5A current capacity) SMPS must have 150% inrush current
Backup battery	CR 2512 coin
Standby consumption (when is not moving)	20 mA ± 25% @ 24VDC
Power supply connection	1 piece of 2 Wire Cable with an Internal Cu Conductor of 2,5 mm <sup>2</sup> (for lenghts up to 30 m), (not included with kit)
Junction Box	190 (L) x 140 (W) x 70 (H) mm with connection harness
Environmental Data	
Operating temperature	- 25°C to +70°C (optionally with artic grease for teperatures from -40°C up to +70°C)
Operation at humidity	0% to 100%, relative humidity
Max. safe wind speed	max. 120 km/h
Corrosion, weather and chemical resistance	
Hot-dip galvanizing (HDC, EN ISO 1461)	75-100 µm (equivalent of 50 years)
Packaging	
Dimensions of a packed product	1 box of 205 (L) x 32 (W) x 25 (H) cm
Product weight	57 kg
Quality Certificates	
International Protection Rating (IEC 60529)	IP63
Electromagnetic Compatibility (EMC Directive 89/336/EEC)	Yes
Low Voltage Equipment Directive (EEC Council Directive 73/23/EEC)	Yes
Optional Properties	
Anti-Shadowing Function	Yes, included
Heliostat usage	Yes, for additional payment



Universidad de Cuenca

## 7. Bibliografía

- Pelaéz Samaniego, M. R., & Espinoza Abad, J. L. (s.f.). *Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas.*
- Carta Gonzalez, J. A., Calero Perez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (s.f.). *Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables.*
- Ojeda, E. M. (s.f.). *Análisis técnico y económico de la energía eólica.*
- CIEMAT. (2014). *ENERGIA EOLICA DE PEQUEÑA POTENCIA.*
- Apumayta, C. &. (2014). *Diseño, cálculo y puesta en operación comercial de una central fotovoltaica conectada a la red.*
- Carmona, G. D. (2010). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Técnico en instalaciones eléctricas y automáticas.* (McGrawHill, Ed.)
- Parera, R. G. (2008). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1, 1 MW. .*
- Solar, M. (2006). *Guía de la energía solar.*
- UCLM. (2011). *Energía Eólica.*
- OJEDA, E. A. (2013). *Análisis técnico y económico de la energía eólica.*
- ECOVIVE. (2016). *ECOVIVE.* Obtenido de ECOVIVE: <https://ecovive.com>
- SATControl. (s.f.). <http://www.solar-motors.com>.
- Cochancela, J., & Astudillo, P. (2012). *Análisis energético de centrales eólicas.* Cuenca.
- Mendez Urgiles, S. G. (2018). *Análisis técnico del mini-parque eólico de la Universidad de Cuenca: comparación de aerogeneradores de eje horizontal y vertical".* Cuenca.
- ENAIR. (2018). <https://www.enair.es>.
- MANCHADO PERERO, R. (2017). *EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA MINIEÓLICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS MUNICIPALES.*
- SUAREZ CARRIO, A. (2008). *ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 100 KW EN CUBIERTA DE NAVE INDUSTRIAL.*
- GENSUR, C. (12 de 10 de 2018). *Delsitanisagua – Ministerio de Electricidad y Energía Renovable* <https://www.energia.gob.ec/delsitanisagua/>.
- Arconel. (s.f.). [www.arconel.gob.ec](http://www.arconel.gob.ec). Obtenido de Agencia de Regulación y Control de Electricidad.



Universidad de Cuenca

Baca Urbina, G. (2001). *Evaluación de Proyectos* (4 ed.).

Guerrero Dumas, C., & León Brabo, P. (2018). *Estudio preliminar del potencial solar y de implementación de una central solar térmica concentrada en Ecuador*. Cuenca.

Arconel. (s.f.). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA*.

Arconel. (2015). *Requerimientos Técnicos para la conexión y operación de generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución*.

Arconel. (2018). *Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica*.

Arconel. (2013). *Procedimiento de Calificación y Registro de los Proyectos de Generación de Energías Renovables No Convencionales menores a 1MW (Regulación No. CONELEC 002/13)*.

Arconel. (2013). *"Participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales", hasta que se expida el nuevo marco normativo de detalle, en función de las disposiciones de la LOSPEE*.

IRENA. (2017). <https://www.irena.org/>.

MEER. (2016). *Plan Maestro de Elictricidad*.

Oscullo, J., & Haro, L. (2014). *Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014*. CENACE.

IEA. (2010). [https://www.iea.org](https://www.iea.org/).

Conelec. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA*.

MEER, M. d. (2014). *ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica*.

MEER, M. d. (2014). *ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica*.

Fronius. (2018). <https://www.fronius.com>. Recuperado el 15 de 11 de 2018



Universidad de Cuenca

GpTech. (2018). <http://www.greenpower.es>. Recuperado el 15 de 11 de 2018, de GPtech.

ATERSA. (2018). <https://atersa.shop/>. Recuperado el 15 de 11 de 2018, de ATERSA.

Argumedo, E. L. (2009). *Estudio técnico económico de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red 5kW*. Leganes.

<https://qksol.com/>. (2018). *DEGERtracker S100-PF-DR*.

NOAA. (2018). <https://www.ncdc.noaa.gov/>. Recuperado el 15 de 11 de 2018