



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE RENDIMIENTO  
DINÁMICO DEL SISTEMA HÍBRIDO DE FOTOVOLTAICO Y  
TURBINA A VIENTO HASTA 2KW**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: GARZÓN SANMARTÍN JOHN PAÚL**

**DIRECTOR: Dr. SAMUEL SAMI-HOWARD**

**CUENCA**

**2018**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Garzón Sanmartín John Paúl, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

---

**Garzón Sanmartín John Paúl**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Garzón Sanmartín John Paul, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Samuel Sami-Howard**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

En el presente trabajo de investigación dedico de todo corazón a mi querida familia que me ayudaron a salir a delante con sus consejo y apoyo incondicional lograron que mi persona pueda superase día tras día dedico a mi hermosa madre Margarita Sanmartín por todo el apoyo y amor que me han dado a mi querido padre Miguel Garzón con su esfuerzo y trabajo me ayudo que me supere y con su motivación de perseverancia, a mis hermanos Cristhian, Kevin Garzón y mis queridos tíos Lucha, Esgar, Nelson, Jilver Calva que son las persona más especiales y a mi querida abuela Juana Calva que no se encuentra con nosotros pero le dedico con mucha fe diciéndole logre cumplir mi sueño, y en especial a mi querida novia Yaritza Rodríguez, David Rodríguez que me ayudo con su mejores alegrías para mi esfuerzo y dedicación a mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco de todo corazón a Dios por dame la sabiduría para poder culminar el trabajo de investigación la cual fue un proceso muy largo que culminó con la experiencia de ver desarrollado la investigación de las energías renovables, a mi querido padres y mi amada madre que están presente cada minuto y segundo de mi vida a mis hermanos que son una parte encendía de motivación para el desarrollo del trabajo de investigación.

Gracias, de todo corazón, a mi tutor Dr. Samuel Sami-Howard, PE, MSc A, Ph.D, JD, gracias al conocimiento impartido y a su gran dedicación de enseñanza, y por su paciencia han debido lo cual es un agrado y una gratitud poder contar con su colaboración que ha demostrado.

Como no tener presente a mis abuelos que no están conmigo pero siempre están en el corazón y en el pensamiento a mis tíos que supieron brindarme muchos consejos y motivaciones.

Agradezco de todo corazón a la Universidad Católica de Cuenca y al centro de energías renovables (CER) por facilitarme lo materiales y equipos de laboratorio para el análisis teórico y experimental del sistema hibrido para nuestro trabajo de investigación y que culmino con éxito.

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
TABLA DE CONTENIDO .....	VI
TABLA DE FIGURAS.....	X
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	XIII
TABLAS .....	XIV
LISTA DE ANEXOS .....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
1) FUNDAMENTACION TEÓRICO .....	1
1.1 Descripción de sistema PV.....	1
1.1.1 Radiación solar.....	1
1.1.2 Funcionamiento de la celdas fotovoltaica.....	2
1.1.3 Estructura de las células solares.....	3
1.2 Característica y tipos de paneles solares fotovoltaico.....	3
1.3 Tipo de paneles solares fotovoltaicos.....	4
1.3.1 Tipos de soportes para paneles solares fotovoltaicos.....	4
1.3.2 Soporte estático o fijo.....	5
1.4 Dimensión de una batería (para los paneles solares fotovoltaicos).....	5
1.4.1 Banco de batería para el sistema de paneles solares fotovoltaico.....	6
1.5 Descripción de sistema (Eólica).....	7
1.5.1 Aerogenerador.....	7
1.5.2 Partes de un aerogenerador.....	8
1.5.2.1 <i>Tipos de aerogenerador.</i> .....	9
1.5.2.2 <i>Eje horizontal.</i> .....	9
1.5.2.3 <i>Eje vertical.</i> .....	9
1.5.2.4 <i>Sistema de soporte de un aerogenerador.</i> .....	10
1.5.2.5 <i>Generador síncrono en un aerogenerador.</i> .....	10

<b>1.6</b>	<b>Trabajo de investigación simulación eólica de la entrada de aire al rotor...</b>	<b>11</b>
1.6.1	Comportamiento del impacto ambiental.....	11
1.6.2.1	<i>Situación mundial de potencia eólica.....</i>	12
1.6.2.2	<i>Orientación del viento.....</i>	12
1.6.2.3	<i>Ubicaciones del lugar de la instalación del sistema eólico.....</i>	13
1.4.2.4	<i>Sistema híbrido PV-Turbina.....</i>	14
1.4.2.5	<i>Generación híbrida.....</i>	14
<b>1.7</b>	<b>Trabajo de investigación Simulación del sistema híbrido.....</b>	<b>14</b>
1.7.1	Almacenamiento de energía.....	15
<b>1.8</b>	<b>Sistema de sensores electrónicos (Arduino).....</b>	<b>15</b>
1.8.1	Clasificación de los sensores AC-DC.....	16
1.8.1.1	<i>Sensor de voltaje continuo.....</i>	16
1.8.1.2	<i>Sensores voltaje alterno.....</i>	16
1.8.1.3	<i>Sensor de corriente continua.....</i>	17
<b>1.9</b>	<b>Tipos de programaciones de los sensores de Arduino.....</b>	<b>17</b>
1.9.1	Sensores de voltaje continuo (Arduino).....	18
1.9.2	Sensor de corriente continua (Arduino).....	19
1.9.3	Sensor de corriente alterna (Arduino).....	21
1.9.4	Sensor reloj DS3231 (Arduino).....	25
<b>1.10</b>	<b>Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.....</b>	<b>25</b>
1.10.1	Trabajo de investigación para la conversión de energía (PV) de Panel solar Fotovoltaico.....	25
<b>1.11</b>	<b>Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.....</b>	<b>26</b>
1.11.1	Trabajo de investigación para la conversión de energía de viento a energía eléctrica (Eólico).....	26
<b>1.12</b>	<b>Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.....</b>	<b>27</b>
1.12.1	Trabajo de investigación para un sistema híbrido.....	27
<b>2)</b>	<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL Y USO DE LAS INSTALACIONES DEL CENTRO DE ENERGIA RENOVABLES (CER) PARA EL MONITOREO DE DATOS HOBO U30.....</b>	<b>28</b>
2.1	Centro de investigación de energía renovable.....	28

2.3	<b>Análisis del Sistema Fotovoltaico-Eólico y HOBO U30.</b>	29
2.4	<b>Simulación meteorológica de HOBO U30 de los diferentes sensores de medición.</b>	30
2.4.1	<b>Mantenimiento de la estación meteorológica HOBO U30.</b>	31
2.4.2	<b>Análisis de conversión de energía del sistema Fotovoltaica.</b>	31
2.6	<b>Sistema de recopilación de datos para el sistema híbrido de AC-DC (Arduino).</b>	32
2.7	<b>Justificación.</b>	33
2.8	<b>Objetivo de la investigación.</b>	34
2.8.1	<b>Objetivo general.</b>	34
2.8.2	<b>Objetivo específico.</b>	34
3)	<b>MODELO DINAMICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO Y TURBINA A VIENTO PARA LA GENERACION DE 2Kw.</b>	<b>35</b>
3.1	<b>Sistema de panel solar Fotovoltaico.</b>	35
3.2	<b>Modelo matemático y simulación del sistema de la turbina a viento (Aerogenerador).</b>	38
3.2.1	<b>Calculo de la potencia del sistema numérico de placa.</b>	39
3.3	<b>Modelo de controlador de un sistema híbrido (panel solar Fotovoltaico y turbina a viento Eólica).</b>	40
3.4	<b>Modelo de rendimiento de batería de carga y descarga.</b>	40
3.4.1	<b>Rendimiento de la batería en el sistema híbrido (Fotovoltaico-Eólico).</b>	41
3.5	<b>Modelo de inversor.</b>	42
3.6	<b>Eficiencia del sistema híbrido.</b>	42
3.7	<b>Modelo matemático de Arduino mega 2560.</b>	42
3.7.1	<b>Sensores de corriente continua y alterna.</b>	43
3.7.2	<b>Modelos de sensor de corriente eléctrica no invasivo con Arduino.</b>	43
3.7.3	<b>Medidor de voltaje continuo.</b>	44
3.7.4	<b>Reloj de Arduino DS3231.</b>	45
3.7.5	<b>Sensor Shield Ethernet.</b>	45
3.8	<b>Sensor de monitoreo meteorológico HOBO U30.</b>	45
4)	<b>RENDIMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADO ANALIZADO DEL SISTEMA HÍBRIDO DEL PANEL SOLAR – FOTOVOLTAICO Y TURBINA A VIENTO - EOLICA.</b>	<b>48</b>
4.1	<b>Resultados del sistema panel solar fotovoltaico.</b>	50

4.1.1	Resultados teórico del panel solar fotovoltaico con temperatura diferente radiación hasta 1000 W/m <sup>2</sup> .	50
4.1.2	Interpretación de resultados del panel solar fotovoltaico.	50
4.1.3	Centro meteorológico HOBO U30 (UCACUE).	51
4.1.4	Ubicación del sistema meteorológico HOBO U30.	52
4.1.5	Característica del sistema de medición HOBO “U30”.	52
4.1.6	Proceso de la simulación del modelo matemático del panel solar fotovoltaico.	53
4.1.7	Modelo matemático a condiciones constantes del sistema fotovoltaico.	53
4.1.8	Resume del modelo matemático con condiciones del fabricante.	56
4.1.9	Toma de datos del sistema dinámico de panel solar fotovoltaico a condiciones variables.	56
4.1.10	Recolección de datos para el análisis experimenta.	57
4.1.11	Recolección de datos a diferentes radiaciones y diferentes temperaturas.	58
4.1.12	Condiciones experimentales de sistema solar fotovoltaica.	58
4.1.13	Comparación del sistema del panel solar fotovoltaico del modelo matemático y modelo experimental.	60
4.2	Resultados del sistema de turbina a viento aerogenerador.	61
4.2.1	Interpretación de los datos.	61
4.2.2	Velocidad de viento.	61
4.2.3	Resultado de la velocidad de viento Teórica.	62
4.2.4	Recopilación de datos de la potencia experimental.	62
4.2.5	Recopilación de datos del curva de potencia del modelo matemático y modelo experimenta para la generación eléctrica.	63
4.2.6	Recopilación de dato para determinar la eficiencia eólica.	64
4.3	Resultado del rendimiento y análisis del sistema híbrido del panel solar fotovoltaico y turbina a viento eólica para determinar la potencia generada.	68
4.3.1	Modelo teórico y experimental del sistema Híbrido.	71
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>74</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>75</b>

## TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Inclinación del Panel Solar.....</i>	2
<i>Figura 2. Efecto de Absorción de una Panel Solar.....</i>	3
<i>Figura 3. Silicio Puro Monocristalino.....</i>	4
<i>Figura 4. Silicio Puro Policristalino.....</i>	5
<i>Figura 5. Banco de Baterías de 12 Voltios.....</i>	6
<i>Figura 6. Esquema de Batería de Litio-Aire Durante la Descarga.....</i>	6
<i>Figura 7. ZH 1.5kW Wind Turbine System.....</i>	7
<i>Figura 8. Partes de un Aerogenerador.....</i>	8
<i>Figura 9. Aerogenerador de 12 Tensores.....</i>	9
<i>Figura 10. Torres Tubular para un Aerogenerador de Eje Horizontal.....</i>	10
<i>Figura 11. Rotación del Viento a Través de las Palas del Aerogenerador.....</i>	11
<i>Figura 12. Evolución Acumulada de la Potencia Eólica Mundial 1997-2010.....</i>	12
<i>Figura 13. Movimiento Atmosférico Terrestre.....</i>	12
<i>Figura 14. Montaje del Aerogenerador (CER) UCACUE.....</i>	13
<i>Figura 15. Consumo de Energía Renovable en el Ecuador.....</i>	14
<i>Figura 16. Inversor de 120 Voltios (AC-VA).....</i>	15
<i>Figura 17. Sensor de voltaje Arduino 25(Voltios).....</i>	16
<i>Figura 18. Sensor de Voltaje Transformador Monofásico Voltaje de CA Módulo Activo 2mA para Arduino.....</i>	16
<i>Figura 19. Sensor de Corriente ACS 712.....</i>	17
<i>Figura 20. Software del Programa de Arduino 1.84.....</i>	17
<i>Figura 21. Voltaje Promedio del Mes de Octubre del 2017.....</i>	19
<i>Figura 22. Corriente Continua del Sensor de Medición Experimental.....</i>	20
<i>Figura 23. Reloj DS3231 ARDUINO.....</i>	25
<i>Figura 24. Fotografía de la Localización del Laboratorio de Energías Renovables (CER) (de la Universidad Católica de Cuenca).....</i>	28
<i>Figura 25. Ubicación del Centro de Energía Renovables (CER) UCACUE.....</i>	29
<i>Figura 26. HOBO U30 USB.....</i>	29
<i>Figura 27. HOBOWare Medición de Clima de los Diferentes Tipos de Sensores.....</i>	30
<i>Figura 28. Curva de Eficiencia de Clima vs Tiempo de HOBOWare.....</i>	31
<i>Figura 29. Curva de Radiación vs Tiempo Julio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017.....</i>	31
<i>Figura 30. Curva de Velocidad de Viento Promedio Durante 24 Horas. Durante el Mes de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017.....</i>	32
<i>Figura 31. Sensores de Arduino AC-DC.....</i>	33
<i>Figura 32. Circuito de una Célula Solar Fotovoltaico.....</i>	35
<i>Figura 33. Potencia Teórica con Velocidad Mínima 2.5 (m/s) y Máximo 11 (m/s) del aerogenerador ZH1.5 Kw.....</i>	40
<i>Figura 34. Partes de un Sensor Electromagnético.....</i>	43
<i>Figura 35. Rectificador.....</i>	44
<i>Figura 36. Diagrama del Sensor de Voltaje.....</i>	45
<i>Figura 37. Diagrama Reloj DS3231.....</i>	45
<i>Figura 38. HOBOWare, Configuración de Trazado del Sistema Meteorológico.....</i>	46
<i>Figura 39. HOBOWare Diferentes Tipos de Medición Según los Sensores.....</i>	46
<i>Figura 40. HOBOWare Sistema Internacional SU.....</i>	47
<i>Figura 41. Diagrama de Componentes Básicos de un Sistema Híbrido.....</i>	48

Figura 42. Diagrama de Flujo del Sistema Híbrido .....	49
Figura 43. Diferente Radiación a Temperatura Ambiente Constante °C.....	50
Figura 44. Centro Meteorológico HOBO Ubicación de los Sensores. ....	51
Figura 45. Componentes de Sistema de Medición HOBO U30.....	52
Figura 46. Temperatura de Celda Fotovoltaica Constante con Relación al Tiempo Día....	53
Figura 47. Corriente Panel Solar con Relación al Tiempo Hora.....	54
Figura 48. Curva de Potencia con Relación a Corriente Continua con Variación de Radiación Solar. ....	54
Figura 49. Curva de Eficiencia en % del Panel Solar Fotovoltaico con Relación al Tiempo .....	55
Figura 50. Curva de P(w)-Eficiencia con Diferentes Radiaciones W/m <sup>2</sup> .....	55
Figura 51. Curva de Eficiencia vs Potencia a Diferentes Voltajes y Radiaciones W/m <sup>2</sup> Experimental.....	56
Figura 52. Curva de Voltaje-Corriente a Diferente Radiación W/ m <sup>2</sup> .....	57
Figura 53. Radiación solar a 1000 w/ m <sup>2</sup> - 500 w/ m <sup>2</sup> - 250 w/ m <sup>2</sup> - 100 w/ m <sup>2</sup> a Temperaturas 25-50-75°C Grados .....	57
Figura 54. Eficiencia Experimental a Diferentes Radiaciones y Diferentes Temperaturas.58	
Figura 55. Radiación Solar del Sistema Meteorológica de HOBO Sobre Determinado Tiempo de 7am a 5pm del Día 01/07/2017.....	59
Figura 56. Potencia Generada Durante un Día Promedio 01/07/2017.....	59
Figura 57. Potencia generada por la simulación dinámica del modelo matemático y experimental.....	60
Figura 58. Eficiencia de Simulación del Modelo Matemático y Experimental.....	61
Figura 59. Curva de Velocidad de Viento de 6am a 7pm Durante Intervalos de Minuto a Minuto 01/07/2017.....	62
Figura 60. Curva de Potencia Según la Velocidad de Viento Promedio .....	62
Figura 61. Curva del Modelo Matemático y Modelo Experimental Según su Potencia. ....	63
Figura 62. Eficiencia del Modelo Teórico - Experimental vs Velocidad de Viento 01/07/2017.....	64
Figura 63. Curva de eficiencia del aerogenerador a diferentes $\beta = 0$ .....	65
Figura 64. Curva de Eficiencia a Diferentes $\lambda=5, \lambda=8, \lambda=12$ a Diferente Radiaciones ....	65
Figura 65. Curva de Potencia a Diferente Velocidad de Viento y a diferentes $\lambda$ . ....	66
Figura 66. Curva de Potencia Durante un Día Promedio sobre la Velocidad de Viento de Aerogenerador ZH1.5KW 01/07/2017.....	66
Figura 67. Potencia Teórica y Potencia Experimental de la Turbina a Viento .....	67
Figura 68. Curva de Potencia a Diferente Coeficiente de Betz. ....	67
Figura 69. Curva de Potencia a Diferente $\lambda$ - $\beta$ Experimental .....	68
Figura 70. Curva de potencia híbrida para la acumulación de energía a un determinado tiempo.....	68
Figura 71. Curva de Potencia Mensual Julio 2017 .....	69
Figura 72. Curva de Eficiencia del Sistema Híbrido .....	69
Figura 73. Curva de Potencia Mensual Agosto.....	70
Figura 74. Simulación del Sistema Dinámico Fotovoltaico-Eólico vs Promedio Mensual Julio Agosto Septiembre Octubre 2017.....	71
Figura 75. Curva de Eficiencia del Modelo Teórico y Modelo Experimental vs Tiempo Promedio Mensual del Mes Julio Agosto Septiembre Octubre 2017.....	72
Figura 76 Curva de Eficiencia del Modelo Teórico y Modelo Experimental vs Radiación Promedio Mensual del Mes Julio Agosto Septiembre Octubre 2017.....	72

<i>Figura 77. Datos de Proveedor Para el Modelo Teórico (TECHNICAL DATA SHEET SM636-120W)</i> .....	84
<i>Figura 78. OPERATING &amp; INSTALLATION MANUAL (ZH1.5kw wind turbine system) .....</i>	85
<i>Figura 79. Datos de velocidad de viento en (r/min). Wind TurbinA</i> .....	86
<i>Figura 80. Sensores de Mediciones para el Sistema Hibrido</i> .....	91

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Centro de Energía Renovables (CER) Ubicación BASILICA .....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 2. Panel Solar Fotovoltaico de 140w.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 3. Soporte de los Sistema Meteorológico y Aerogenerador.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 4. Laboratorio Interno de los Diferentes Componentes de Energías Renovables.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 5. Implementación de los Diferentes Tipos de Sensores al Laboratorio de Energías Renovable. ....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 6. Instalación de los Sensores de Medición.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 7. Sistema Meteorológico de Medición de Clima para la Recopilación de Datos de Radiación Solar y Fotovoltaico .....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 8. Ubicación del Panel Solar y aerogenerador a la Altura del Techo de la Universidad Católica de Cuenca a una Distancia de 8 Metros a Nivel del Suelo.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 9. Instalación de los Sensores de Corriente y Voltaje Continuo.....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 10. Sistema Hibrido (Fotovoltaica- Turbina a Viento).....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 11. Sensores de Medición AC-DC para el Sistema Hibrido con Carga. ....</i>	<i>91</i>

## TABLAS

Tabla 1. Recolección de Datos de Diferentes Tipos de Sensores Durante un Día .....	30
Tabla 2. Velocidad promedio del mes Junio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017.....	32
Tabla 3. Sensibilidad de Sensor ACS715 20A-T.....	43
Tabla 4. Ubicación Centro Meteorológico HOBO U30 en la Universidad Católica de Cuenca.....	52
Tabla 5. Velocidades Promedio Día de Sistema Meteorológico HOBO U3.....	61

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1: FOTOGRAFIAS DE LA ESTACION METEOROLOGICA HOBO U3 UBICADO EN EL CENTRO DE ENERGIA RENOVABLE (CER) DE LA UNIVERSIDA CATOLICA DE CUENCA LOCALIZADO EN LA CIUDAD DE CUENCA .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 2: TECHNICAL DATA SHEET (SM636-120W) .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 3: OPERATING &amp; INSTALLATION MANUAL (ZH1.5kw wind turbine system) .....</b>	<b>.85</b>
<b>ANEXO 4: FOTOGRAFIA DE LA INSTALACION DE LOS DIFERENTES COMPONENTE DE LOS SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICO Y TURVINA A VIENTO EOLICA.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 5: HOJA DE ESPECIFICACIONES ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOBO .....</b>	<b>93</b>

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló basado en el modelo dinámico para encontrar el rendimiento, del sistema Eólico y el sistema Fotovoltaico para un sistema híbrido. Se presentó el modelo teórico y el modelo experimental para el desarrollo de las diferentes ecuaciones pertinentes y la comparación entre los tres esquemas, obteniéndose como resultado la capacidad eléctrica.

Al desarrollar el sistema Eólico y Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica nos permite el aprovechamiento de los recursos renovables para satisfacer la demanda energética requerida en el Centro de Energía Renovable (CER).

Al realizar el estudio y el análisis de la simulación dinámica del sistema eólica y fotovoltaico, para un sistema híbrido es posible determinar la potencia y la eficiencia se utilizó las condiciones ambientales producida por el sol y el viento para la generación de energía eléctrica asta 2Kw.

Palabras Claves: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA, GENERACIÓN EÓLICA, SISTEMA HIBRIDO MODELO DINÁMICO, SOFTWARE ARDUINO.

## ABSTRACT

The present research was developed based on the dynamic model to find the performance, the wind system and the photovoltaic system for a hybrid system. The theoretical model and the experimental model were presented for the development of the different pertinent equations and the comparison between the three schemes, obtaining as a result the electrical capacity.

By developing the wind and photovoltaic system for the generation of electrical energy allows us the use of renewable resources to meet the energy demand required in the Renewable Energy Center (CER).

When carrying out the study and analysis of the dynamic simulation of the wind and photovoltaic system, for a hybrid system it is possible to determine the power and efficiency, the environmental conditions produced by the sun and the wind were used for the generation of electrical power up to 2Kw.

Keywords: Photovoltaic Generation, Wind Generation, Dynamic Model Hybrid System, Arduino.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se analizó los diferentes sistemas, el modelo matemático y el análisis experimental para un sistema híbrido localizado en el Centro de Energía Renovable (CER) de la Universidad Católica de Cuenca, ubicado en la Avenida de las Américas y Tarqui, posterior a la Basílica de la Santísima Trinidad. Se realizó la recolección de datos de la estación meteorológica HOBO U30 aprovechando la radiación solar y la velocidad de viento en la ciudad de Cuenca.

Las energías renovables son inagotables, para cubrir la demanda energética futura, en nuestro país cuenta con diversos lugares privilegiados para el desarrollo y estudio de las energías renovables, gobierno Ecuatoriano ejecuta grandes proyectos de energías limpias.

La importancia del desarrollo de la investigación surge de las necesidades de obtener energía limpia, el Centro de Energías Renovables (CER) en nuestro país posee una gran cantidad de energías alternativas que están localizadas en diferentes ubicaciones principalmente de energía fotovoltaica y energía eólica, e hidráulica.

La potencia y eficiencia del sistema híbrido fotovoltaico-eólico depende de la velocidad de viento y la radiación solar para determinar la potencia eléctrica tiene como objetivo principal realizar un estudio experimental.

Posteriormente, se lleva a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico-eólico, en el presente trabajo se utilizó los diferentes programas Excel, Arduino, Phaiton que nos permite recolectar los datos y las diferentes pruebas para determinar la demanda energética durante 4 meses.

Por último se determina el análisis y el estudio de los diferentes parámetros para el sistema híbrido buscando la mejor opción de generación de energía fotovoltaica-eólica que se ajuste a la eficiencia y potencia de 2kw.

## **CAPITULO 1.**

### **1) FUNDAMENTACION TEÓRICO**

En el capítulo 1 se determina el sistema fotovoltaico y principios fundamentales de los paneles solares y la conversión de energía.

El segundo aspecto hablaremos de los principios fundamentales del aerogenerador y energía eólica para la conversión de energía eléctrica.

En el tercer aspecto hablaremos del sistema híbrido para la generación de energía eléctrica.

En el último aspecto hablaremos de los principios fundamentales de la programación de Arduino, y de la estación meteorológica HOBO U30.

#### **1.1 Descripción de sistema PV.**

Cuando se habla de energías renovables es fácil de determinar la energía producida por el sol, se puede utilizar en diferente aspecto como el calentamiento de agua, por lo tanto, es un sistema térmico, también como energía eléctrica producida por las celdas, esto se llama energía fotovoltaica y por ultimo calor acumulado para la administración de la naturaleza en su forma natural.

Los sistemas fotovoltaicos son aquellos que puede producir energía eléctrica mediante el sol a través de la radiación que atraviesa las celdas o llamados (fotones) lo cual va a producir energía eléctrica llamados electrones.

Este tipo de sistema es muy utilizado en lugares que produce una radiación constante para la generación de energía eléctrica.

##### **1.1.1 Radiación solar.**

La insolación es la cantidad total de radiación solar que se obtiene en un punto determinado en el planeta, para determinar el valor de la radiación que existe se utilizó diferentes unidades que se va a determinar para el sistema de paneles solares, en Kilowatt hora por metros cuadrados (KWh/m<sup>2</sup>).

La radiación solar producida depende a la distancia del sol a la tierra en diferentes territorios. A mayor altura tendremos mayor radiación solar mientras a menos altura tendremos igual radiación pero diferentes aspectos lumínicos. (Cata & Rodriguez, Mayo 2015, pág. 26)

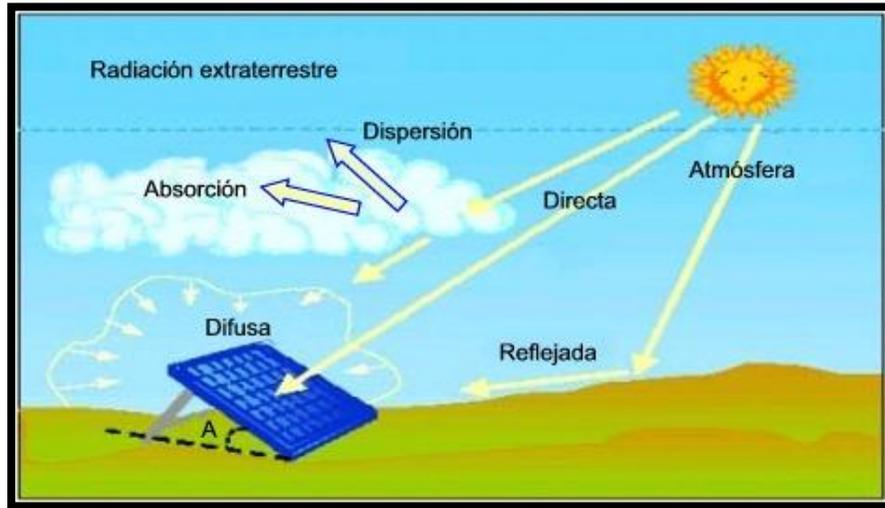


Figura 1. Inclinación del Panel Solar  
Fuente: (Inst, 2017)

### 1.1.2 Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.

Cuando se habla de la luz que incide sobre un semiconductor, es el conjunto de los fotones que libera electrones de los átomos creando dos tipos de cargas libres, una positiva y otra negativa se verifica la existencia de un voltaje entre los mismo.

Esta célula fotovoltaica produce una potencia y un voltaje deseado según el área de las celdas, uno de los principios claves de generación es la unión P-N, cuando se ponen en contacto una contra el otro. Específicamente la corriente fluirá fácilmente en una sola dirección (polarización directa). (Cata & Rodriguez, Mayo 2015, pág. 33)

La potencia eléctrica producida por las células PV está dado por la salida de voltaje y corriente y por valores instantáneos, el voltaje de una célula fotovoltaica esta alrededor de los 0,5 voltios.

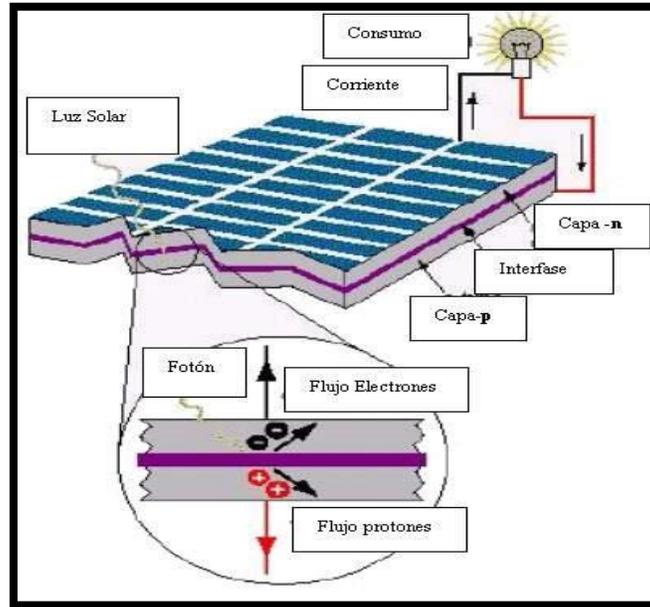


Figura 2. Efecto de Absorción de una Panel Solar (Moreno, 2007)

### 1.1.3 Estructura de las células solares.

Los rayos solares pueden golpear el suelo directamente o indirectamente que convierte directamente la luz producida por el sol en energía eléctrica, toda células solares puede generar corriente continua y voltaje continuo para ser transformado por el inversor a voltajes y corriente elevadas. (Cata & Rodriguez, Mayo 2015, pág. 32)

Existen diferentes tipos de estructuras para paneles solares como los sistemas electrónicos la cuales son capaces de seguir la luz para un mejor rendimiento del panel solar. (Gridiushko, 2015)

### 1.2 Característica y tipos de paneles solares fotovoltaico.

Una de las principales características de los paneles solares fotovoltaico es el silicio que se encuentra en abundancia la cual está recubierto por placa de vidrio transparente para la conservación de energía, las células fotovoltaicas tiene un grosor que varía o aproxima a 0.25 y los 0.35mm en forma general y cuadrada, con una superficie aproximadamente igual o mayor de  $100\text{cm}^2$  a continuación se detalla los materiales de las celdas solar fotovoltaica. (Neira & Velecela, 2014, pág. 42)

### 1.3 Tipo de paneles solares fotovoltaicos.

Podemos definir diferentes tipos de paneles solares con diferente componente químicos que son realizados de acuerdo a la forma y estructura y el área de las celdas fotovoltaica.

- Silicio Mono-Cristalino;
- Silicio poli Cristalino

Las células PV que ofrecen los fabricantes utilizan dos tipos de materiales semiconductores, este tipo silicio mono-cristalino ofrece una estructura uniforme y el silicio policristalino se obtiene fundiendo el material semiconductor.

Estos tipos de paneles solares son lo más utilizado para el estudio y el rendimiento de las celdas fotovoltaicas por lo cual son materiales semiconductores, la eficiencia de conversión es la relación entre la energía generada y la energía luminosa.



*Figura 3. Silicio Puro Monocristalino.  
Fuente: (Energías Renovables, 2017)*

#### 1.3.1 Tipos de soportes para paneles solares fotovoltaicos.

En función de los tipos de materiales que son empleados se determina los siguientes tipos de soporte a continuación se detalla los materiales que puede formar los paneles solares fotovoltaicos.

### 1.3.2 Soporte estático o fijo.

El soporte estático o fijo depende de la altura y el área del paneles solar y el punto de inclinación para la aplicación más adecuado su instalación puede utilizarse en zonas remotas.

Estos sistemas de soporte son capaces de seguir el movimiento del sol aprovechando la mayor cantidad de radiación posible para los paneles solares dentro de su eje que puede ser horizontal como vertical, estos sistemas son lo más empleados y desarrollado en diferente parte del mundo para poder aprovechar su rendimiento y el tiempo de duración es de 15 a 20 años. (Moran & Kleber, 2015, pág. 40)



*Figura 4. Silicio Puro Policristalino.  
Fuente: (Energías Renovables, 2017)*

### 1.4 Dimensión de una batería (para los paneles fotovoltaicos).

Las baterías es una fuente portátil de energía eléctrica produce la doble conversión de energía, llevando a cabo mediante el uso de un proceso "electro-químico" el primer principio de la conversión de energía eléctrica en energía química donde produce la carga, la segundo principio en energía química en energía eléctrica ocurre este proceso cuando las baterías están descargadas este conversión de energía necesita dos electrones metálicos inmerso en un medio que los transforme llamado electrolito.

Capacidad nominal baterías = carga de corriente diaria promedio + días útiles



Figura 5. Banco de Baterías de 12 Voltios.  
Fuente: (Autor)

#### 1.4.1 Banco de batería para el sistema de paneles solares fotovoltaico.

Las baterías solares dependen de la cantidad de carga que pueda suministrarse la radiación solar y el tiempo de descarga, las baterías es un componente químico que está hecho de electroquímicos, que almacena la energía obtenidas por las fotones y electrones.

*“En general una batería consta de dos electrodos, uno negativo llamado ánodo y el otro positivo llamado cátodo, un electrolitos que es un líquido o solido que transporta una carga del ánodo al cátodo.”* (Gortz, 2017, pág. 26)

Las baterías de plomo acido es el conjunto de celdas acumuladas cuyo voltaje excede los 2V dependiendo de sus estado de carga en el proceso de conversión electrolítico cada uno de los electrodos forma una polaridad distinta, posee varias de estas celdas conectadas en serie.

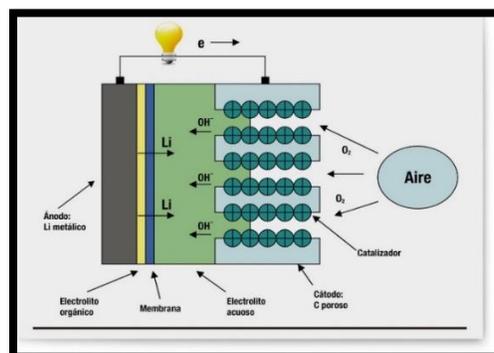


Figura 6. Esquema de Batería de Litio-Aire Durante la Descarga  
Fuente: (TECNIELECTRICA, 2017)

## 1.5 Descripción de sistema (Eólica).

### 1.5.1 Aerogenerador.

Los aerogeneradores o turbinas a viento son una del más utilizado en zonas que produce mayor viento, la turbina genera energía eléctrica a través del movimiento del aire, la turbina produce energía mecánica al rotor convirtiendo en energía eléctrica alterna según la potencia.

Antes de utilizar un aerogenerador debemos utilizar un sistema meteorológico para el desarrollo y análisis del clima, se utilizó el sistema meteorológico HOBO U3, un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la velocidad de viento en (fuerza de giro) realizando una acción de movimiento en las palas del rotor dependiendo de la densidad del aire y del área de barrido del rotor el aerogenerador ZH 1.5 puede generar una potencia eléctrica de 1500 wátios a una velocidad nominal de 9 m/s.

Las hélices de tres aspas son la más utilizadas a nivel mundial que predominan entorno a los aerogeneradores, considerando que hay diferentes tipos de hélices de un aspas dos aspas, tres aspas o más aspas.



*Figura 7. ZH 1.5kW Wind Turbine System  
Fuente: (Autor)*

### 1.5.2 Partes de un aerogenerador.

Para determinar las partes de un aerogenerador se especifica los siguientes materiales.

1. suelo
2. conexión de la red eléctrica
3. Torre de contención
4. Escala de acceso
5. Sistema de orientación
6. Góndola
7. Generador
8. Anemómetro
9. Frenos
10. Transmisión
11. Inclinación de las palas
12. Buje

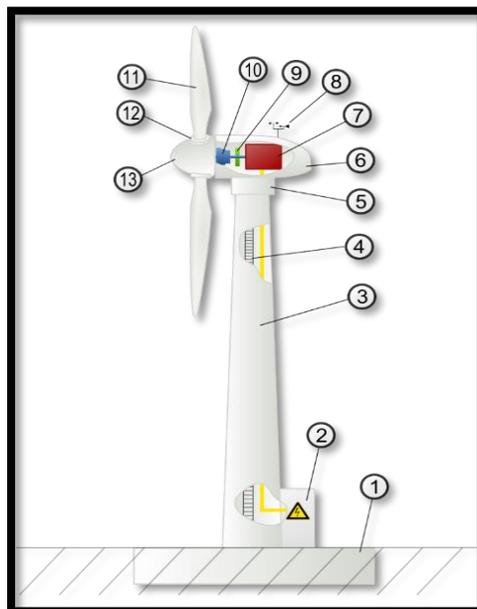


Figura 8. Partes de un Aerogenerador (Arevalo, 2015)

### **1.5.2.1 Tipos de aerogenerador.**

Podemos encontrar dos tipos de aerogeneradores según su eje: eje horizontal y de eje vertical, dando a conocer que las palas deben estar a 45 grados a nivel de dirección del viento para poder genera energía eléctrica como se muestra figura 9 podemos observar nuestro aerogenerador está colocado e instalado.



*Figura 9. Aerogenerador de 12 Tensores.  
Fuente (Autor)*

### **1.5.2.2 Eje horizontal.**

Los aerogeneradores de eje horizontal son lo más comunes y habituales su principal característica es su eje de rotación se encuentra en paralelo al suelo y posee más de tres aspa para el equilibrio de rotación del rotor según la velocidad del viento a producir son más costosos que lo de eje vertical y una de sus desventajas que sus aspa no soporta velocidades altas.

### **1.5.2.3 Eje vertical.**

Estos tipos de aerogeneradores tiene una baja capacidad de generación eléctrica la cual esta perpendicular al suelo, su costo e menor a lo de eje horizontal y su instalación es fácil pero su eficiencia es muy baja, los aerogeneradores verticales necesita un sistema de arranque automático para que puedan generar electricidad. (Arevalo, 2015)

#### 1.5.2.4 Sistema de soporte de un aerogenerador.

Consiste en diferentes tipos de soportes según el nivel de altura y el área del aerogenerador, por lo tanto se deriva por la velocidad de viento y la altura del aspa y el peso de los aerogeneradores para definir el tipo de soporte. (Baillarie & paul, 2007, pág. 25)

Ponemos definir diferentes tipos de soporte la más utilizada en el Ecuador son los aerogeneradores de 3 palas la principal característica presenta un 4% más de rendimiento de las de 2 palas.

- Torres tubulares
- Torres de marfil tensado

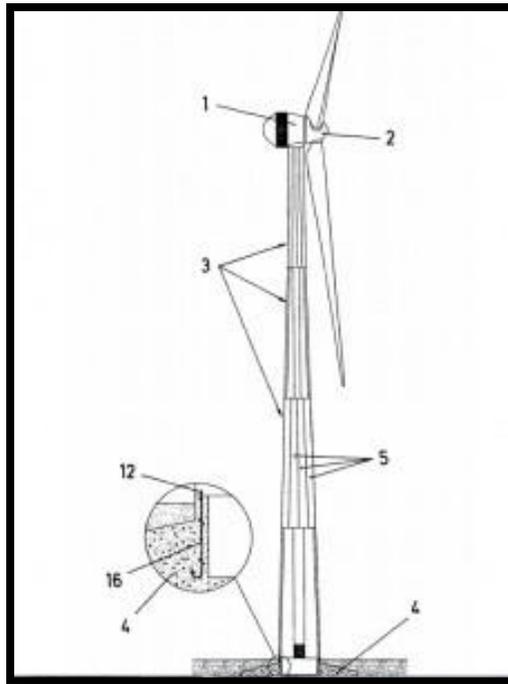


Figura 10. Torres Tubular para un Aerogenerador de Eje Horizontal (Martinez, 2017)

#### 1.5.2.5 Generador síncrono en un aerogenerador.

Los motores síncronos constan de un campo magnético que producen energía eléctrica a diferente tiempo y diferente velocidad de viento, por lo tanto, la rotación produce un flujo magnético temporal de rotación del rotor y el número de bobinas se determinará la potencia a establecer por lo tanto producirá voltaje alterno y corriente alterna.

La velocidad variable de los motores síncronos permite optimizar la energía eléctrica para velocidades de rotación inferiores a la velocidad nominal del aerogenerador, dando a conocer que la velocidad variable del aerogenerador influye en la frecuencia. (Baillarie & paul, 2007, pág. 26)

### 1.6 Trabajo de investigación simulación eólica de la entrada de aire al rotor.

Se determinan la simulación y dirección de viento con un sistema de medición meteorológica para la verificación del clima especialmente la velocidad de viento, normalmente también se puede utilizar la rosa de vientos a cada intervalo direccional. (Cristian, Sergio, Julio, & Guillermo, 2008)

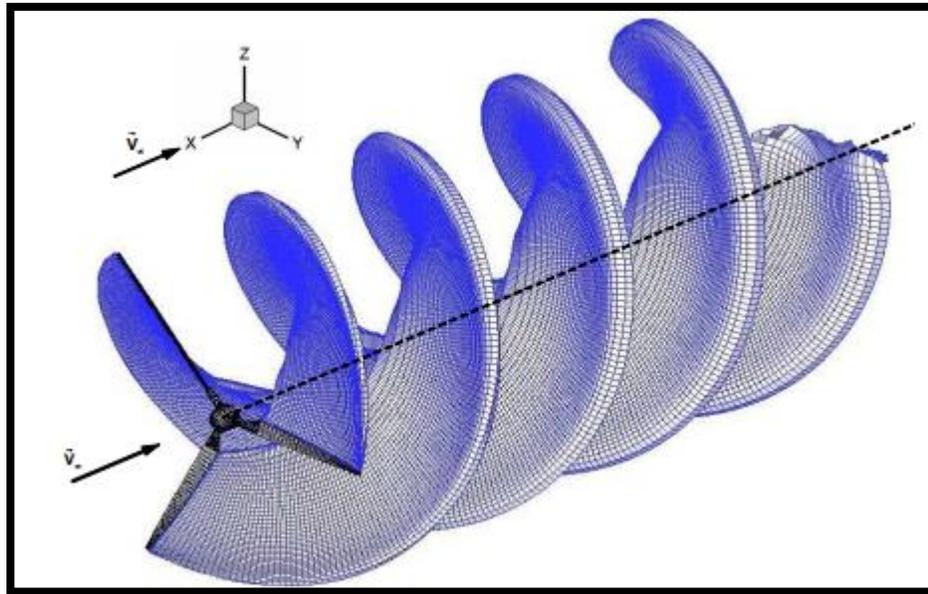


Figura 11. Rotación del Viento a Través de las Palas del Aerogenerador.  
Fuente: (Cristian, Sergio, Julio, & Guillermo, 2008)

#### 1.6.1 Comportamiento del impacto ambiental.

” Un estudio de impacto ambiental es importante en un aprovechamiento eólico este produce un ambiente de alteraciones en la naturaleza”.

La recuperación, según el impacto producido en la naturaleza puede ser irrecuperable y reversible. La extensión, se debe realizar una Declaración de Impacto Ambiental por medio del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC esta tarifa son válidas en territorio continental dentro del Ecuador, las tarifas son mayores al 30% para las energías eólica y para otras tecnologías es el 10%.

### 1.6.2.1 Situación mundial de potencia eólica.

La situación de los aerogeneradores a nivel mundial incrementa por cada año que pasa para diferentes ubicaciones que puede ser rurales y urbanas utilizando la potencia instalada eólica desde el año 1997 al 2010 se está globalizado a diferente parte del mundo esperando alcanzar hasta el año 2017 por los 412.000MW la Unión Europea corresponde el 55% de la potencia instalada de energía eólica.



Figura 12. Evolución Acumulada de la Potencia Eólica Mundial 1997-2010  
Fuente: (Alvarez Marivela, 2009, pág. 28)

### 1.6.2.2 Orientación del viento.

La variación del viento producida por las fluctuación y las ráfagas de viento forma capas de calentamiento del aire en la superficie del suelo, la parte más caliente se encuentra cerca del suelo y el aire más frío que encuentra en la parte superior de la atmosfera, en el territorio Ecuatoriano depende del el movimiento de la tierra a sus polos y el dominio del aire corresponde al movimiento de rotación. (Pino Vergara, 2015, pág. 25)

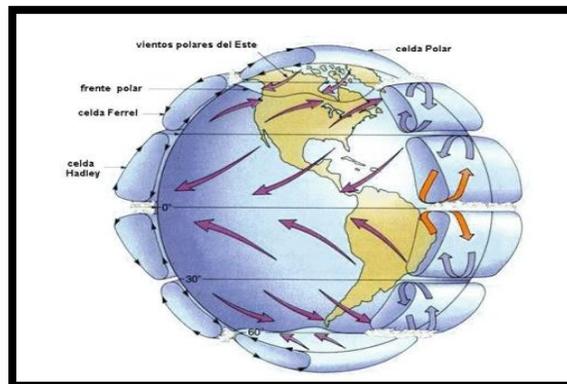


Figura 13. Movimiento Atmosférico Terrestre.  
Fuente: (Pino Vergara, 2015) & (Arevalo, 2015)

### **1.6.2.3 Ubicaciones del lugar de la instalación del sistema eólico.**

El perfil de viento como función de la altura sobre el terreno, la forma de este perfil dependerá principalmente de la rugosidad del terreno y el comportamiento de la velocidad de viento y las características topográficas del terreno.

Una de las ventajas de las instalaciones de los aerogeneradores es la distancia más aproximada al cuarto de maquina por la caída de tensión y corriente circula en el motor síncrono.

A mayor altura sobre la superficie, mayor velocidad de viento se podrá experimentar, “se determina que la superficie terrestre ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto es retardado el flujo”

Los aerogeneradores reducen el mayor impacto de contaminación al medio ambiente siempre es posible realizar un mapa energético con el objetivo de ir delimitando la zona de mayor interés. (bibdigital.edu, s.f., pág. 36)



*Figura 14. Montaje del Aerogenerador (CER) UCACUE  
Fuente (Autor)*

#### 1.4.2.4 Sistema híbrido PV-Turbina.

Los sistemas híbridos son aquellos que se pueden funcionar con más de dos aportaciones de energía, basándose en las energías renovables y no renovables para la generación de energía eléctrica obteniendo una potencia y un rendimiento de un modelo simple.

La demanda de energía incrementa año a año por el consumo de energía se busca diferentes energías alternativas como son las energías renovables, su costo de implementación de las energías renovables es muy elevado. (Lopez, 2007, pág. 1)

#### 1.4.2.5 Generación híbrida.

Las generaciones de las diferentes energías renovables dependen del clima es posible que exista más de un recurso en nuestra investigación, se puede utilizar diferentes tecnologías para la recolección de datos como estación meteorológicos, estos análisis dependerá de los cálculos de potencias del sistema híbrido existe una etapa de Corriente Continua a la entrada del inversor donde es posible el almacenamiento energía eléctrica. (D.H.Pontoriero, D.H. Molina, M.G., & P.E. Mercado, 2009, pág. 5)

### 1.7 Trabajo de investigación Simulación del sistema híbrido.

El sistema menos costoso es mediante la generación a diésel para tener el funcionamiento de todo el sistema energético y satisfacer la demanda energética. Para determinar la potencia de baja y media tensión los costos son muy elevados en caso de la generación fotovoltaica y eólico en el Ecuador, tampoco se puede esperar un aumento de generación con energías alternativas en un corto plazo. (PATTNAIK, 2015)

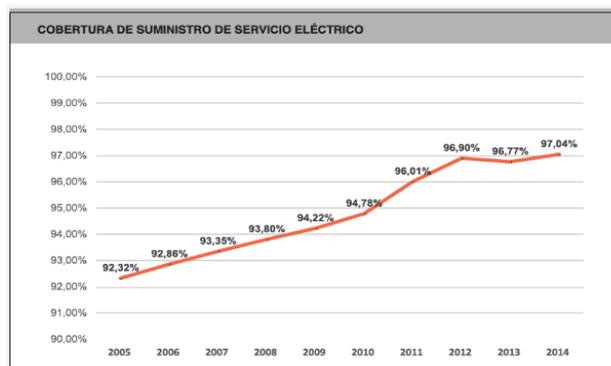


Figura 15. Consumo de Energía Renovable en el Ecuador  
Fuente (VIDA, 2015)

### 1.7.1 Almacenamiento de energía.

En un sistema híbrido posee tener múltiples componentes de almacenamiento como baterías para la red eléctrica.

El sistema de almacenamiento debe ser utilizado para la acumulación de energía eléctrica se definirá las diferentes etapas para la acumulación de energía pasando por el controlador de carga obteniendo el voltaje y corriente (AC-DC) del sistema fotovoltaico y eólico y esta energía eléctrica de salida a un banco de baterías de 12 voltios dando un proceso de transformación con un inverso un voltaje y corriente de 120 voltios.



Figura 16. Inversor de 120 Voltios (AC-VA).  
Fuente: (Autor)

### 1.8 Sistema de sensores electrónicos (Arduino).

La plataforma Arduino es un programa didáctico lo cual su lenguaje de programación es muy sencillo para el desarrollo de nuevos programas al software Arduino se acopla a los diferentes sensores o materiales electrónico para su programación.

Arduino mega 2560 utilizado en el CER es un micro controlador que consta de puertos digitales y puertos analógicos 4 UARTs, y posee un botón de reinicio, puede trabajar a los 16MHz, consta de un puerto USB para ingresar la programación Arduino, tiene una fuente de tensión de 5v-3v y una corriente de entrada de 40mA-50Ma.

## 1.8.1 Clasificación de los sensores AC-DC.

### 1.8.1.1 Sensor de voltaje continuo.

Hay muchos dispositivos de lectura de voltaje alterno para Arduino se basa en un divisor de tensión diseñado con diferentes resistencias, está adecuado para el voltaje del Arduino, el sensor de voltaje puede trabajar a los 5v y su característica analógica de los pines de Arduino, los sensores de Arduino especifica las entradas analógicas y digitales como también las entradas de tensión a suministrar.

- GND: Parte negativa o puesta tierra
- VCC: Voltaje de entrada del Arduino

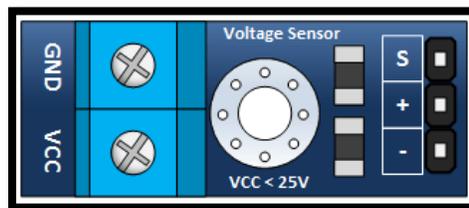


Figura 17. Sensor de voltaje Arduino 25(Voltios)  
Fuente: (Henrys, 2017)

### 1.8.1.2 Sensores voltaje alterno.

Estos tipos de sensor se le pueden suministra el voltaje superior a los 120 voltios hasta los 240 voltios CA, la cual la entrada analógica al sensor es de 5 voltios, su onda sinusoidal debe transferir y ajustar al tiempo de entrada analógica su configuración de la onda donde se debe realizar un partidor de tensión.

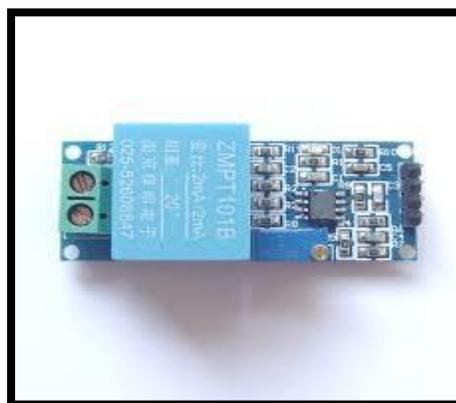


Figura 18. Sensor de Voltaje Transformador Monofásico Voltaje de CA Módulo Activo 2mA para Arduino  
Fuente: (Sensor, 2017)

### 1.8.1.3 Sensor de corriente continua.

Los sensores de corriente podemos encontrar en diferentes amperajes y lo más utilizado es 5A-20A-30A para el estudio académico, son componentes electrónicos internamente estos sensores de corriente continua y de corriente alterna trabajan un con efecto Hall línea, dentro del sensor trabaja realizando un efecto magnético.

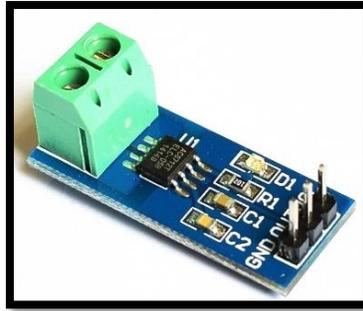


Figura 19. Sensor de Corriente ACS 712

Fuente: (MECHATRONICS, Tutorial sensor de corriente ACS712, 2017)

## 1.9 Tipos de programaciones de los sensores de Arduino.

Las diferentes programaciones que se realizaron fueron adaptadas a los siguientes sensores para la recolección de datos, y está especificado las programaciones de voltaje y corriente (continua y alterna) este tipo de lenguaje es didáctico y sencillo de programar.

- Programación del reloj DS 3132
- Programación corriente y voltaje

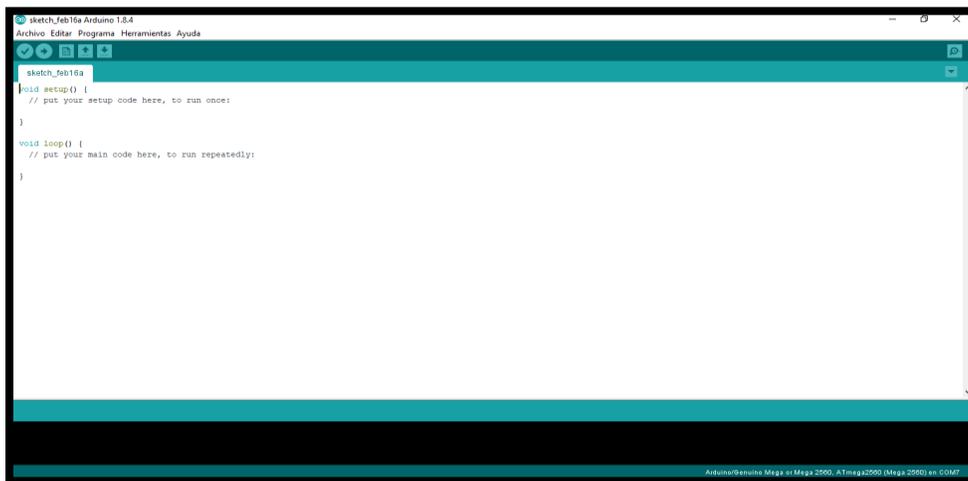


Figura 20. Software del Programa de Arduino 1.84

Fuente: (Autor)

### 1.9.1 Sensores de voltaje continuo (Arduino).

El sensor de voltaje continuo se lo instalo para los paneles solares a la salida del controlador de carga para la interpretación de los datos del modelo experimental, a continuación, se mostrará el programa utilizado para el voltaje continuo por lo tanto tiene un margen de error de 3% que es un porcentaje factible para la recolección de datos.

```
////////////////////////////////////// VOLTAJE CONTINUO MIX ////////////////////////////////////////
```

```
//UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
//Nombre> JOHN GARZON
//AUTOR> www.circuits4you.com

float Sensibilidad=0.100;
int analogInput = A4;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int value = 0;
void setup() {
  //-----SENSOR DE CORRIENTE-----
  pinMode(analogInput, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("DC VOLTMETER");
}
void loop() {
  float Idc=calculoCorriente(500);
  Serial.print("Corriente PS = ");
  Serial.print(Idc,3); // println es para imprimir en siguiente linea
  delay(60000);
  //-----MEDIDOR DE VOLTAGE-----
  //
  // read the value at analog input
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 5.0) / 1024.0; // see text
  vin = vout / (R2/(R1+R2));
  Serial.print(" Voltaje PS = ");
  Serial.println(vin,2); // es para imprmir en siguiente linea
  //delay(1000);
  //-----
}
float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
  float leerAcs712 = 0;
  float intensidad = 0;
```

```

for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
{
  leerAcs712 = analogRead(A3) * (5.02 / 1023.0); // sensor de corriente continua
  intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad;
}
intensidad=intensidad/numeroMuestras;
return(intensidad);
}

```

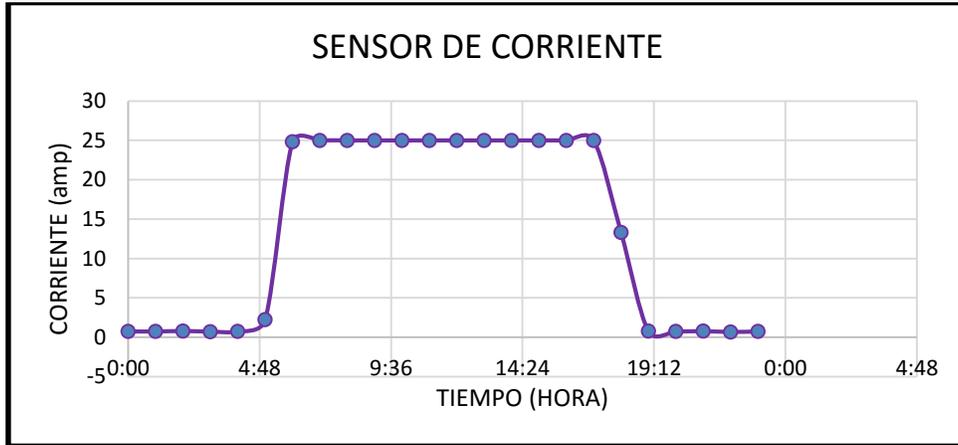


Figura 21. Voltaje Promedio del Mes de Octubre del 2017  
Fuente: (Autor)

### 1.9.2 Sensor de corriente continua (Arduino).

Este tipo de sensor de corriente continua tiene una sensibilidad que se optimiza los datos deseados y aproximados, se puede verificar la misma cantidad de corriente que circula por el controlador de carga se muestra el programa que se utilizó para el sistema de paneles solares fotovoltaica y tiene un margen de error de 5% para la recolección de datos.

////////////////////////////////// SENSOR DE CORRIENTES CONTINUO//////////////////////////////////

```

/*
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
Nombre> JOHN GARZON
AUTOR> www.circuits4you.com
*/
const int sensorIn = A0; /// SENSOR DE COORIENTE DIRECTA CONROLADOR
int mVperAmp = 100; // Use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){

```

```

Voltage = getVPP();
VRMS = (Voltage/2.0) *0.707; //root 2 is 0.707
AmpsRMS = (VRMS * 1000)/mVperAmp;
Serial.print(AmpsRMS);
Serial.println(" Amps RMS");
}
float getVPP()
{
float result;
int readValue;      // value read from the sensor
int maxValue = 0;    // store max value here
int minValue = 1024; // store min value here

uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000) // sample for 1 Sec
{
readValue = analogRead(sensorIn);
// see if you have a new maxValue
if (readValue > maxValue)
{
/*record the maximum sensor value*/
maxValue = readValue;
}
if (readValue < minValue)
{
/*record the minimum sensor value*/
minValue = readValue;
}
}
// Subtract min from max
result = ((maxValue - minValue) * 5.0)/1024.0;

return result;
}

```

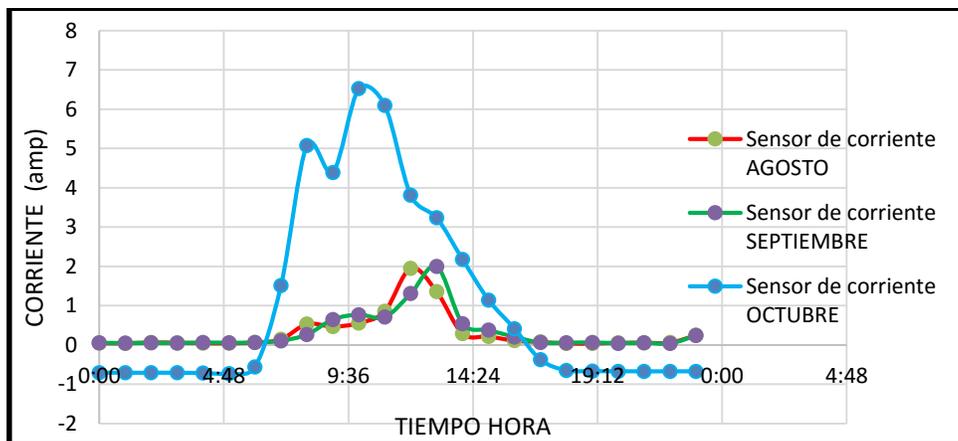


Figura 22. Corriente Continua del Sensor de Medición Experimental  
Fuente: (Autor)

### 1.9.3 Sensor de corriente alterna (Arduino).

Este tipo de sensor utiliza un rectificador de onda que tiene una sensibilidad del 3% de error donde este tipo de sensor es electromagnético de 60 amp por la gran cantidad de corriente que circula de la turbina a viento, dando a conocer la siguiente programación, pero tiene una característica diferente que se debe agregar dos librerías para su funcionamiento.

```
//////////////////////////////////// VOLTAJE CONTINUO MIX //////////////////////////////////////
```

```
//UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
//Nombre> JOHN GARZON
//AUTOR> www.circuits4you.com
float Sensibilidad=0.100;
int analogInput = A4;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int value = 0;

void setup() {
//-----SENSOR DE CORRIENTE-----
pinMode(analogInput, INPUT);
Serial.begin(9600);
Serial.print("DC VOLTMETER");
}

void loop() {
float Idc=calculoCorriente(500);
Serial.print("Corriente PS = ");
Serial.print(Idc,3); // printline es para imprimir en siguiente linea
delay(60000);
//-----MEDIDOR DE VOLTAGE-----
//
// read the value at analog input
value = analogRead(analogInput);
vout = (value * 5.0) / 1024.0; // see text
vin = vout / (R2/(R1+R2));

Serial.print(" Voltaje PS = ");
Serial.println(vin,2); // es para imprmir en siguiente linea
//delay(1000);
//-----
}
float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
```

```

float leerAcs712 = 0;
float intensidad = 0;
for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
{
leerAcs712 = analogRead(A3) * (5.02 / 1023.0); // sensor de corriente continua
intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad;
}
intensidad=intensidad/numeroMuestras;
return(intensidad);
}
////////////////////// SENSOR EN VACÍO DE CORRIENTE ALTERNA//////////////////////

//Nombre> JOHN GARZON
//AUTOR> www.circuits4you.com
// Este código es para los sensores de corriente de la turbina y el inversor
//Salida A1 es para sensor de corriente de turbina
//salida A2 es para el sensor de corriente del inversor
float Sensibilidad=0.100;
    //Carrega as bibliotecas
    #include <Adafruit_GFX.h>
    #include <Adafruit_PCD8544.h>
    #include "EmonLib.h"
    #include <SPI.h>

    EnergyMonitor emon1;

    Adafruit_PCD8544 display = Adafruit_PCD8544(8, 9, 10, 11, 12);

    //Tensao da rede eletrica
    int rede = 120;

    //Pino do sensor SCT
    int pino_sct = A1;

const int sensorIn = A2;
int mVperAmp = 100; // Use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module

double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;
void setup()
{
//-----ESTA PARTE PERTENECE A LA PROGRAMACIÓN PARA A2-----
Serial.begin(9600);
//Pino, calibracao - Cur Const= Ratio/BurdenR. 2000/33 = 60
emon1.current(pino_sct, 60);
//Ajuste iniciais display
display.begin();

```

```

//Ajusta o contraste do display
display.setContrast(48);
//Apaga o buffer e o display
display.clearDisplay();
//Define tamanho do texto e cor
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(BLACK);
//Retangulo principal
display.drawRect(0, 0, 84, 48, 2);
//Retangulo corrente
display.fillRect(0, 0, 84, 15, 2);
display.setTextColor(WHITE, BLACK);
display.setCursor(18, 4);
display.println("Corriente");
display.setTextColor(BLACK, WHITE);
display.setTextSize(2);
//-----
}
void loop()
{
//----- ESTA PARTE PERTENECE A LA PROGRAMACIÓN PARA A1-----
//Calcula a corriente
double Irms = emon1.calcIrms(1480);
//Mostra o valor da corrente no serial monitor e display
Serial.print("Corriente Turbina : ");
Serial.print(Irms); // Irms
Serial.print(" A");

display.fillRect(4, 15, 55, 20, 0);
display.setCursor(8, 22);
display.println(Irms, 2);
display.display();
display.setCursor(67, 22);
display.println("A");
delay(1000);
//-----
// -----ESTA PARTE PERTENECE A LA PROGRAMACIÓN PARA A2-----
Voltage = getVPP();
VRMS = (Voltage/2.0) *0.707; //root 2 is 0.707
AmpsRMS = (VRMS * 1000)/mVperAmp;

Serial.print(" Corriente Inversor : ");
Serial.println(AmpsRMS);
}

float getVPP()
{
float result;

```

```

int readValue;      // value read from the sensor
int maxValue = 0;   // store max value here
int minValue = 1024; // store min value here

uint32_t start_time = millis();
while((millis()-start_time) < 1000) // sample for 1 Sec
{
    readValue = analogRead(sensorIn);
    // see if you have a new maxValue
    if (readValue > maxValue)
    {
        /*record the maximum sensor value*/
        maxValue = readValue;
    }
    if (readValue < minValue)
    {
        /*record the minimum sensor value*/
        minValue = readValue;
    }
}
// Subtract min from max
result = ((maxValue - minValue) * 5.0)/1024.0;

return result;
//-----
// -----ESTO PERTENECE PROGRAMA SENSOR CORRIENTE CONTINUA -----
float Idc=calculoCorriente(500);
Serial.print("Corrente continua: ");
Serial.println(Idc,3);
delay(1500);
}
float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
    float leerAcs712 = 0;
    float intensidad = 0;
    for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
    {
        leerAcs712 = analogRead(A3) * (5.02 / 1023.0); // sensor de coorriente continua
        intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad;
    }
    intensidad=intensidad/numeroMuestras;
    return(intensidad);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

#### 1.9.4 Sensor reloj DS3231 (Arduino).

Este tipo de sensor nos determina la hora y la fecha de la recolección de datos con un intervalo de tiempo de un minuto durante un tiempo determinado este tipo de sensor, recolecta la información del sistema fotovoltaico y eólico para un sistema híbrido.



Figura 23. Reloj DS3231 ARDUINO.  
Fuente: (Autor)

### 1.10 Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.

#### 1.10.1 Trabajo de investigación para la conversión de energía (PV) de Panel solar Fotovoltaico.

En el trabajo de investigación que se desarrolló según los movimientos de la tierra y el sol son relativos entre sí, (SUMANO, 2012) desde el punto de vista tolerable, el sol está restringido a moverse con dos grados de libertad. En consecuencia, su posición en el firmamento queda descrita mediante dos variables angulares la altura solar y el azimut solar.

La Universidad Nacional de Medellín a través del grupo de investigación Indica que la contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas donde se concluye que aunque la energización con energía fotovoltaica en las comunidades rurales permite mejorar en mucho las condiciones de vida. (LANDINO PERALTA, 2011)

La conversión de energía solar se consigue mediante las celdas solares que hoy en día se puede conseguir fácilmente, estos juegos de paneles según la capacidad y potencia

establecen el límite de costos este trabajo de investigación se realizó el estudio y diseño eléctrico de un sistema para una comunidad aislada. (MORA, 2008)

Modelación del sistema fotovoltaico en el Centro de Energía Renovable especifica el análisis para la implementación del sistema fotovoltaico donde la investigación que se desea es para una zona sin acceso a energía eléctrica. (Sami & Marin, 2017)

### **1.11 Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.**

#### **1.11.1 Trabajo de investigación para la conversión de energía de viento a energía eléctrica (Eólico).**

Una investigación experimenta para el desarrollo de los sistemas eólicos donde hay diferente variaciones de aplicaciones para la generación de potencia eléctrica (M, M, & C, 2012) con diferente tipos de aerogeneradores.

En el estudio se analizó de los diferentes coeficientes Betz para la factibilidad de la turbina a viento donde a diferente  $C_p$  obtenemos la curva que afecta la eficiencia del aerogenerador el coeficiente de Betz 0,1 hasta 0,5 dando diferente curva de potencia mecánica. (Sami & Icaza, 2015)

En otro estudio se experimenta la velocidad de viento con el sistema de medición HOB0 U30 en el Centro de Energía Renovables (CER) para determina las diferentes variaciones de velocidades a diferentes condiciones ambiente para establecer el rendimiento del sistema eólico. (Sami & Garzon, International Journal of Current Research, 2017)

Una investigación del sistema eólica es la transformación de energía cinética del viento en movimiento giratorio al rotor del aerogenerador síncrono. (KUMAR, 2017) La cual convierte la energía mecánica producida por el viento en energía de salida del controlador de carga a energía eléctrica el voltaje CC a un convertido CA el punto máximo de las baterías. (CARLOS & JUAN, 2015)

Durante los últimos años los diferentes mecanismos requieren una gran importancia (INES, 2016) Para la resolución de ecuaciones de flujo de un aerogenerador es comprensible a velocidades mayores de 10 m/s en este sistema de aerogenerador ZH1.5 KW producirá fallas mecánicas.

## **1.12 Descripción de trabajo de investigación del sistema híbrido fotovoltaico-eólico.**

### **1.12.1 Trabajo de investigación para un sistema híbrido.**

Los paneles solares y turbina a viento se presentó el diseño de los diferentes sistemas híbrido para una zona remota (ALEJANDRO, FERNANDO, & JAIME ALEJANDRO VALENCIA, 2013) se utiliza una simulación de algoritmo genético para la optimización del sistema por las probabilidades de las diferentes pérdidas del aerogenerador y de las celdas solares.

En el artículo se presentan los diagramas de simulación de PV-Wind. Estos estudios se pueden configurar en un sistema autónomo así como conectar a la red eléctrica. La demanda de los sistemas renovables es mayor en zonas remotas (Kellogg, Nehrir, G, & V, 1998) la energía puede suministrarse.

Estudios económicos de la implementación del sistema híbrido en una determinada zona se piensan en pequeñas pérdidas de potencia (Pontoriero, Marcelo, & P.E, 2009) y se analiza el costo beneficio de generación y la alimentación a nivel mínimo de interrupción de pequeñas energías para determinar el sistema eólico su velocidad de viento actúa a la radiación solar. (Sami & Icaza, 2018)

Los sistemas fotovoltaico y eólico se determinan mediante el viento y la radiación solar dando un sistema híbrido (HERRERA, 2011) optimiza las mejores condiciones de viento y el sol complementados y fusionándose entre sí.

Se utilizó el laboratorio de Energías Renovables para el estudio respectivo en la recolección de datos podemos decir que este sistema va a ser fiable para su instalación respectiva en zonas remotas de 2Kw y ver la eficiencia y potencia para la generación de energía eléctrica deseada. (Sami & Icaza, 2015)

## CAPITULO 2

### 2) ESTUDIO EXPERIMENTAL Y USO DE LAS INSTALACIONES DEL CENTRO DE ENERGIA RENOVABLES (CER) PARA EL MONITOREO DE DATOS HOBO U30.

#### 2.1 Centro de investigación de energía renovable.

En el Centro de Investigación en Energía Renovables de la Universidad Católica de Cuenca Ubicado en las calles Av. las Américas y Tarqui se desarrolló la recolección de datos de los diferentes sistemas fotovoltaico-eólico realizado el análisis teórico y experimental se determina las diferentes condiciones meteorológicas utilizando la estación meteorológica HOBO U30 para la recolección de datos que son la velocidad de viento y la radiación solar, temperatura ambiente para la generación de energía.



*Figura 24. Fotografía de la Localización del Laboratorio de Energías Renovables (CER) (de la Universidad Católica de Cuenca).*

*Fuente: Autor*

Se encuentra ubicado las instalaciones en el espacio posterior a la Basílica de la Santísima Trinidad para la recolección datos de los diferentes tipos de sensores, se considera el tipo de clima y la factibilidad de los sistemas de energía renovable.

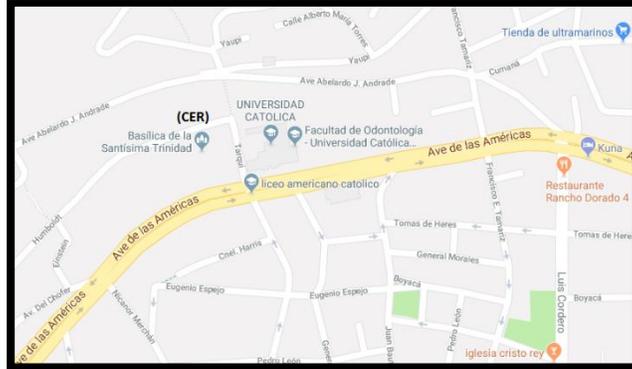


Figura 25. Ubicación del Centro de Energía Renovables (CER) UCACUE

### 2.3 Análisis del Sistema Fotovoltaico-Eólico y HOBO U30.

Para aprovechar la energía de sol, se determina la instalación de los paneles solares de tal forma que podamos satisfacer la demanda eléctrica del sector; para este propósito se desarrolló el cálculo de paneles solares, además el análisis económico que nos permita mitigar costo beneficio. Un aerogenerador no se puede determinar al azar antes de hacerlo se debe realizar un estudio de mercado que nos ajuste técnicamente.

Una de las característica de los paneles solares son de mayor utilidad para una zona remota y tiene una gran fiabilidad de radiación de  $1000 \text{ w/m}^2$  para obtener por cada panel una potencia de  $140 \text{ w}$  y para un aerogenerador con una velocidad de  $3 \text{ m/s}$  de arranque que puede genera una potencia.



Figura 26. HOBO U30 USB  
Fuente: (Onset, 2017)

Análisis de las probabilidades de generación de un sistema híbrido para la suministración de energía se utilizó el laboratorio de energía renovable de la Universidad Católica de Cuenca, se obtuvo la velocidad de viento y la radiación solar, temperatura ambiente a cada día por un intervalo de tiempo minuto a minuto dando un promedio hora dando a conocer los 8 tipos de sensores de recolección de datos.

Tabla 1. Recolección de Datos de Diferentes Tipos de Sensores Durante un Día

PROMEDIO HORA									
Hora	GMT	Temp, C	HR, %	Velocidad de viento, m/s	Velocidad de Rafagas, m/s	Direccion de viento	Radiacion solar w/m	Lluvia, in	Bat, V
0:00	AM	12,4563667	84,1866667	0,281	0,814166667	31,425	0,6	0	4,3219
1:00	AM	12,2032833	86,45	0,0125	0,180166667	1,4	0,6	0	4,3216
2:00	AM	12,3385167	83,27	0,138	0,5375	21,94166667	0,6	0	4,3213
3:00	AM	12,2287333	83,8766667	0,096166667	0,3735	40,42	0,6	0	4,3214
4:00	AM	11,3653833	86,235	0	0,004166667	39,3	0,6	0	4,3225
5:00	AM	11,6042667	84,5183333	0,029166667	0,1635	39,3	0,6	0	4,3192
6:00	AM	11,5370167	83,6866667	0,008333333	0,100333333	39,3	15,99	0	4,3236
7:00	AM	12,0820833	82,3483333	0,021	0,134	39,3	118,0016667	0	4,3631667
8:00	AM	13,8479333	77,9216667	0,234666667	0,801666667	35,13666667	393,7083333	0	4,35673333
9:00	AM	16,6876667	64,5666667	1,020333333	2,237	106,0133333	744,9616667	0	4,35281667
10:00	AM	17,5116167	58,3883333	1,774833333	3,164166667	67,745	683,5233333	0	4,3489
11:00	AM	18,7067833	55,1333333	1,619666667	3,168833333	67,1933333	657,65	0	4,35161667
12:00	PM	18,2835333	55,61	2,132	3,613333333	73,40166667	634,4383333	0	4,35451667
13:00	PM	19,49195	50,705	2,018833333	3,462333333	74,855	714,3766667	0	4,34913333
14:00	PM	19,1280833	51,12	2,2205	3,760666667	60,7	370,5416667	0	4,3443
15:00	PM	19,2110667	51,5633333	1,985666667	3,509	67,43666667	457,23	0	4,35223333
16:00	PM	17,1081	56,475	1,510166667	2,913166667	52,4383333	118,06	0	4,3437
17:00	PM	15,66775	62,7583333	1,309666667	2,498	62,66666667	44,625	0	4,3426
18:00	PM	14,2239667	70,65	1,011333333	2,115166667	83,91166667	1,34	0	4,3398
19:00	PM	13,24595	76,5983333	0,3775	1,238166667	97,17666667	0,6	0	4,3352
20:00	PM	13,5079	72,1016667	0,348	1,108	85,74	0,6	0	4,3334
21:00	PM	13,4609	71,8133333	0,1045	0,599833333	33,4883333	0,6	0	4,3292
22:00	PM	13,2299333	73,1783333	0,268333333	0,907	84,47666667	0,6	0	4,3242
23:00	PM	13,03325	71,645	0,264166667	0,827166667	66,4233333	0,6	0	4,3213
		11,3653833	50,705	0	0,004166667	1,4	0,6	0	4,3192
		14,6734181	70,6166667	0,782763889	1,592951389	57,13291667	206,7102778	0	4,33726944
		19,49195	86,45	2,2205	3,760666667	106,0133333	744,9616667	0	4,3631667

Fuente: (Autor)

## 2.4 Simulación meteorológica de HOBO U30 de los diferentes sensores de medición.

Los diferentes tipos de sensores de recolección de datos nos permite verifica la situación del clima día a día para establecer las diferentes energías renovables la cual se muestra en la siguiente figura 27 es posible determinar qué tipo de fuente de energía renovable es mejor de acuerdo a las diferentes estaciones e ubicaciones.

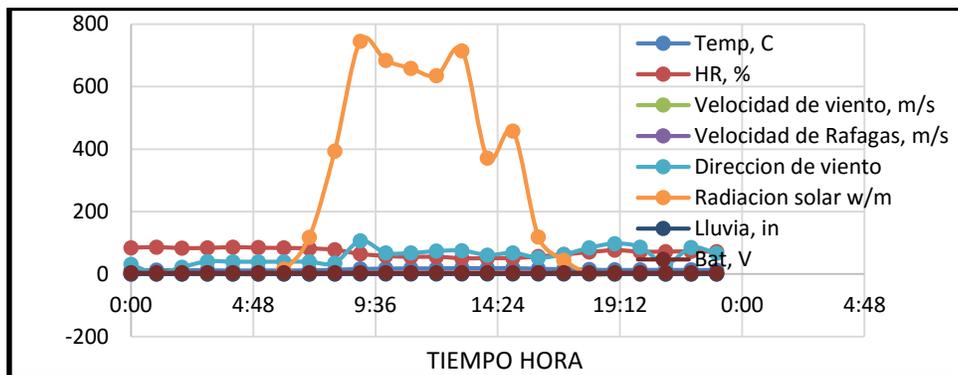


Figura 27. HOBOware Medición de Clima de los Diferentes Tipos de Sensores

Fuente: (Autor)

### 2.4.1 Mantenimiento de la estación meteorológica HOBO U30.

Esta estación fue diseñada para soportar condiciones ambiente extremas en lugares remotos así que el sistema no necesita mantenimiento periódico; para la investigación se planificaron una visita quincenal durante 4 meses para adquirir los datos directamente y no tener pérdidas de información por mal funcionamiento. (CER, 2017)

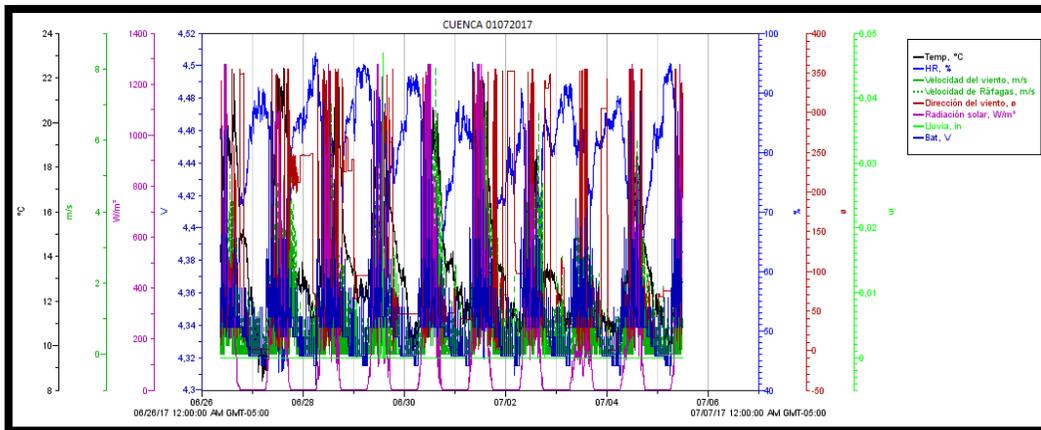


Figura 28. Curva de Eficiencia de Clima vs Tiempo de HOBOWare  
Fuente: (Onset, 2017)

### 2.4.2 Análisis de conversión de energía del sistema Fotovoltaica.

La medición de datos se recopiló durante 4 meses continuo por lo tanto especificaremos de un mes del año 2017 consecutivo día a día para la radiación solar la cual determinaremos la radiación con el sistema meteorológico HOBO U30 a igual que hay diferentes tipos de sensores meteorológicos, en esta medición con un intervalo minuto a minuto con un promedio de hora y promedio día como se muestra en la figura 29.

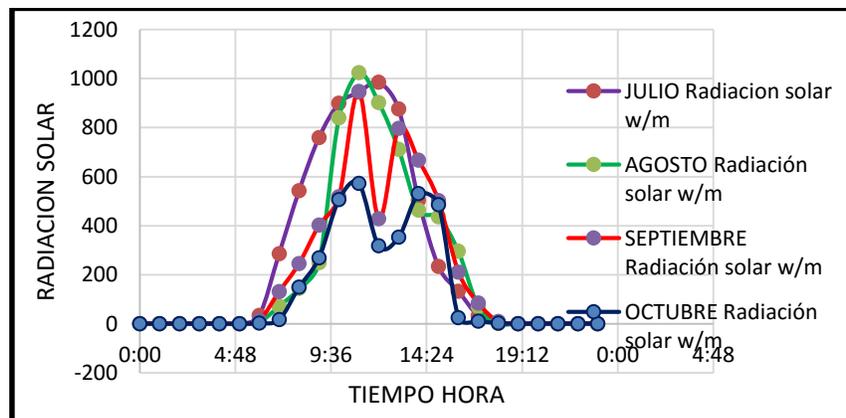


Figura 29. Curva de Radiación vs Tiempo Julio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017  
Fuente: (Autor)

La velocidad de viento promedio más altas se observa en el mes de julio y septiembre y en los siguientes meses una velocidad no constante durante un tiempo de 24 horas a un intervalo de minuto a minuto dando las características del aerogenerador ZH1.5 KW a una velocidad nominal de 10m/s tenemos una potencia de 1500 watos teórico, en la figura 30 se muestra la velocidad máxima constan de la ciudad de Cuenca

Tabla 2. Velocidad promedio del mes Junio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017

MINIMO	0
PROMEDIO	1,58
MAXIMO	3,25

Fuente: (Autor)

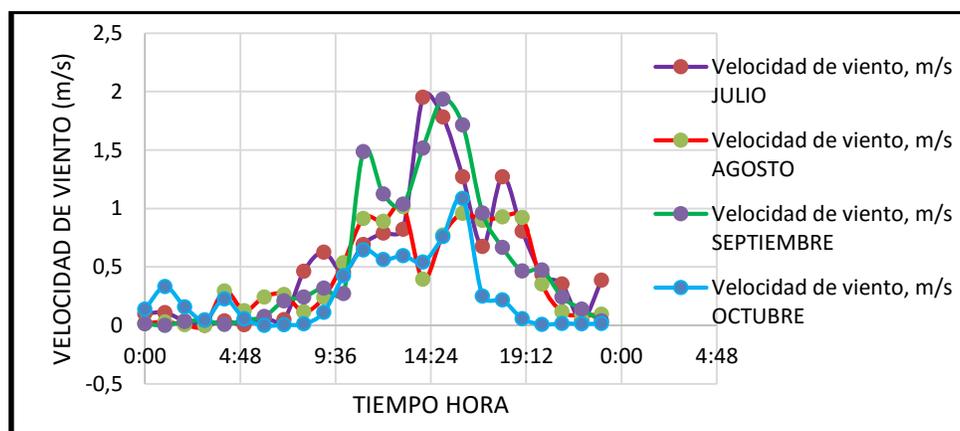


Figura 30. Curva de Velocidad de Viento Promedio Durante 24 Horas. Durante el Mes de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre 2017

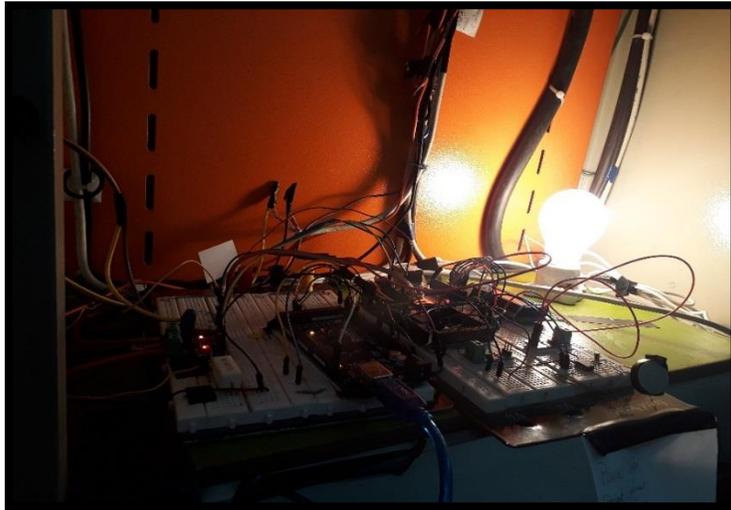
Fuente: (Autor)

## 2.6 Sistema de recopilación de datos para el sistema híbrido de AC-DC (Arduino).

Para la recopilación datos AC-DC de un sistema híbrido utilizamos los siguientes componentes eléctricos determinar la corriente y voltaje de salida del controlador de carga.

- Un Arduino mega 2560
- dos comput+ador
- 2 sensor de corriente continua
- 1 sensor de corriente en vacío electromagnético
- 1 sensor de voltaje continuo
- 2 resistencia 1K
- 1 condensador de 1uf

Donde se establece los datos recopilados por los diferentes sensores como se muestra en la siguiente figura 31.



*Figura 31. Sensores de Arduino AC-DC  
Fuente: (Autor)*

El sistema teórico con las diferentes ecuaciones se determina la potencia de salida del controlador de carga del sistema fotovoltaica-eólica se determina el tiempo en horas durante un día para determinar su potencia eficiencia del sistema híbrido.

## **2.7 Justificación.**

Se debe cubrir el análisis del sistema híbrido para la generación hasta 2 kw, se eligió un panel solar SM636-140w y cubre un 60% más de energía requerida y un aerogenerador ZH1,5 Kw cubre un 30% de la energía requerida suficiente para garantizar la demanda de generación hasta 2 Kw .

Los paneles solares serán mayor eficiente a mayor radiación solar cuanto mayor sea la temperatura de las celdas solares mayor será la potencia fotovoltaica.

El objetivo de realizar esta investigación es utilizar esta técnica de la conversión de energía eléctrica para los sistemas híbrido y la recolección de datos para producir 2kw de energía eléctrica para una vivienda típica.

Al estudiar el rendimiento dinámico del sistema híbrido de PV y turbina a viento para la conversión de energía. Las energías renovables optimiza el uso de la naturaleza para producir energías limpias, la generación de energía eléctrica tiene beneficios no producirá

las lluvias ácidas, y es una fuente de energía inagotable el desarrollo y su utilidad para la matriz energética productiva en el Ecuador este sistema híbrido mejora el desarrollo y la implementación en zonas remotas sin accesos a la electricidad.

Los resultados esperados es encontrar la eficiencia de radiación solar y velocidad de viento a su máxima capacidad. En el trabajo realizado por las celdas para producir energía eléctrica y la implementación con el flujo de aire es determinar la cantidad de flujo de aire sobre la cantidad de trabajo producida por el aerogenerador para producir energía mecánica en energía eléctrica para produce los 2kw.

## **2.8 Objetivo de la investigación.**

### **2.8.1 Objetivo general.**

Estudio Experimental y uso de la Instalación del Centro de Energía Renovables para determinar la potencia y rendimiento del Sistema Híbrido para la comparación de datos con el sistema de recolección de datos de Arduino.

### **2.8.2 Objetivo específico.**

Evaluación del Sistema Híbrido Conversión de Energía Fotovoltaica y Energía Eólica para la Generar Energía Eléctrica.

- Radiación y Velocidad del Viento
- Investigación y uso de la Instalación del Sistema Híbrido de Panel Solar Fotovoltaico y Turbina a Viento con diferentes condiciones:
- Rendimiento del Sistema Híbrido.
- Validación de Modelo Teórico y Modelo Experimental.
- Obtener el sistema numérico para la relación de las ecuaciones para definir la curva de inicio de la diferente potencia según las especificaciones del viento y de la radiación

### CAPITULO 3.

### 3) MODELO DINAMICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO Y TURBINA A VIENTO PARA LA GENERACION DE 2Kw.

Establecemos los diferentes tipos de ecuaciones que son las fotovoltaica-turbina a viento y en el modelo matemáticos de los sensores de corriente y voltaje (Alterna y Continua) para la generación de energía eléctrica.

#### 3.1 Sistema de panel solar Fotovoltaico.

El sistema de paneles solares consta de un número de celdas que están establecido para la salida de corriente de los módulos de los paneles solares la cual necesita la (Ecuación 1) dadas. (Sami & Marin, 2017)

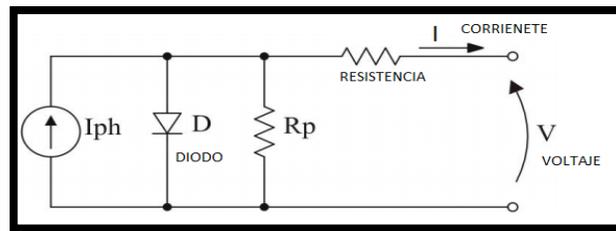


Figura 32. Circuito de una Célula Solar Fotovoltaico.  
Fuente: (Mendes & Cruz, 20)

$$I = [I_{ph} - I_o * \left[ \exp\left(\frac{q(V+I*R_s)}{AKTN_s}\right) - 1 \right]] \quad (1)$$

$I_{ph}$  – Foto – Generada

$R_p$ – $R_s$  – Resistencia en paralelo y en serie de una celula

$q$  – Cargas del electrones,  $1,6 \times 10^{-19} C$

$T$  – Temperatura ambiente, (k)

$K$  – Constante de boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23} \left(\frac{j}{K}\right)$

$I_o$  – Celula de corriente de saturacionen (TK)

$V$  – Voltaje de la celda

$I$  – Corriente de la celda

$ns$  – Factor equivalente union  $p = n$

Donde la corriente  $I_{ph}$  varía dependiendo de la temperatura y la radiación solar se determinación de si las celdas fotovoltaicas están en serie o en paralelo en la (Ecuación 2). (Sami & Marin, 2017)

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - T_r)] * \frac{I_r}{1000} \quad (2)$$

$I_{sc}$  – Corriente de cortocircuito de la temperatura de celda

$K_i$  – Coeficiente de temperatura de corriente de corto circuito

$T$  – Temperatura de celda (K)

$I_r$  – Radiación solar en  $\left(\frac{WmW}{cm^2}\right)$

$T_r$  – Temperatura nominal (298,15)K

Las celdas o células fotovoltaicas se realizaron con un diodo en un circuito modelado.

La  $I_{sc}$  corriente de corto circuito se representa en amperio (Amp),  $K_i$  el coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito de la célula en temperatura de 25 °C que se especifica en los datos de placa y la radiación del panel solar es de 1000 W/m<sup>2</sup>, T y las temperatura es kelvin (K).

Para realizar la ecuación de corriente de saturación  $I_{rs}$  se utilizó la (Ecuación 3). (Sami & Marin, 2017)

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s K_n T}\right) - 1\right]} \quad (3)$$

$I_{rs}$  – Corriente de saturación

$V_{oc}$  – Voltaje de circuito abierto

$n$  – Factor ideal del diodo

$1,3805 \times 10^{-23} \left(\frac{J}{K}\right)$  – Constante de Boltzmann

La ecuación en función de temperatura de las células del sistema fotovoltaico. Se la encuentra a continuación en la (Ecuación 4). (Sami & Marin, 2017)

$$I_o = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r}\right]^3 \exp\left[\frac{q * E_{go}}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right)\right] \quad (4)$$

$E_{g0}$  – Energía de intervalo de los semiconductores a 1,1 eV

Para desarrollar la ecuación la corriente  $I_{sh}$ , (Ecuación 5). (Sami & Icaza, 2015)

$$I_{sh} = \frac{V * \frac{N_p}{N_s} + I * R_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

$R_s$  – Resistencia en serie

$R_{sh}$  – Resistencia de derivación del voltaje de diodo

Para encontrar la potencia del sistema dinámico de los paneles solares fotovoltaico se utiliza la ley de ohm. (Ecuación 6). (Sami & Icaza, 2015)

$$P_{pv} = I_{pv} * V_{pv} \quad (6)$$

$I_{pv}$  – Corriente determinada por la potencia

$V_{pv}$  – dato de placa del panel solar fotovoltaica

Eficiencia panel solar la cual potencia de ingreso de paneles solares fotovoltaico  $Q_{in}$ , en la siguiente (Ecuación 7). (Sami & Icaza, 2015)

$$Q_{in} = I_r * S_p * \alpha_{abs} \quad (7)$$

$I_r$  – Irradacion solar o radiacion solar de placa o exprimental en  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$S_p$  – Area de los paneles solares

$\alpha_{abs}$  – Coeficiente global

Para obtener la eficiencia se divide las potencias  $Q_{in}$  y  $P_{pv}$ , la potencia de entrada dividida por la potencia de salida de los paneles solares de placa (Ecuación 8).

(Sami & Icaza, 2015)

$$\eta_{pv} = \frac{Q_{in}}{P_{pv}} \quad (8)$$

$Q_{in}$  – Potencia de ingreso de placa teorica

$P_{pv}$  – Potencia utilizada de los paneles solares

### 3.2 Modelo matemático y simulación del sistema de la turbina a viento (Aerogenerador).

La turbina a viento transforma la energía mecánica en energía eléctrica, para la optimización del modelo matemático no puede generar pérdida en la conversión de la energía eléctrica nominal de la entrada de la turbina a viento (Ecuación 9). (Sami & Garzon, International Journal of Current Research, 2017, pág. 2)

$$P_m = \frac{C_p * (\lambda, \beta) * \rho A}{2v_w^3} \quad (9)$$

$P_m$  – Potencia de salida de la turbina

$(\lambda, \beta)$  – Coeficiente de Betz

$\rho A$  – Densidad del aire

$2v_w^3$  – velocidad de viento del área  $m^2$

La velocidad de viento del rotor varía según las distancias de las aspas de la turbina a viento con su respectivo radio (Ecuación 10). (Sami & Garzon, International Journal of Current Research, 2017)

$$\lambda = \frac{R\Omega}{V_w} \quad (10)$$

En la ecuación representada  $r$  es el radio de rotor de las aspas del aerogenerador y el ángulo de aspa según la rotación al ángulo de velocidad.

La representación según los aerogeneradores se mide el radio de las aspas según la velocidad de viento. (Sami & Garzon, 2017)

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\beta - C_4 \right) e^{\frac{-C_6}{\lambda_i}} + c_6\lambda \quad (11)$$

$C_p$  – Coeficiente de potencia

$\lambda$  – Velocidad de viento según el área de las aspas de extremo a extremo

$\beta$  – Paso de hojas

Donde la velocidad según la rotación especificamos en la (Ecuación 12) (Sami & Garzon, 2017, pág. 3).

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda} + 0.008\beta - \frac{0.0035}{\beta^3 - 1} \quad (12)$$

Diferente característica según C para determinar la potencia mecánica.

$$C_1 = 0.5176, C_2 = 116, C_3 = 0.4, C_4 = 5, C_5 = 21, C_6 = 0.0068$$

La potencia de salida de la turbina a viento sin pérdidas establecidas se determina en la siguiente (Ecuación 13). (Sami & Garzon, International Journal of Current Research, 2017, pág. 3)

$$P_{3f} = \sqrt{3} * \eta_{C1} * U_{lime} * I_{lime} * \cos\phi \quad (13)$$

$\cos\phi$  – Factor de potencia

$\eta_{C1}$  – Eficiencia conversion

$lime$  – Limites de la corriente establecida

Eficiencia de un aerogenerador se aplicamos las siguiente (Ecuación 14)

$$\eta = \eta_{Generador} * \eta_{maquina} \quad (14)$$

$\eta$  – Eficiencia del aerogenerador

$\eta_G$  – Generador electrico

$\eta_m$  – Elemento mecanico

### 3.2.1 Calculo de la potencia del sistema numérico de placa.

La potencia teórica se define en la siguiente ecuación no se determina perdidas por lo tanto se define en la siguiente formula (Ecuación 15). (Sami & Icaza, 2015)

$$P_{Tw} = 0.5 * A * C_p * V^3 * \rho \quad (15)$$

$P_{Tw}$  – Potencia teorica

$A$  – Area de punta a punta de las aspa del aerogenerador

$C_p$  – coeficiente Betz

$V$  – Velocidad de viento segun datos de placa

$\rho$  – Densidad del aire

Según los datos del fabricante el aerogenerador tiene una potencia máxima de 1800 (Watts) a una velocidad máxima constante de 11(m/s) como se muestra en la siguiente figura donde no se considera las perdidas mecánica, y el aerogenerador comienza a generar energía eléctrica a una velocidad de 2.5(m/s) como se muestra la figura 33

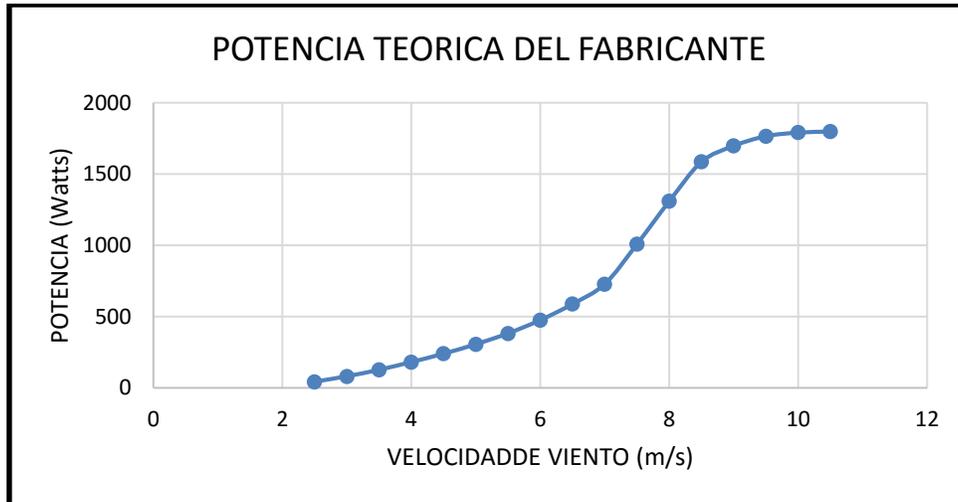


Figura 33. Potencia Teorica con Velocidad Minima 2.5 (m/s) y Maximo 11 (m/s) del aerogenerador ZH1.5 Kw  
Fuente: (CO..LTD, 2015)

### 3.3 Modelo de controlador de un sistema híbrido (panel solar Fotovoltaico y turbina a viento Eólica).

La salida de potencia del controlador de carga generalmente está dada por la (Ecuación 16). (Sami & Garzon, International Journal of Current Research, 2017, pág. 3)

$$P_{\text{Cont-dc}} = V_{\text{Bat}}(I_{\text{rect}} + I_{\text{PV}} + I_{\text{Eol}}) \quad (16)$$

$V_{\text{Bat}}$  – Voltaje nominal

$I_{\text{rect}}$  – Corriente de salida

$I_{\text{PV}}$  – Corriente del panel solar

$I_{\text{Eol}}$  – Corriente de la turbina a viento

### 3.4 Modelo de rendimiento de batería de carga y descarga.

Las baterías son un medio de almacenamiento de energía, para el uso en zona remotas que no puede acceder a energía eléctrica por medio de una red por lo tanto la batería mantiene el voltaje del sistema híbrido en el rango establecido por la placa de las baterías.

Las baterías tienen un uso de 5 años según la calidad y material de las baterías lo cual el tiempo de carga es constante las 24 horas en la siguiente (Ecuación 17). (Sami & Marin, 2017)

$$V = V_r + \frac{I \left( \frac{0,189}{1,142 - soc + R_i} \right)}{AH} + (soc - 0,9) \ln \left( 300 \frac{I}{AH} + 1,0 \right) \quad (17)$$

Donde  $V_r$  es determinada por la (Ecuación 18). (Sami & Marin, 2017)

$$V_r = 2,94(1,0 - 0,001(T - 25^\circ\text{C})) \quad (18)$$

$I$  – Corriente de placa de las baterías

$AH$  – Tiempo de carga de sistema híbrido

$soc$  – Carga máxima del sistema a establecer

Descarga de baterías del sistema híbrido (Ecuación 19). (Sami & Marin, 2017)

$$V = V_r + \frac{I}{AH} + \left( \frac{0,189}{soc} + R_i \right) \quad (19)$$

Para determinar la resistencia de células de las baterías realizamos la (Ecuación 20). (Sami & Marin, 2017)

$$R_i = 0,15(1,0 - 0,02(T - 25^\circ\text{C})) \quad (20)$$

$R_i$  – Resistencia de baterías

$T$  – Temperatura ambiente promedio

### 3.4.1 Rendimiento de la batería en el sistema híbrido (Fotovoltaico-Eólico).

Las baterías del sistema híbrido es la composición de múltiples baterías que almacena la energía producida en este caso del panel solar lo cual el sistema lo encontramos en serie y se determinará en la siguiente (Ecuación 21). (Sami & Marin, 2017)

$$N_{sBat} = \frac{V_{pv}}{V_{bat}} \quad (21)$$

$V_{pv}$  – Voltaje referencial en dc

$V_{bat}$  – Voltaje nominal dc de las baterías

### 3.5 Modelo de inversor.

La característica del inversor determina la corriente y el voltaje que adquiere del banco de baterías y transforma a corriente alterna y voltaje alterno lo cual puede producir pérdidas por la conversión de energía. La potencia de salida se determina en la (Ecuación 22). (Sami & Marin, 2017)

$$P_{inv-ip} \eta_{inv} = P_{inv-op} \quad (22)$$

$P_{inv-ip}$  – Energía de entrada del inversor

$\eta_{inv}$  – Eficiencia del inversor de placa

$P_{inv-op}$  – Potencia de salida del inversor

### 3.6 Eficiencia del sistema híbrido.

Para obtener la eficiencia de conversión de energía de los dos tipos de sistema fotovoltaico y turbina a viento debemos realizar la siguiente (Ecuación 23). (Sami & Marin, 2017)

$$\eta_{sh} = (P_{pv} + P_{Eol}) / (I_r * S_p) + (V * A_{ASP}) \quad (23)$$

$\eta_{sh}$  – Eficiencia híbrida

$P_{pv}$  – Potencia del panel solar

$P_{Eol}$  – Potencia del aerogenerador (eólica)

$I_r$  – Radiación solar en  $\left(\frac{WmW}{cm^2}\right)$

$S_p$  – Área de los paneles solares

$V$  – Velocidad de viento

$A_{ASP}$  – Área de las aspas

### 3.7 Modelo matemático de Arduino mega 2560.

Todo el componente de Arduino son específicos, Arduino es un micro controlador tiene 54 entradas digitales entre salida y entrada, 15 entradas analógicas para leer datos, los sensores de Arduino puede trabajar en corriente continua y corriente alterna y una capacidad de memoria de 256 KB.

### 3.7.1 Sensores de corriente continua y alterna.

El sensor ACS712 de Allegro, estos tipos de sensores tiene un efecto hall se caracteriza por medir corriente (AC-DC), se puede utilizar en procesos educativos o industriales, lo cual son muy económico. (Ecuación 24). (MECHATRONICS, 2017, pág. 3)

$$V = mI + 2.5 \quad (24)$$

$I$  – Corriente del sensor por placa

$m$  – Sensibilidad del sensor AC – DC de placa

Tabla 3 Sensibilidad de Sensor ACS715 20A-T

MODELO	RANGO	SENSIBILIDAD
ACS 712 05B-T	MENOS 5 MAS 5 A	185mV/A
ACS 712 20A-T	MENOS 20 MAS 20 A	100mV/A
ACS 712 30A-T	MENOS 30 MAS 30 A	66mV/A

Fuente: (MECHATRONICS, Tutorial sensor de corriente ACS712, 2017)

Entonces podemos decir que la corriente.

$$I = \frac{V-2.5}{\text{Sensibilidad}} \quad (25)$$

### 3.7.2 Modelos de sensor de corriente eléctrica no invasivo con Arduino.

Los sensores de corriente no invasivos son aquellos que no necesitan de conexión de cables, permite verificar la intensidad de corriente que circula en el conductor posee un núcleo ferromagnético partido (como una pinza) este proceso puede ser educativo para la recolección de datos tiene un margen de error del 5%. (DIVERTEKA, 2017, pág. 2)

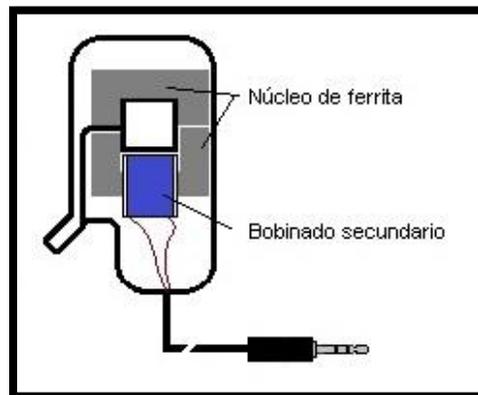


Figura 34. Partes de un Sensor Electromagnético.

Fuente: (DIVERTEKA, 2017)

El sensor no invasivo es un transformador que posee un devanado primario lo cual produce un flujo magnético que calcula la intensidad que circula por el conductor hacia secundario. (DIVERTEKA, 2017, pág. 3)

Nuestro sensor no invasivo es de 100 amperios RMS lo cual determinamos en la siguiente. (Ecuación 26)

$$Corriente_{Pico\ max} = Corriente_{RMS} * \sqrt{2} \quad (26)$$

–Corriente de placa del sensor

$$Corriente_{Pico\ secundario} = \frac{Corriente_{Pico\ max}}{2000} \quad (27)$$

$n_{vueltas}$  – corriente máximo del secundario 2000

Resistencia idea del Arduino que debe ser igual a la mitad del voltaje del pin de entrada analógica del Arduino en la siguiente. (Ecuación 28) (Monitor, 2015)

$$R_{carga\ ideal} = \frac{\frac{AREF}{2}}{I_{Pico\ secundario}} \quad (28)$$

$AREF$  – Voltaje del microcontrolador de Arduino

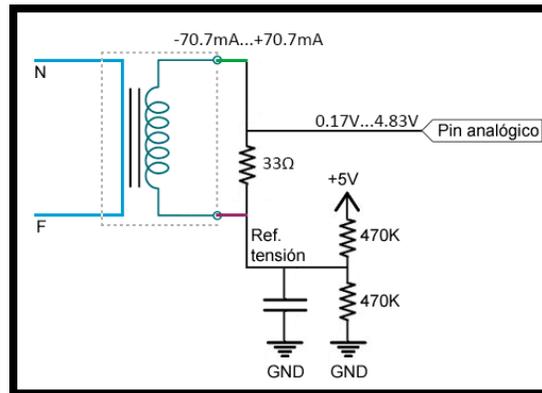


Figura 35. Rectificador

Fuente: (LLamas, Ingeniería, informática y diseño, 2018)

### 3.7.3 Medidor de voltaje continuo.

El sensor de voltaje es un simple divisor de tensión con resistencias de 30 kOhm y 7.5kOhm por lo tanto el mayor voltaje que puede ser suministrado es de 0 - 25 voltios las

características del sensor es S = a la entrada análoga del pin del Arduino y - = al GND; + a VCC.

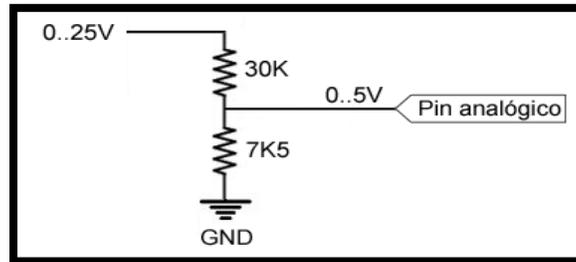


Figura 36. Diagrama del Sensor de Voltaje  
Fuente: (LLamas, Ingeniería, informática y diseño, 2018)

### 3.7.4 Reloj de Arduino DS3231.

Es un reloj de tiempo real que puede calcular el año la fecha la hora los minutos, segundos, es automático este módulo funciona de 5V y una batería externa de alimentación de 3v la comunicación a SDA, SCL al Arduino se puede ver en la Figura 37.

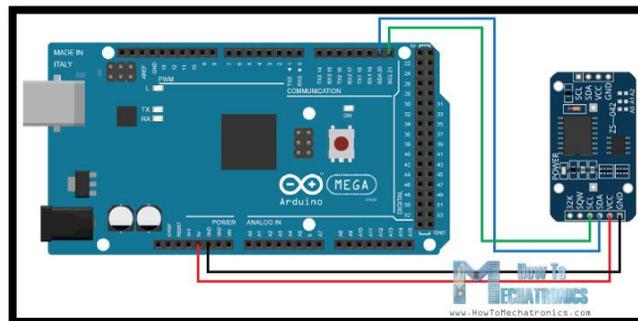


Figura 37. Diagrama Reloj DS3231  
Fuente: (Mechatronics, 2018)

### 3.7.5 Sensor Shield Ethernet.

Unas de las principales características son fáciles de utilizare para trabajar con Arduino puede comunicase por vía de internet para la recolección de datos poseen los mismos pines de entradas de Arduino mega 2560.

### 3.8 Sensor de monitoreo meteorológico HOBO U30.

HOBO U30 es una estación meteorológica resistente al clima que controla el medio ambiente a través de diferentes componentes 8 canales de información.

- Todos los componentes electrónicos esta encapsulado en fuerte capa aislada contra el clima.
- Las entradas analógicas a diferentes sensores y la descarga de información USB es fácil para la recolección de datos.
- Tiene una alarma de activación cuando se descarga el sistema de monitoreo HOBO U30.

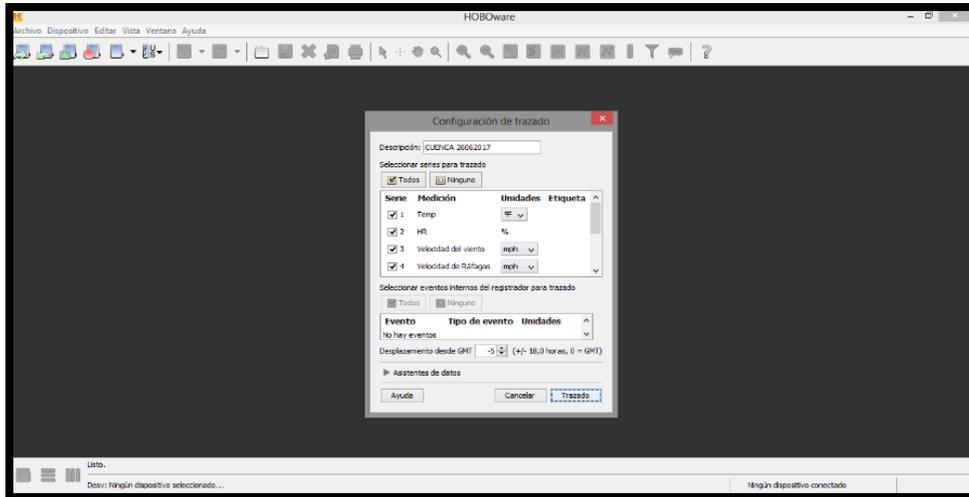


Figura 38. HOBOWare, Configuración de Trazado del Sistema Meteorológico. Fuente (Onset, 2017)

Curva de software de los diferentes tipos de sensores de monitoreo del sistema meteorológico como se muestra figura 39 para la recolección de datos donde se puede determinar la optimización del clima a su máxima expresión y mínima expresión.

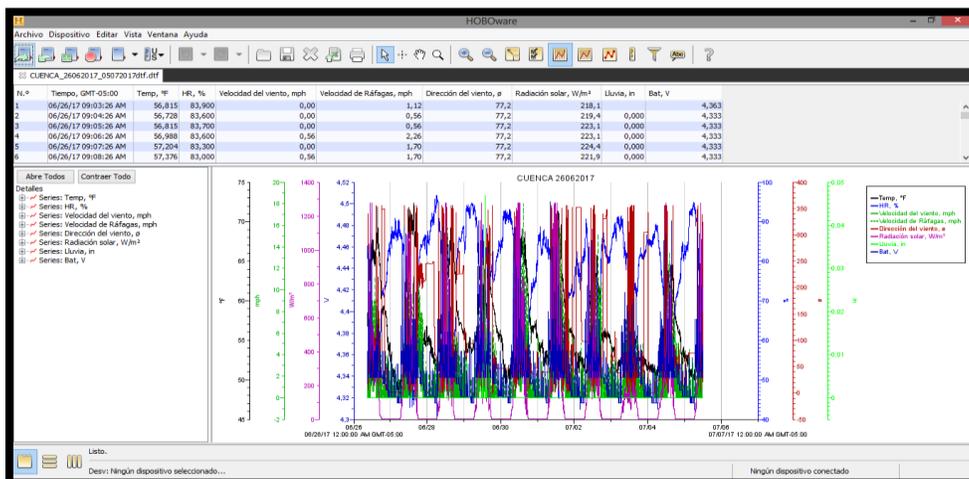


Figura 39. HOBOWare Diferentes Tipos de Medición Según los Sensores. Fuente: (Onset, 2017)

Para determina los diferentes aspectos se derivan según el tiempo de uso para la recolección de datos por lo tanto HOBOWare es un medio donde se puede recopilar datos durante 32 días constate para la información su sistema de medición internacional SU.

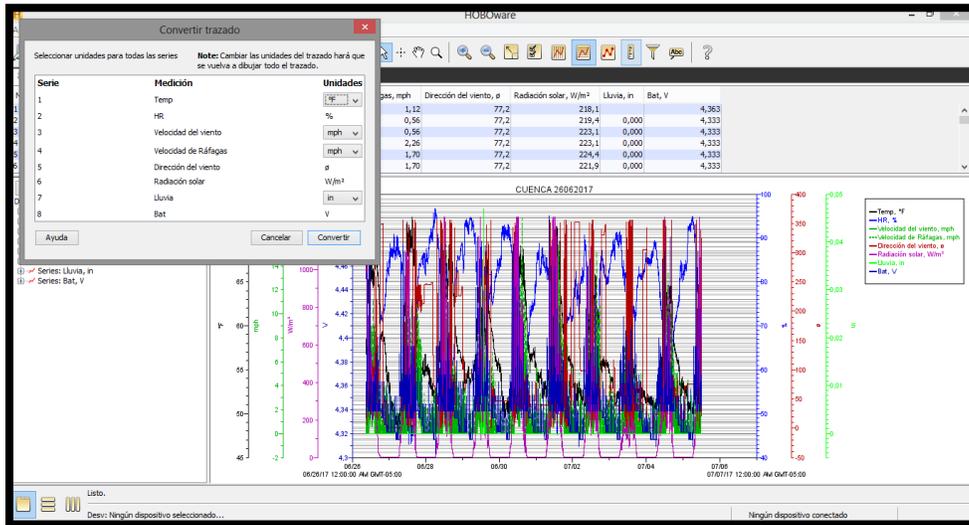


Figura 40. HOBOWare Sistema Internacional SU.  
Fuente: (Onset, 2017).

## CAPITULO 4.

### 4) RENDIMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADO ANALIZADO DEL SISTEMA HÍBRIDO DEL PANEL SOLAR – FOTOVOLTAICO Y TURBINA A VIENTO - EOLICA

El sistema híbrido que se muestra en la figura 41 la conversión de energía eléctrica que producen los sistemas Fotovoltaica y Eólica. Dando las diferentes conexiones eléctricas que conocemos y que tenemos que establecer la corriente alterna y continua y voltaje alterno y continuo para la acumulación de la energía eléctrica en un banco de baterías.

Una de la característica del controlador de carga es proteger las sobrecargas del panel solar y del aerogenerador que puedan producir una potencia.

Se realizó las conexiones del sistema fotovoltaico y el sistema eólico para produce energía eléctrica corriente continua y voltaje continuo que se instala a las entradas del controlador de carga, la energía suministrada al controlador de carga pasa un al banco de baterías que son transformadas la energía a acumulada con un inversor que transforma nuestro voltaje y corriente a 120 voltios para una carga establecida.

La corriente y voltaje fueron medidos con un sistema de medición de Arduino. Por lo tanto nuestro sistema híbrido es la generación de dos diferentes sistemas energías solar y energía producida por el viento para obtener nuestra potencia y rendimiento.

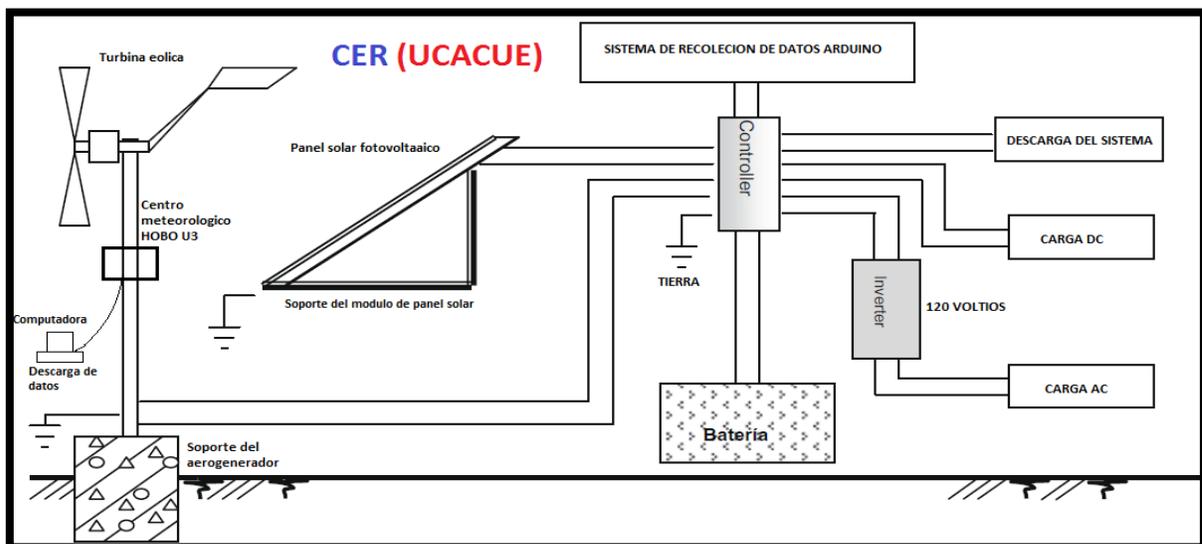


Figura 41. Diagrama de Componentes Básicos de un Sistema Híbrido  
Fuente: (Autor)

Obteniéndose el diagrama de flujo que se muestra en la figura 42 el modelo numérico para el sistema fotovoltaico (PV) y sistema eólico o turbina a viento que se realizaron con las ecuaciones del 1- 29 del capítulo 3.

Se consideró con el inicio de parámetro para el cálculo de la radiación solar en  $\left(\frac{W}{m^2}\right)$ , y la velocidad de viento m/s, y la temperatura ambiente, la corriente nominal y el voltaje nominal de cada uno de los sistemas dando a conocer que los datos de fabricante para el cálculo teórico se utilizaron el área del panel solar para determinar los cálculos de la potencia y el rendimiento así como también de sistema eólico determinamos la corriente y el voltaje y el área de las aspa del aerogenerador dando como resultado la potencia y el rendimiento. una vez ingresado los datos y las ecuaciones del capítulo 3 desde la ecuación 1 a la ecuación 8 podemos determinar la potencia y el rendimiento del panel solar fotovoltaico y de la ecuación 9 a la 16 determinamos la potencia y rendimiento del sistema eólico desarrollando el proceso de conversión de energía dando a realizar el sistema híbrido la potencia en la ecuación 22 que puede suministra el sistema fotovoltaico y eólico por lo tanto se determina el rendimiento del sistema con la ecuación 23.

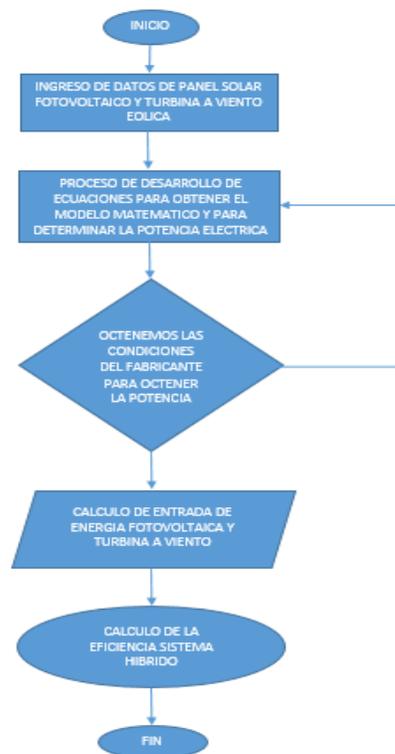


Figura 42. Diagrama de Flujo del Sistema Híbrido  
Fuente: (Autor)

#### 4.1 Resultados del sistema panel solar fotovoltaico.

El desarrollo de los cálculos del sistema híbrido del panel solar fotovoltaico se tomó los datos del fabricante el tipo de celda solar es Mono-Crystalline, 156mm x 156mm el número de celda es de 36 celda el panel solar tiene un peso de 12kg y una área de 1482 mm de altura y de ancho es de 670mm lo cual el panel solar puede recibir una radiación de  $1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)$  y una temperatura ambiente de 25 °C y una potencia máxima de 140 watos con una corriente de 7.78 amperios y un voltaje 17.8 voltios y una tolerancia de +- 2% dando una eficiencia del 12.14% por lo tanto la corriente y voltaje continua continuo.

##### 4.1.1 Resultados teórico del panel solar fotovoltaico con temperatura diferente radiación hasta 1000 W/m<sup>2</sup>.

Verificamos los datos del fabricante tenemos un voltaje máximo constante de 17.8 voltios y una corriente de 7.78 amperios se aplica las ecuaciones 1 al 29 del capítulo 3 del sistema fotovoltaica dando los resultados siguientes en la Figura 43.

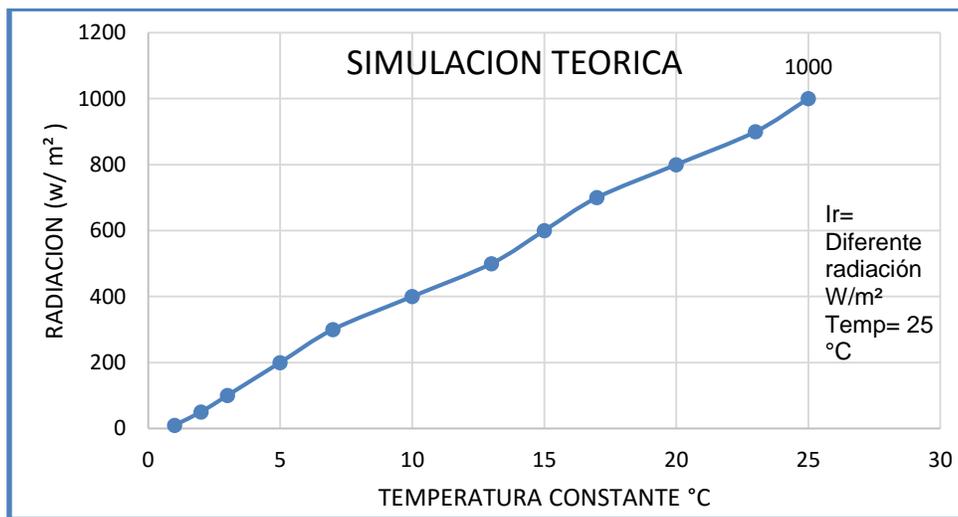


Figura 43. Diferente Radiacion a Temperatura Ambiente Constante °C  
Fuente (Autor)

##### 4.1.2 Interpretación de resultados del panel solar fotovoltaico.

El sistema de paneles solares fotovoltaico se consideró los resultados periódicos de día a día durante un mes con los procesos climáticos que produce la ciudad de Cuenca, en un determinado lugar a instalar los paneles solares.

Se utilizó un sistema meteorológico HOBO U3 capaz de medir las diferentes condiciones como la temperatura ambiente la radiación solar, y diferente aspecto que se ha de establecer para el sistema híbrido el objetivo general es encontrar la potencia y rendimiento del panel solar para la simulación híbrido, los recopilados de datos fueron del mes de Julio-Agosto-Septiembre-Noviembre del año 2017.

#### 4.1.3 Centro meteorológico HOBO U30 (UCACUE).

Las estaciones constan de diferente sistema de medición que vamos establece temperatura ambiente, velocidad de viento, velocidad de ráfaga, dirección del viento, radiación solar, Lluvia, capacidad de batería de almacenamiento.

La localización del sistema meteorológico se encuentra en la estructura del sistema eólico para recolectar datos, por lo tanto, se encuentra a intemperie a una altura de 3.15 metros del nivel de suelo.

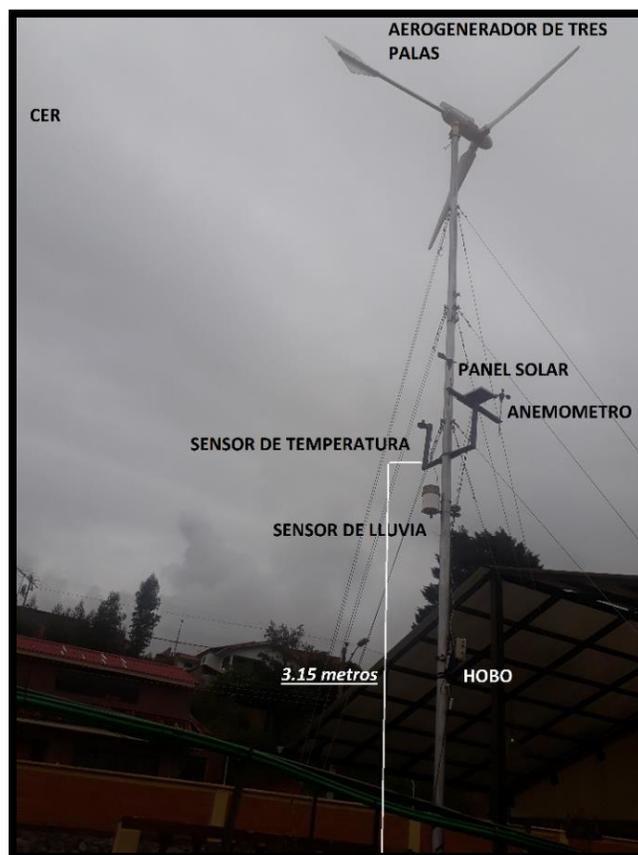


Figura 44. Centro Meteorológico HOBO Ubicación de los Sensores.  
Fuente: (Autor)

#### 4.1.4 Ubicación del sistema meteorológico HOBO U30.

La ubicación del centro de medición de HOBO U30 está localizado en la Ciudad de Cuenca en la provincia del Azuay, ubicada en el Centro de Energía Renovable de la Universidad de Cuenca como se especifica en la tabla 4.

Tabla 4. Ubicación Centro Meteorológico HOBO U30 en la Universidad Católica de Cuenca.  
Fuente: (GeoDatos, 2018)

CENTRO METEOROLOGICO HOBO U30	
CIUDAD	CUENCA
PROVINCIA	AZUAY
ALTURA AL NIVEL DEL MAR	2560 m
ALTURA DEL SISTEMA DEL LOS SENSORES	4.05 m
ALTURA HOBO	3.15 m
LATITUD	2°54'01" S.
LONGITUD	79°00'16" O.
SECTOR	CER

#### 4.1.5 Característica del sistema de medición HOBO "U30".

Todos los sensores están protegidos por una capa de aislamiento resistente al agua y la radiación solar.

- Recopilación de datos y descargas rápidas mediante un puerto USB.
- Incluye una señalización de alarma cuando el sistema está sin carga.



Figura 45. Componentes de Sistema de Medición HOBO U30  
Fuente: (UniSource, 2018)

#### 4.1.6 Proceso de la simulación del modelo matemático del panel solar fotovoltaico.

Para realizar el proceso matemático de los paneles solares fotovoltaicos se tomaron en cuenta los datos de placa o “datos del fabricante” potencia máxima de 140 w a una corriente de 7.78 amp y un voltaje de 17.8 voltios, y una radiación máxima de 1000 w/ m<sup>2</sup> con una temperatura nominal de 25 °C, y una eficiencia de 14.10%.

#### 4.1.7 Modelo matemático a condiciones constantes del sistema fotovoltaico.

En la siguiente grafica mostramos la carga de entrada de los paneles solares a diferentes radiaciones de 100 w/ m<sup>2</sup>, 250 w/ m<sup>2</sup>, 500 w/ m<sup>2</sup>, 1000 w/ m<sup>2</sup> especificado por el fabricante en los diferentes parámetros establecidos con una temperatura constante de 25 °C ideal y la corriente de 7.78 amperios y un voltaje de 17.8 voltios que nos determina una potencia por lo tanto se utilizara las (Ecuaciones 1 al 8).

En la siguiente figura 46 se muestra la entrada de temperatura a radiación constante con temperatura ideal de 25 °C a un determinado tiempo.

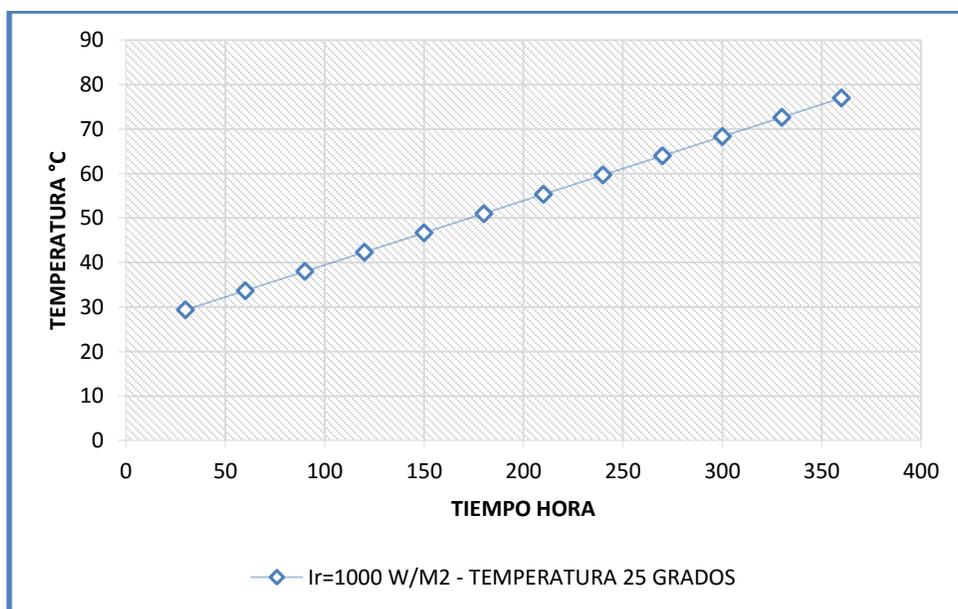


Figura 46. Temperatura de Celda Fotovoltaica Constante con Relación al Tiempo Día  
Fuente: (Autor)

Donde se puede observar en la siguiente figura 47 la curva de corriente a diferente radiación durante el día comienza a crecer según la radiación solar en un determinado tiempo.

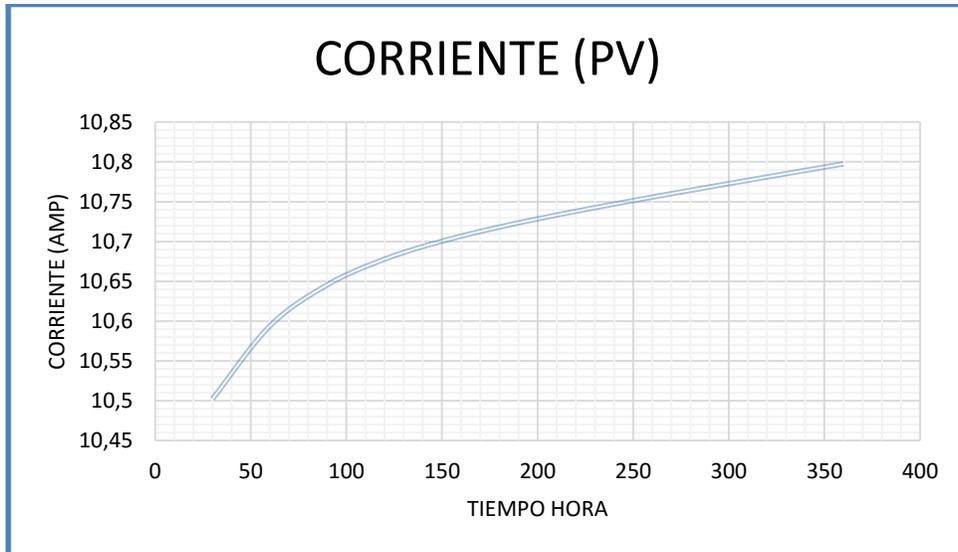


Figura 47. Corriente Panel Solar con Relación al Tiempo Hora  
Fuente: (Autor)

La potencia del panel fotovoltaico está determinada por la corriente (Amp) y el voltaje (V) con diferente radiaciones 100 w/ m<sup>2</sup>, 250 w/ m<sup>2</sup>, 500 w/ m<sup>2</sup>, 1000 w/ m<sup>2</sup> para determinar la potencia máxima del panel solar fotovoltaico se muestra la potencia respecto a la Corriente Continua como se muestra en la figura 48. (Sami & Rivera, 2017)

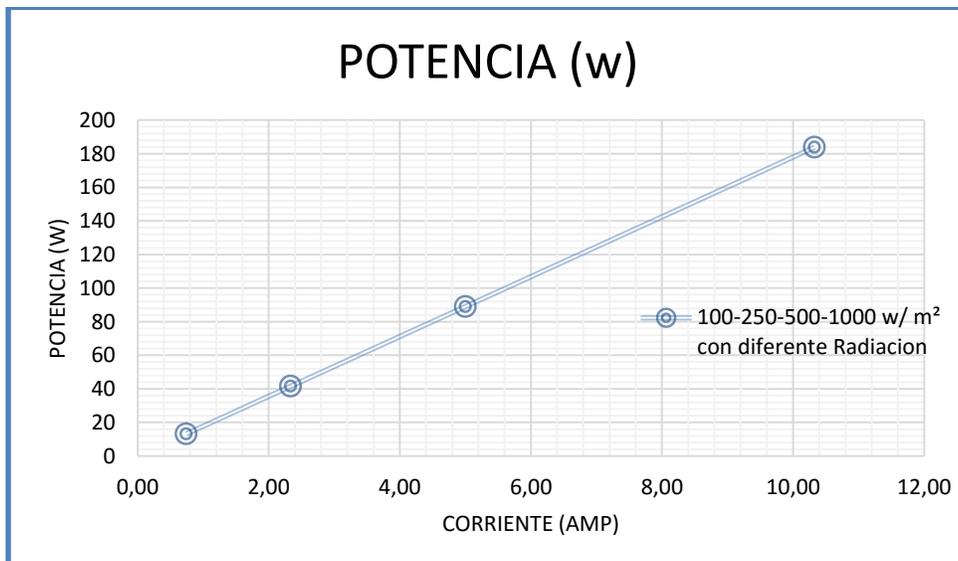


Figura 48. Curva de Potencia con Relación a Corriente Continua con Variación de Radiación Solar.  
Fuente (Autor)

Podemos determinar la eficiencia en porcentaje del sistema de paneles solares fotovoltaico a condiciones constante de temperatura de 25 °C y con una radiación de 1000 w/m<sup>2</sup> donde se determina en la figura 49 utilizando las (Ecuaciones 1-8) y las características del fabricante se puede verificar en anexo 2. (Sami & Rivera, 2017)

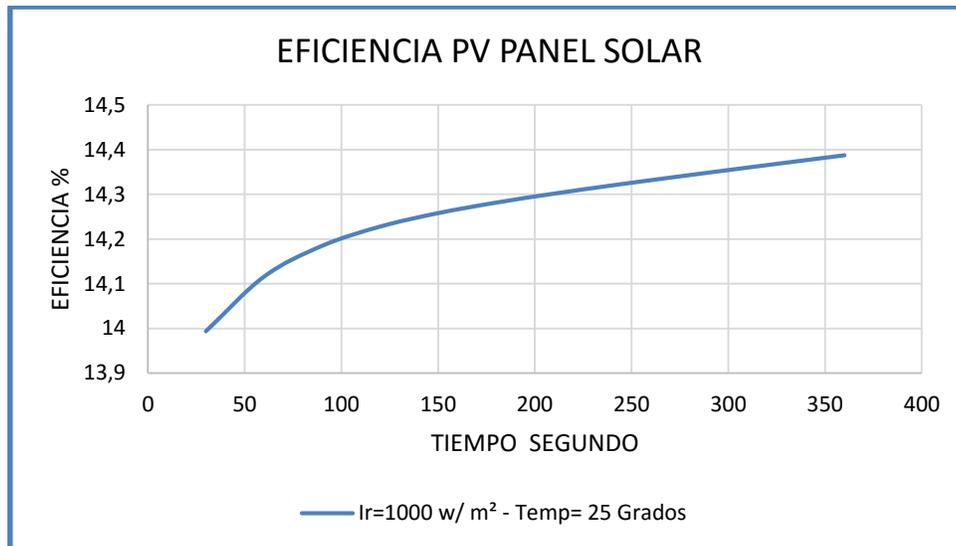


Figura 49. Curva de Eficiencia en % del Panel Solar Fotovoltaico con Relación al Tiempo Fuente: (Autor)

Para determinar la potencia en la figura 50 correspondiente a la eficiencia que se determinó con las siguientes radiaciones 1000 w/ m<sup>2</sup>, 500 w/ m<sup>2</sup>, 250 w/ m<sup>2</sup> para determinar el modelo matemático con la corriente y voltaje específico que determina el proveedor. (Sami & Icaza, 2015)

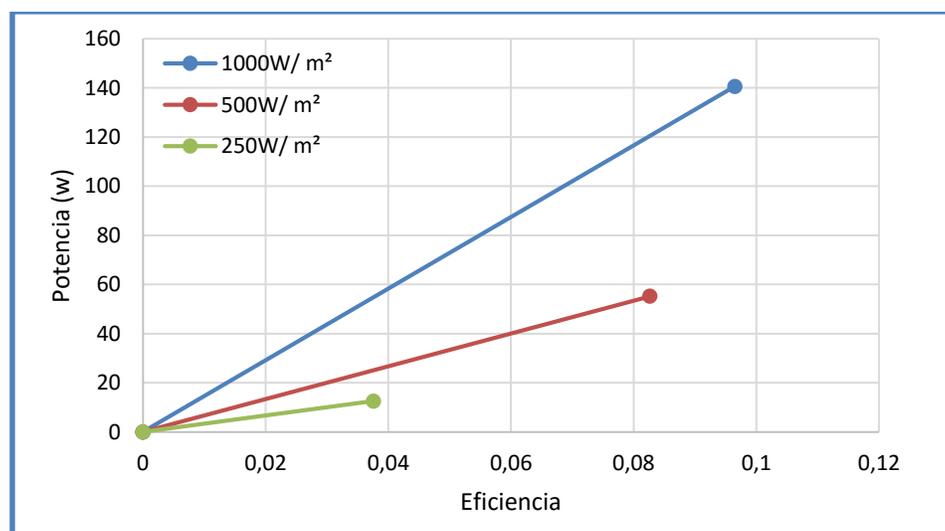


Figura 50. Curva de P(w)-Eficiencia con Diferentes Radiaciones W/m<sup>2</sup> Fuente: (Sami & Icaza, 2015) & (Autor)

Se determina la curva de eficiencia a diferentes potencias con un valor de voltaje continuo de 17.8 voltios para determinar la radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, 500W/m<sup>2</sup>, 250 W/m<sup>2</sup>, 100 W/m<sup>2</sup> como se determina en la siguiente figura 51 que a mayor radiación solar tenemos mayor eficiencia.

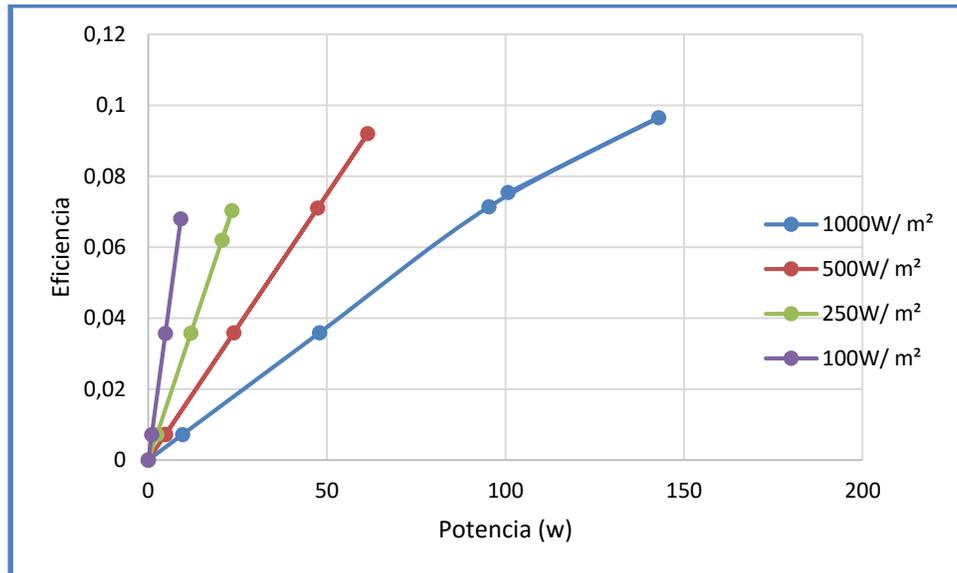


Figura 51. Curva de Eficiencia vs Potencia a Diferentes Voltajes y Radiaciones W/m<sup>2</sup> Experimental. Fuente. (Sami & Icaza, 2015) & (Autor)

#### 4.1.8 Resume del modelo matemático con condiciones del fabricante.

En el proceso matemático establecido determinamos las diferente característica de un panel solar a condiciones constante o a su máxima potencias para la generación de energía eléctrica lo cual en este sistema optimiza las diferentes perdida que pueda producir un panel solar por lo tanto las condiciones a establecer son las siguiente la temperaturas y diferentes radiaciones para desarrollo del sistema híbrido.

#### 4.1.9 Toma de datos del sistema dinámico de panel solar fotovoltaico a condiciones variables.

En desarrollo del proceso de simulación del sistema dinámico es la interpretación de las diferentes condiciones ambiente y la recolección de datos del sistema de medición meteorológica HOBO U30 más Arduino que nos permite recolectar datos, de Corriente Continua y Voltaje Continuo para la verificación de los datos del fabricante desarrollar la curva de la eficiencia experimenta VS la eficiencia teórica.

En la siguiente figura 52 se muestra la curva de corriente a un voltajes constantes la corriente del panel solar aumenta a diferentes radiaciones la cuales se especifica el modelo experimental.

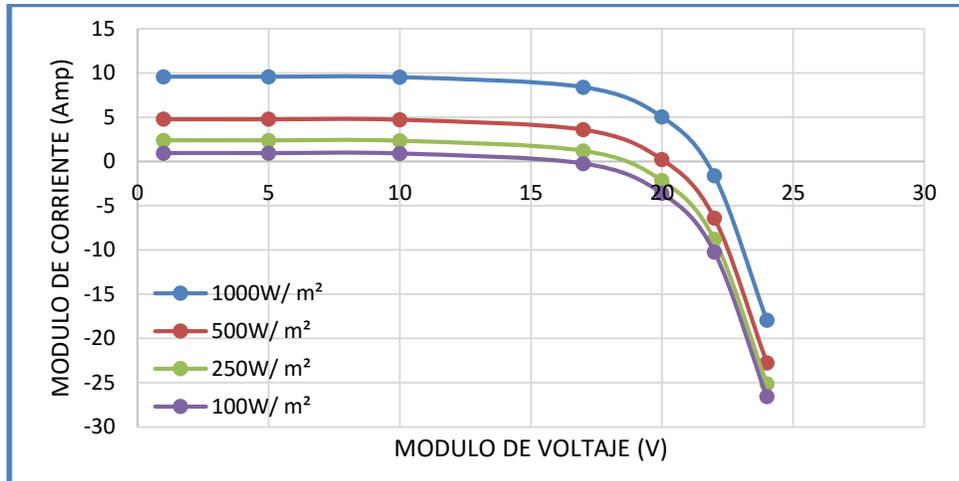


Figura 52. Curva de Voltaje-Corriente a Diferente Radiación W/ m<sup>2</sup>  
Fuente: (Sami & Marin, 2017) & (Autor)

#### 4.1.10 Recolección de datos para el análisis experimenta.

En la recopilación de datos en la ciudad de Cuenca ubicada los paneles solares en la Universidad Católica de Cuenca sector Basílica de la Santísima Trinidad se determinó los siguientes datos la radiación solar 1000 w/ m<sup>2</sup>, temperatura ambiente de 25°C, 50°C, 75°C, para los diferentes cálculos obteniendo un promedio diario de cada uno, obtenido una potencia vs a la radiación, como se muestra en la figura 53

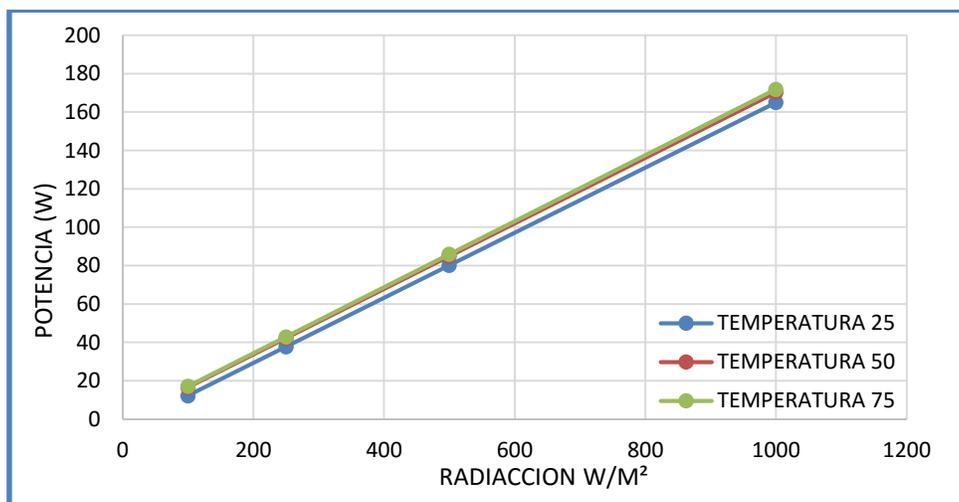


Figura 53. Radiación solar a 1000 w/ m<sup>2</sup> - 500 w/ m<sup>2</sup> - 250 w/ m<sup>2</sup> - 100 w/ m<sup>2</sup> a Temperaturas 25-50-75°C Grados  
Fuente: (Autor)

La potencia que circula en las diferentes condiciones nos muestra que a diferentes temperaturas mayores de 25°C grados mayor será la potencia adquirida con la radiación solar a 1000 w/m<sup>2</sup> mayor será la corriente y a diferentes temperaturas la corriente será mayor o igual que la eficiencia del panel solar.

#### 4.1.11 Recolección de datos a diferentes radiaciones y diferentes temperaturas.

El resultado de la simulación del sistema de panel solar fotovoltaico se procede al 50% de la simulación híbrida a diferentes condiciones donde la radiación a diferentes temperaturas como se muestra en la figura 54 nos da la curva de corriente a condiciones variables de temperatura y radiación solar para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico.

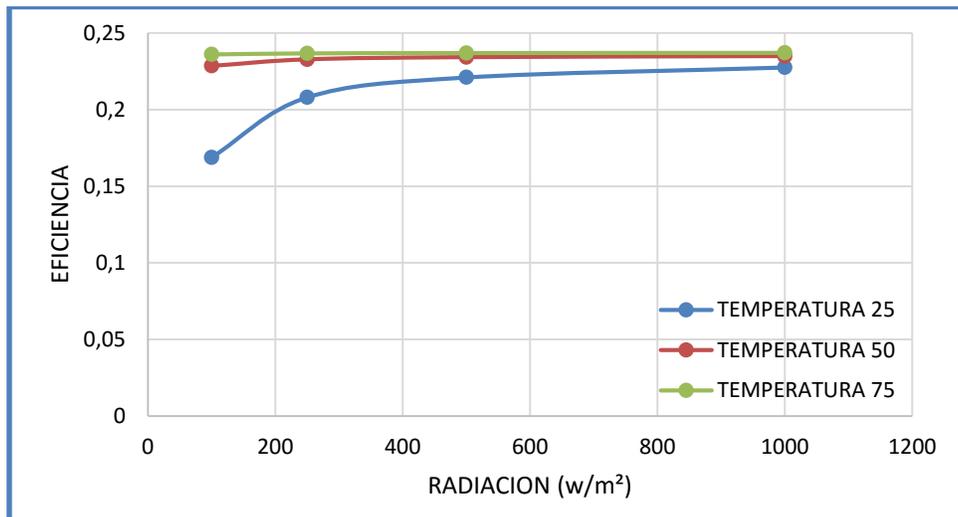


Figura 54. Eficiencia Experimental a Diferentes Radiaciones y Diferentes Temperaturas.  
Fuente: (Sami & Rivera, 2017)

De esta manera para representar radiaciones de 1000 W/m<sup>2</sup> tenemos una eficiencia mayor al igual de a diferente temperaturas con las ecuaciones dadas que se muestra en la figura 54.

#### 4.1.12 Condiciones experimentales de sistema solar fotovoltaica.

Las diferentes condiciones se tomó de un día para la experimentación de los resultados por el estación meteorológica dando a conocer que la mayor radiación se encuentra desde la hora de 10:00 am hasta las 1:00 pm por lo tanto comienza a reducir la radiación a igual que potencia como se muestra en la siguiente figura 55.

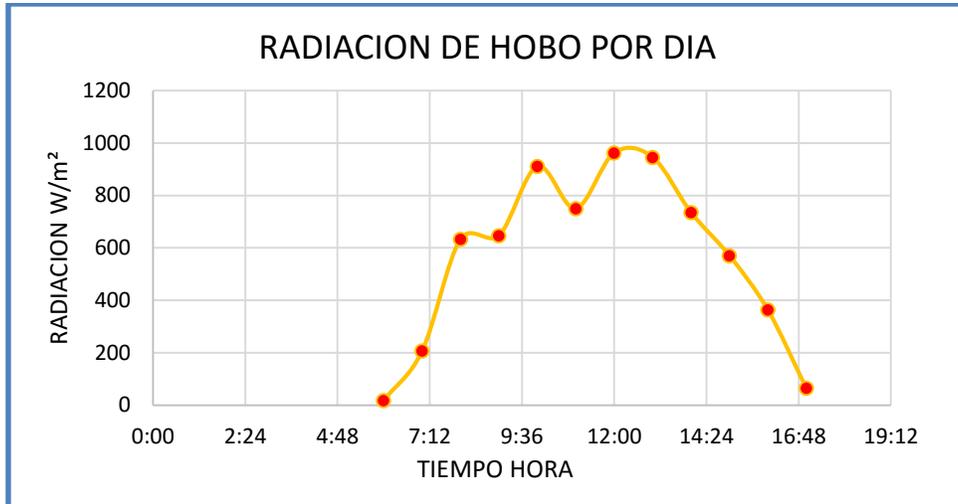


Figura 55. Radiación Solar del Sistema Meteorológica de HOBO Sobre Determinado Tiempo de 7am a 5pm del Día 01/07/2017  
Fuente: (Autor)

Se determina la potencia del módulo fotovoltaico con el siguiente resultado de potencia durante un determinado tiempo que consta de 7 am hasta 5pm donde existe radiación solar durante un día la acumulación de energía eléctrica como se muestra en la siguiente figura 56 la mayor potencia eléctrica 162 (w) que genera durante un día promedio la potencia de salida.

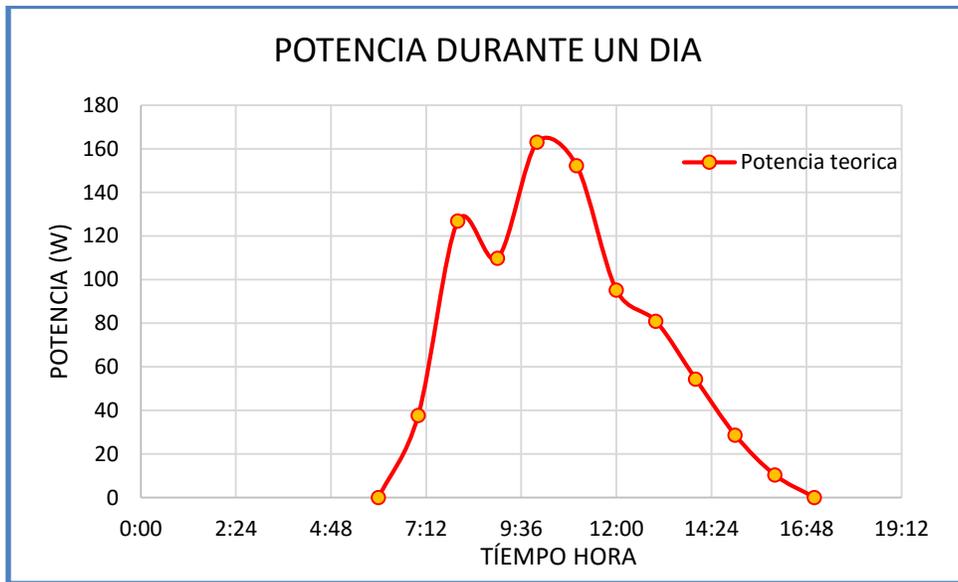


Figura 56. Potencia Generada Durante un Día Promedio 01/07/2017  
Fuente: (Autor)

#### 4.1.13 Comparación del sistema del panel solar fotovoltaico del modelo matemático y modelo experimental.

En la siguiente figura 57 se ve el análisis la potencia generada con la diferente radiación la cual se tomaron los siguiente datos para el modelo matemático (teórico) los datos recolectado por el estación meteorológico y con las ecuaciones dadas en el capítulo 3 con datos específicos de proveedor como se muestra (anexo 2) y el modelo experimenta se obtuvo por la recolección de datos de los diferente sensores de Arduino como voltaje y corriente continua que se ubica a la salida del controlador de carga para corriente eléctrica generada. (Sami & Rivera, 2017)

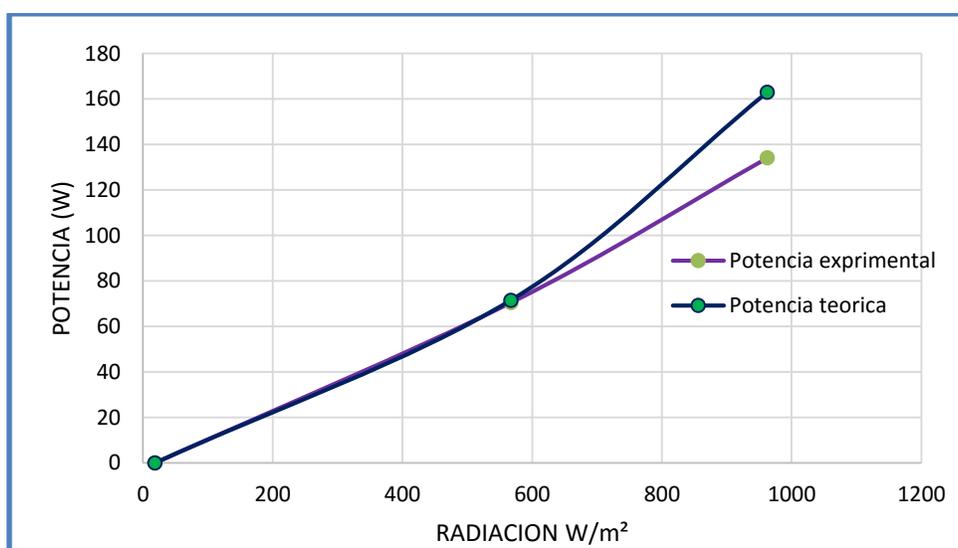


Figura 57. Potencia generada por la simulacion dinámica del modelo matemático y experimental Fuente (Sami & Marin, 2017)& (Autor)

Eficiencia del sistema de panel solar fotovoltaica determinamos a cuanta radiación produce más energía eléctrica dando a conocer las especificaciones del proveedor la capacidad máxima del panel que puede producir con una radiación solar de  $1000 w/m^2$  produce una potencia de 140 watios lo que indica el proveedor, el modelo experimental se muestra la eficiencia durante un día promedio alcance 0,15 de eficiencia la cual es óptimo para nuestro sistema fotovoltaico los datos recolectados son desarrollados con el micro controlador de Arduino para encontrar la corriente y el voltaje que determina su potencia de salida del controlador de carga, se determina la radiación y la temperatura utilizó un sistema meteorológico HOBO U30 para la verificación y la comparación del sistema de paneles solares.

El presente trabajo de investigación se justifica que la curva la eficiencia experimental se aproxima a modelo matemático figura 58.

Las pérdidas en la celda que no fueron atendidas en el modelo causaron la diferencia entre el modelo experimental y el modelo teórico.

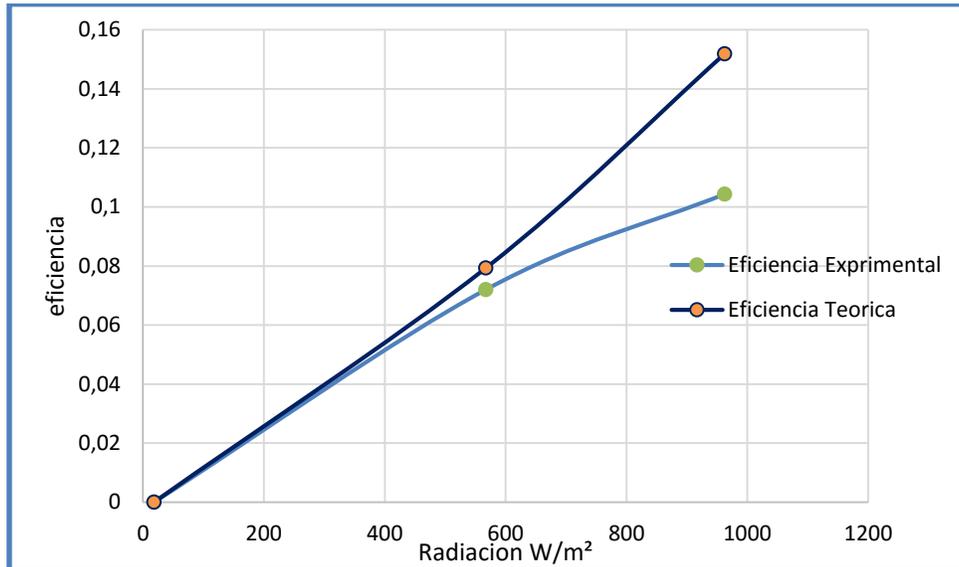


Figura 58. Eficiencia de Simulación del Modelo Matemático y Experimental.  
Fuente: (Sami & Marin, 2017)& (Autor)

## 4.2 Resultados del sistema de turbina a viento aerogenerador.

Los datos recopilados durante el periodo de tiempo por la estación meteorológica HOBO U3 se obtuvieron la velocidad de viento, determinando las ecuaciones que se puede adquirir en el capítulo 3.

### 4.2.1 Interpretación de los datos.

El dato de velocidad de viento fue recopilado por el sistema meteorológico de HOBO U3 durante un tiempo de 3 meses por lo tanto se realizó el promedio día y mensual para la comparación, la mayor velocidad de viento que puede producir en un mes.

### 4.2.2 Velocidad de viento.

Tabla 5. Velocidades Promedio Día de Sistema Meteorológico HOBO U3  
Fuente: (Autor)

Velocidad del viento máxima	3.5 m/s
Velocidad de viento promedio	2.2 m/s
velocidad de viento mínimo	0 m/s

### 4.2.3 Resultado de la velocidad de viento Teórica.

En la ciudad de Cuenca se produce una velocidad máxima por día de 3.25 metros por segundo como se determina en la figura 59 tomando durante un tiempo determinado de 6am a 7pm para la recolección datos de la velocidad de viento minuto a minuto. (Sami & Garzon,2017)

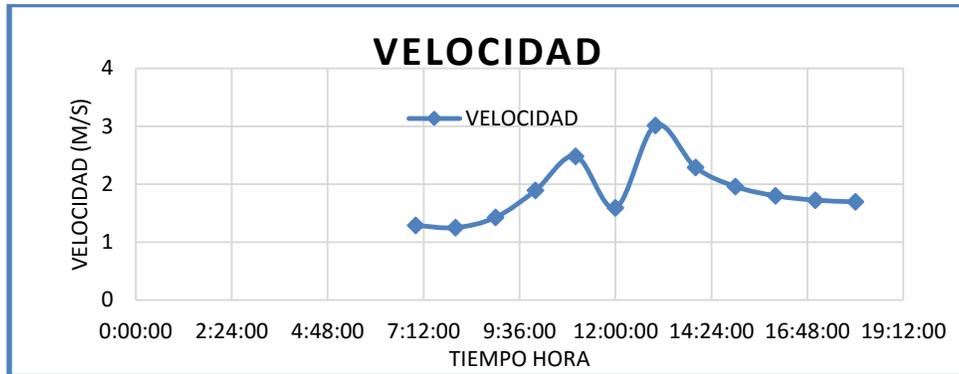


Figura 59. Curva de Velocidad de Viento de 6am a 7pm Durante Intervalos de Minuto a Minuto 01/07/2017  
Fuente: (Autor)

### 4.2.4 Recopilación de datos de la potencia experimental.

En la figura 60 se muestra la potencia de la turbina que puede generar durante un día promedio según la velocidad de viento podemos determinar nuestra potencia eléctrica de salida para la acumulación de energía eléctrica a un banco de batería.

La potencia generada por la turbina a viento se determina en las diferentes mediciones de HOBO U3 utilizando las ecuaciones del capítulo 3 para la variación de potencia con los diferentes coeficientes de Betz en la gráfica 60 se determina el promedio de viento que produce durante un día.

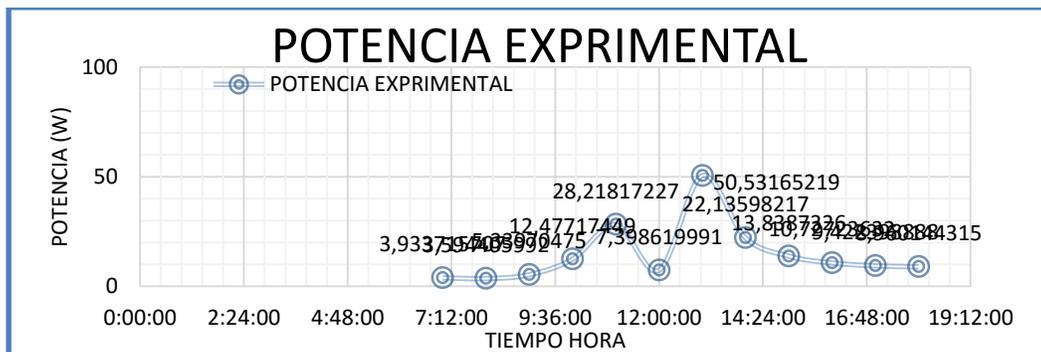


Figura 60. Curva de Potencia Según la Velocidad de Viento Promedio  
Fuente: (Autor)

#### 4.2.5 Recopilación de datos de la curva de potencia del modelo matemático y modelo experimental para la generación eléctrica.

Los datos de potencia se pueden determinar de las siguientes ecuaciones dadas en el capítulo tres para la comparación de nuestro modelo experimental para determinar la mejor eficiencia y la potencia adecuada para la generación eléctrica podemos ver en la figura 61 como se acerca nuestra curva para la eficiencia a establecer con los siguientes parámetros variables como el coeficiente de Betz. (Sami & Garzon, 2017)

El modelo Experimental se determina la potencia eólica se determinó que la velocidad de viento promedio es de 3.53 m/s con una potencia 160 w la cual se aproxima a la curva de potencia del proveedor del aerogenerador para determinar la potencia y la velocidad de viento teórica se obtuvo los datos del modelo matemático y numérico de (Sami & Icaza, 2015) que la potencia teorica es de 600 watios a una velocidad de viento de 15 m/s.

Para simular la experiencia se tomaron los datos los valores del centro meteorológico HOBO U30 la velocidad de viento en un intervalo de tiempo de minuto a minuto teniendo como respuesta de los dos modelos teórico y experimental dando la simulación de la potencia de salida del aerogenerador.

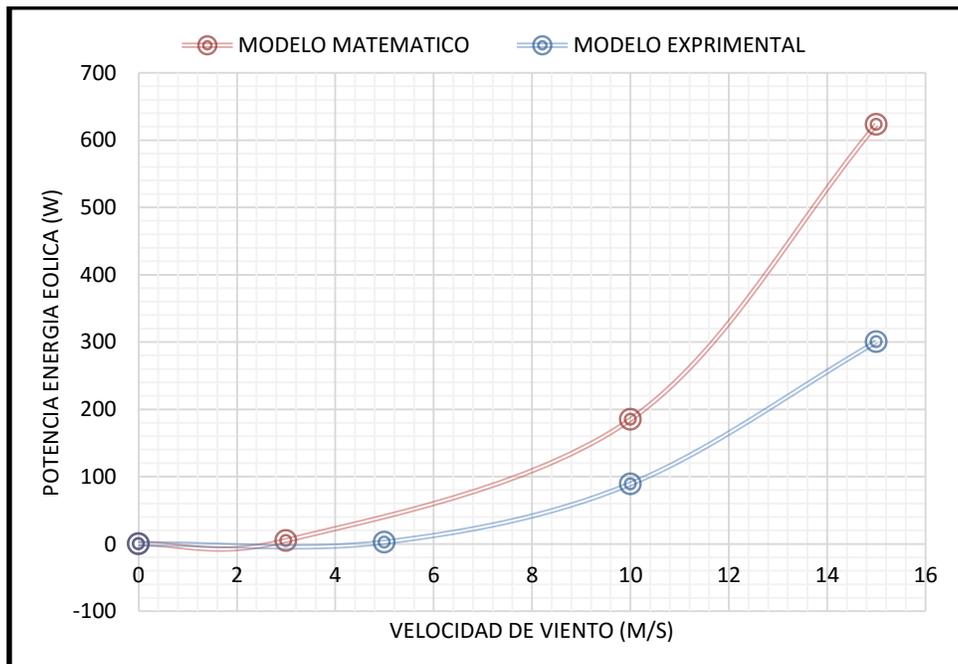


Figura 61. Curva del Modelo Matemático y Modelo Experimental Según su Potencia.  
Fuente: (Autor)

Se puede determinar la siguiente curva de potencia a diferente velocidades de viento este cálculo está realizado con datos optimizados a una velocidad variables por lo cual en nuestro aerogenerador provee 1500 (w) de potencia eléctrica nominal a una velocidad 15 m/s donde las condiciones de viento de la ciudad de Cuenca no son óptimas por no producir velocidades de viento constante dando a conocer que nuestro aerogenerador debe ingresar una cantidad de viento superior a los 2.5 m/s para la generación eléctrica.

El análisis se determinan la experiencia del sistema eólico con la ecuación 15 para la eficiencia del aerogenerador es (potencia de salida / potencia entrada) dando la experiencia que los cálculos de salida de potencia del aerogenerador son iguales a los cálculos que nos da los sensores de corriente y voltaje alterno para la conversión de energía AC a CC. (Icaza, 2017)

Las pérdidas mecánicas, eléctricas en turbina a viento que fueron atendidas en el modelo causaron la diferencia entre el modelo experimental y el modelo teórico.

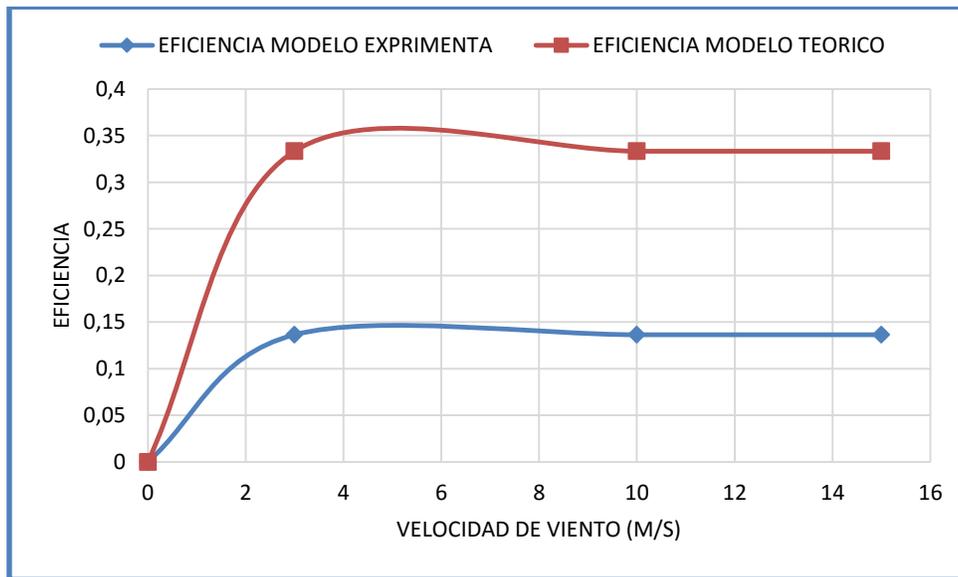


Figura 62. Eficiencia del Modelo Teórico - Experimental vs Velocidad de Viento 01/07/2017  
Fuente: (Autor)

#### 4.2.6 Recopilación de dato para determinar la eficiencia eólica.

Como se muestra en la figura 63 la eficiencia del aerogenerador a condiciones normales por lo tanto es igual a la potencia de salida sobre la entrada para su cálculo por lo tanto a mayor velocidad de viento tendremos una pérdida de potencia por la fricción del

aerogenerador y por los conductores a condicione de viento bajos la eficiencia del aerogenerador son óptimas. (Sami & Garzon,2017)

Se utilizara las ecuaciones de capitulo tres para encontrar la eficiencia del aerogenerador a condiciones variables de  $\beta=0$  para obtener un rendimiento más óptimo de aerogenerador.

La experiencia obtenida en el trabajo de investigación la eficiencia del sistema de turbina a viento a diferentes variables se aumenta o disminuye el rendimiento del aerogenerador.

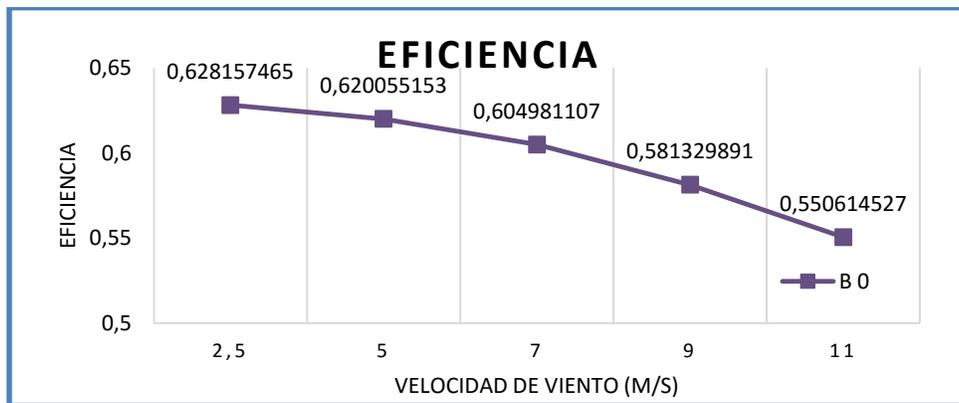


Figura 63. Curva de eficiencia del aerogenerador a diferentes  $\beta = 0$   
Fuente (Autor)

Considerando el análisis de la eficiencia experimta con las diferente deltas  $\lambda=5$ ,  $\lambda=8,1$ ,  $\lambda=12$  sobre la velocidad de viento que se determina para el movimiento del aerogenerador y la conversión de energía mecánica a energía eléctrica (CER).

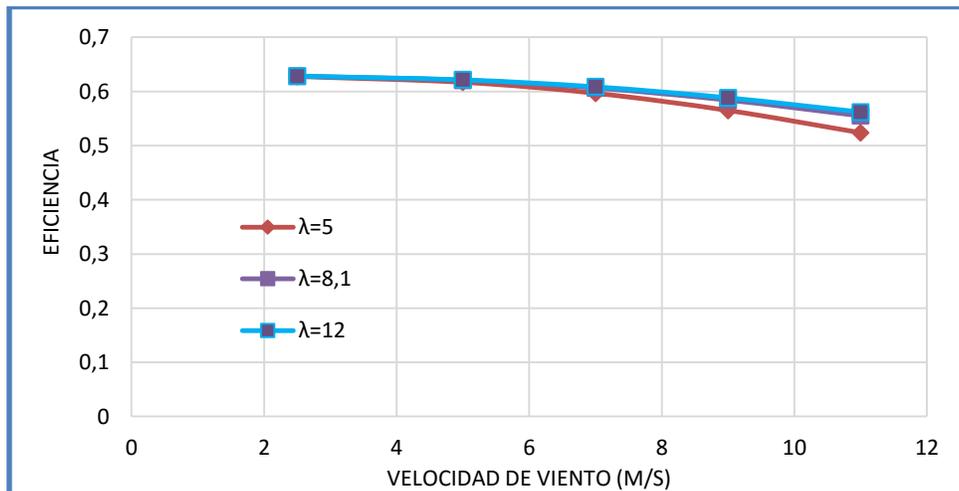


Figura 64. Curva de Eficiencia a Diferentes  $\lambda=5$ ,  $\lambda=8,1$ ,  $\lambda=12$  a Diferente Radiaciones  
Fuente: (Autor)

La curva de potencia VS velocidad de viento a diferentes landas  $\lambda=5$ ,  $\lambda=8,1$ ,  $\lambda=12$  la velocidad mínima 2,5 m/s para el arranque del aerogenerador ZH1.5 y con un máximo de velocidad 11 m/s como se puede ver en la simulación y proyección concuerda con la potencia que está generando.

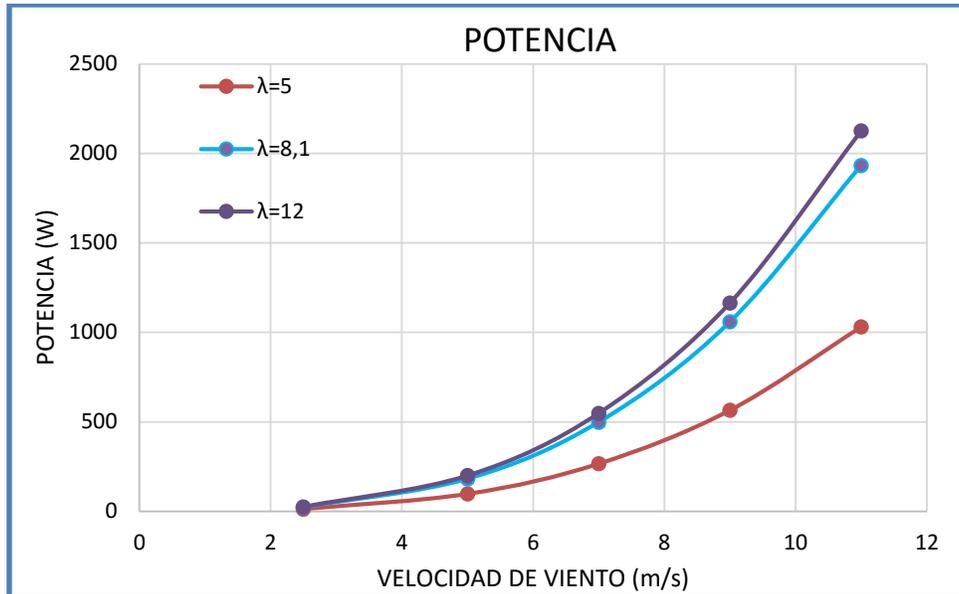


Figura 65. Curva de Potencia a Diferente Velocidad de Viento y a diferentes  $\lambda$ .  
Fuente: (Autor)

En la figura 66 el análisis de la velocidad de viento en la ciudad de Cuenca durante un día promedio el desarrollo de la velocidad de viento para encontrar la potencia eléctrica que suministra el aerogenerador ZH1.5kw en un día.

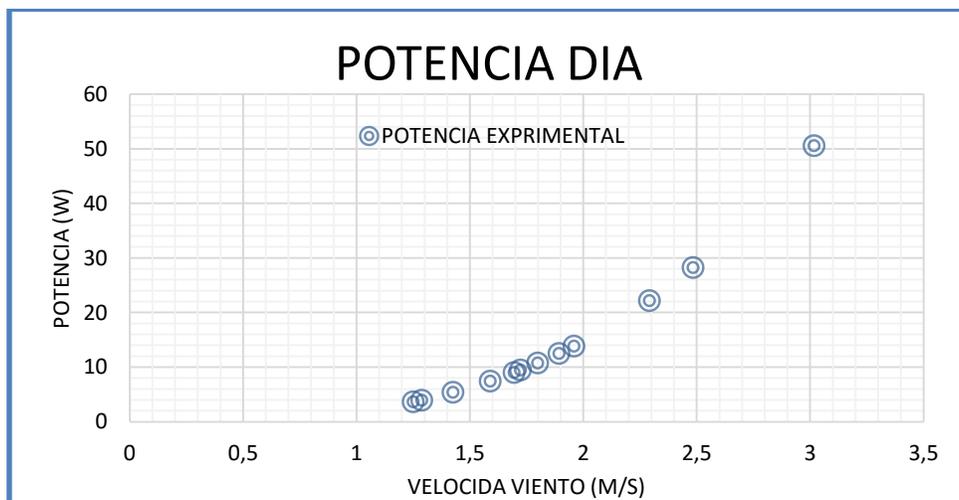


Figura 66. Curva de Potencia Durante un Día Promedio sobre la Velocidad de Viento de Aerogenerador ZH1.5KW 01/07/2017  
Fuente: (Autor)

Durante el periodo de estudio la potencia del modelo matemático y el modelo experimental de un día promedio la velocidad de viento que produce la ciudad de Cuenca a condiciones normales, se muestra en la figura 67 el coeficiente de Betz este perturba a la potencia mecánica del aerogenerador y se define como el rendimiento. (Sami & Garzon,2017)

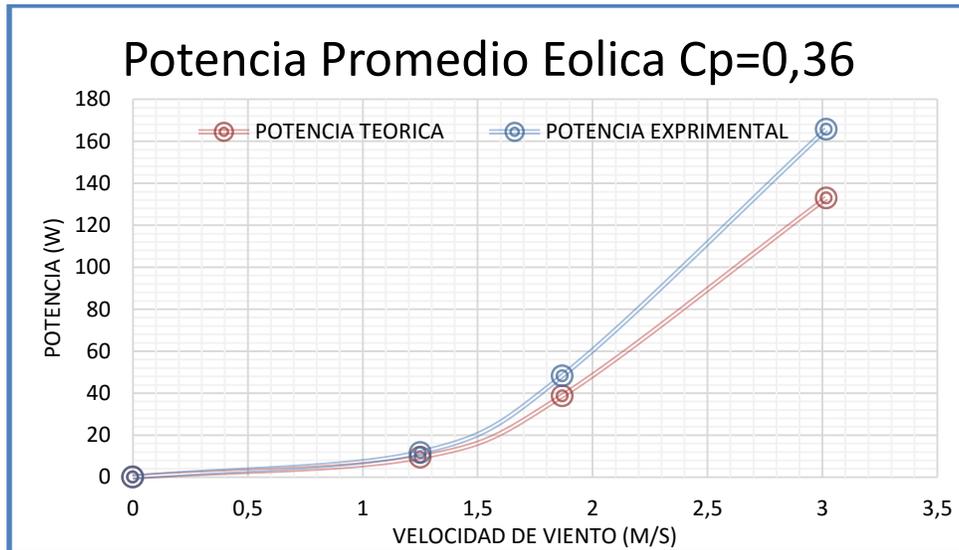


Figura 67. Potencia Teórica y Potencia Experimental de la Turbina a Viento Fuente: (Autor)

En la figura 68 se determina la potencia mecánica del aerogenerador a diferente  $C_p$  donde la velocidad de viento comienza desde cero a una velocidad máxima 11 m/s, por lo tanto definimos la  $C_p$  a 0,1, 0,23, 0,38, 0,4 que solo se puede aprovechar en el rotor una potencia máxima inferior al 60% del aerogenerador ZH1.5kw.

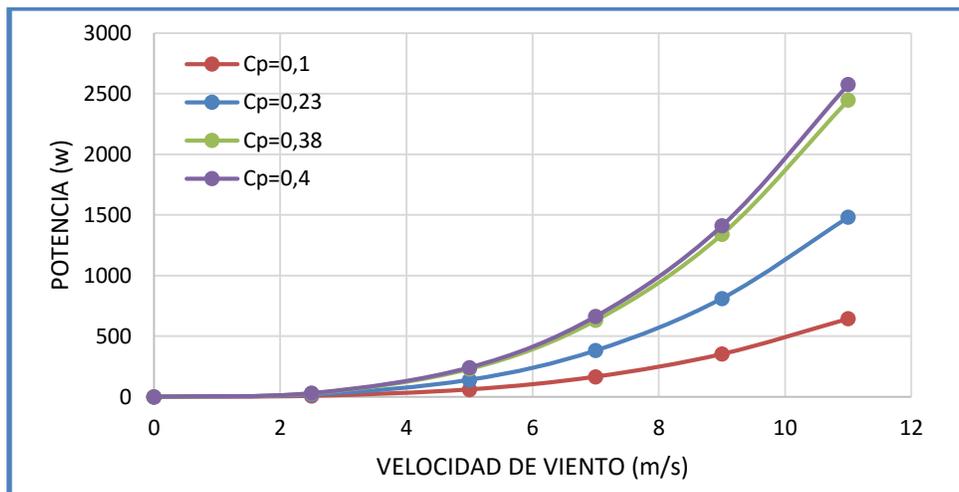


Figura 68. Curva de Potencia a Diferente Coeficiente de Betz. Fuente: (Sami & Garzon, 2017)

Curva de potencia a diferente  $C_p$  o (llamado rendimiento del aerogenerador) y diferente  $\lambda$  y  $\beta$  se calcula las variables de las ecuaciones del modelo experimental que se determina en el capítulo 3 la potencia mecánica vs la velocidad de viento, se muestra en la figura 69.

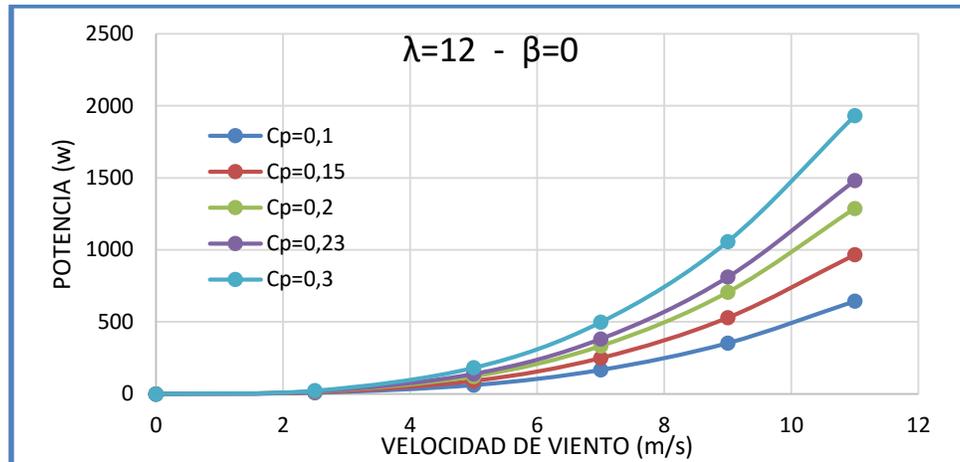


Figura 69. Curva de Potencia a Diferente  $\lambda$ - $\beta$  Experimental  
Fuente: (Autor)

#### 4.3 Resultado del rendimiento y análisis del sistema híbrido del panel solar fotovoltaico y turbina a viento eólica para determinar la potencia generada.

A partir de la potencia híbrida se nuestros el sistema de generación eléctrica podemos interpretar que el sistema hibrido de panel solar y turbina a viento aerogenerador la generación eléctrica es la optimizaciones 70% de energía de los dos sistema por lo cual es un porcentaje aceptable para la acumulación de energía, los banco de baterías donde esta acumulado la energía eléctrica puede rendir a su máxima potencia 3 horas promedio a plena carga donde es factible el sistema para una zona remota. (Sami & Icaza, 2015)

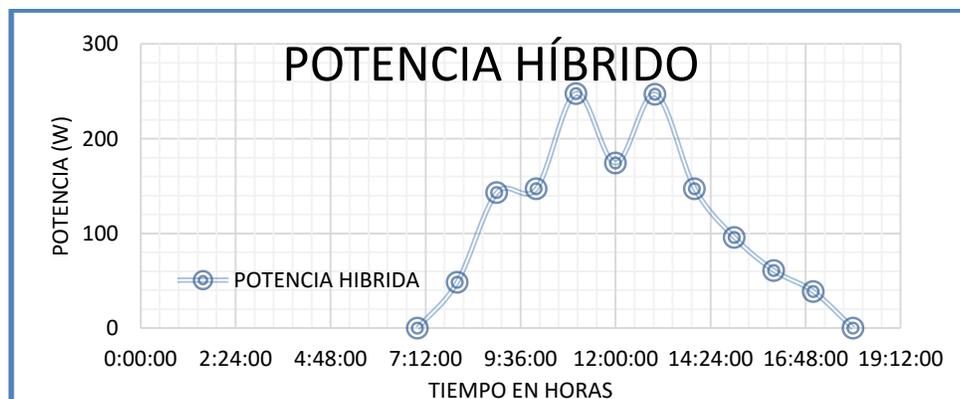


Figura 70. Curva de potencia híbrida para la acumulación de energía a un determinado tiempo  
Fuente: (Autor)

En la figura 71 se puede ver que la mayor potencia eléctrica se encuentra de 10:00 am hasta 2:00 pm para la mayor eficiencia donde en nuestra investigación se observó que se puede producir la potencia deseada para el consumo energético por lo tanto el banco de baterías que costa de 12 baterías de 12 voltios puede rendir el tiempo establecido para una zona remota que requiere energía eléctrica.

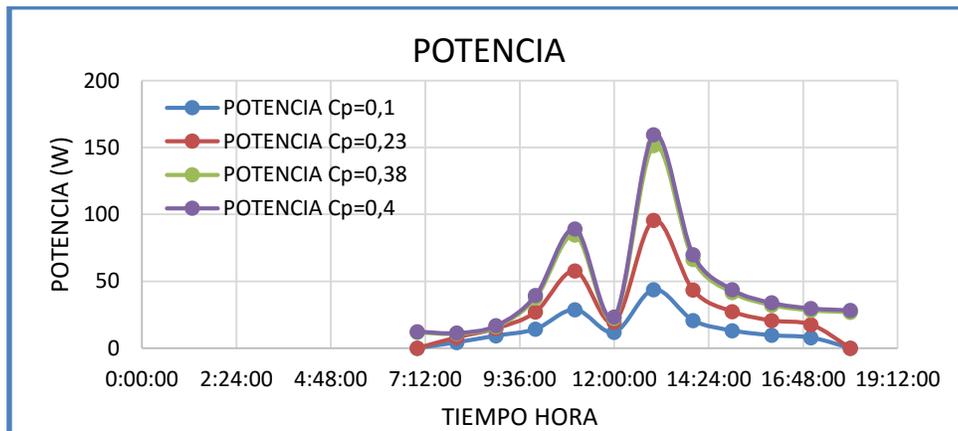


Figura 71. Curva de Potencia Mensual Julio 2017  
Fuente: (Autor)

En la figura 72 se muestra la eficiencia sobre tiempo del sistema híbrido durante un tiempo establecido, se recolecto los datos de 4 meses a tiempos iguales para la eficiencia eléctrica donde podemos interpretar la mayor eficiencia que produce nuestro sistema híbrido.

El sistema fotovoltaico y eólico es una de la energía más utilizada en el Ecuador para la generación de electricidad y la investigación de zonas remota, se utilizó una estación meteorológica para la interpretación de datos. (Sami & Icaza, 2015)

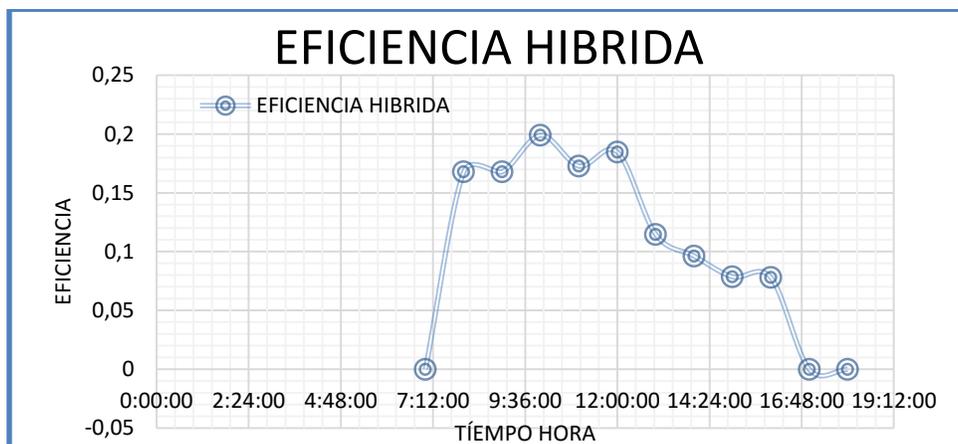


Figura 72. Curva de Eficiencia del Sistema Híbrido  
Fuente: (Sami & Icaza, 2015)

De esta manera se determinan la eficiencia del sistema híbrido depende de la potencia de salida de sistema Fotovoltaico-Eólico la cual se determina las variables  $C_p$  del aerogenerador para la mayor eficiencia del sistema por lo tanto a una  $C_p$  de 0,4 tendremos una eficiencia del aerogenerador muy elevada como se determina en la figura 73 que muestra que las pérdidas influyen en la potencia eléctrica del aerogenerador. (Sami & Icaza, 2015).

Para determinar el proceso de comparación de datos teórica y experimental se utilizaron los siguientes datos para la conversión de energía eléctrica durante un mes promedio

Los datos que se usaron fueron los siguientes para el modelo teórico y modelo experimental.

- Velocidad de viento máximo de 3-4 m/s,
- Potencia nominal 160 watos

La Figura 73 nos muestra la diferencia entre la potencia del y modelo experimental teniendo como resultado la velocidad del viento a diferentes coeficientes Betz determinando la potencia mecánica de aerogenerador la eficiencia se determina en la ecuación 9 a 12 para la potencia mecánica del aerogenerador por lo tanto el mayor impacto del coeficiente  $C_p=0,4$ .

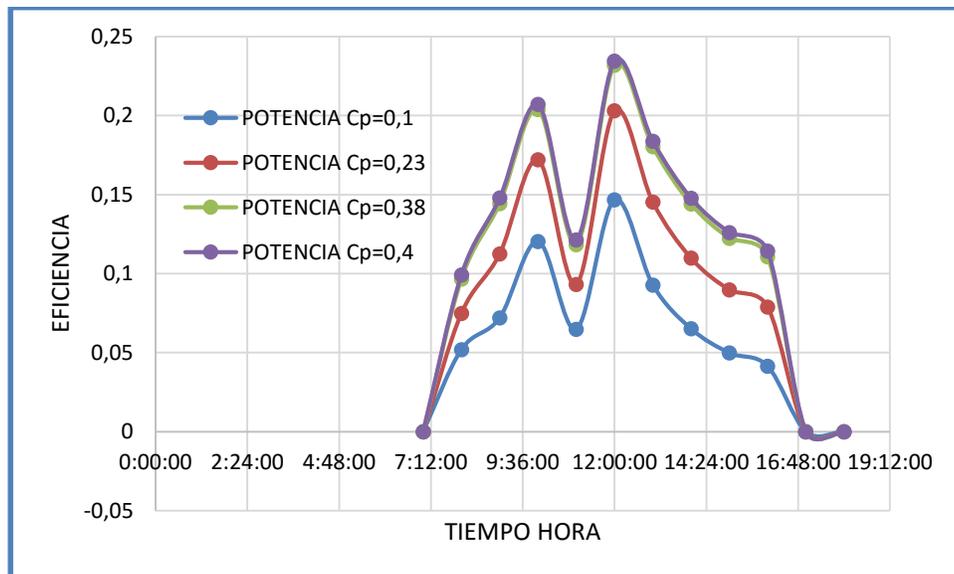


Figura 73. Curva de Potencia Mensual Agosto  
Fuente: (Autor)

### 4.3.1 Modelo teórico y experimental del sistema Híbrido.

Dando a conocer las siguientes variables para determinar el modelo experimental para encontrar la potencia máxima que puede generar el sistema híbrido para la generación de 2Kw lo cual nos referenciamos al modelo teórico de cada uno de los sistemas fotovoltaico-eólico que determina el fabricante dando el dimensionamiento conocer la potencia y eficiencia, tomaron el promedio mínimo, promedio, máximo para la figura 75-76 de potencia.

La potencia del sistema híbrido es la suma de las potencias de salida del controlador de carga de sistema eólico y el sistema fotovoltaico para determinar la potencia eléctrica que es suministrada al banco de baterías, para determinar la potencia como se muestra en la figura 74.



Figura 74. Simulación del Sistema Dinámico Fotovoltaico-Eólico vs Promedio Mensual Julio Agosto Septiembre Octubre 2017  
Fuente: (Autor)

Se considera implementar un sistema híbrido para determinar la eficiencia basándose en modelo teórico y modelo experimental como se muestra en la figura 75 dando la ecuación 29 del capítulo 3, para determinar la eficiencia eléctrica del sistema híbrido durante un tiempo de 4 meses máximo, promedio y mínimo. Dando los paneles solares fotovoltaicos una radiación diaria a  $1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)$  a una potencia de 140 (w) de salida del panel solar, la velocidad promedio de 3 m/s tenemos una potencia de 160 (w) para el ingreso al controlador y que inyecta carga al banco de baterías para la acumulación de energía de corriente continua que es convertida la corriente y el voltaje en alterna con el inversor a un voltaje 120 voltios para una potencia de 2Kw para el sistema híbrido.

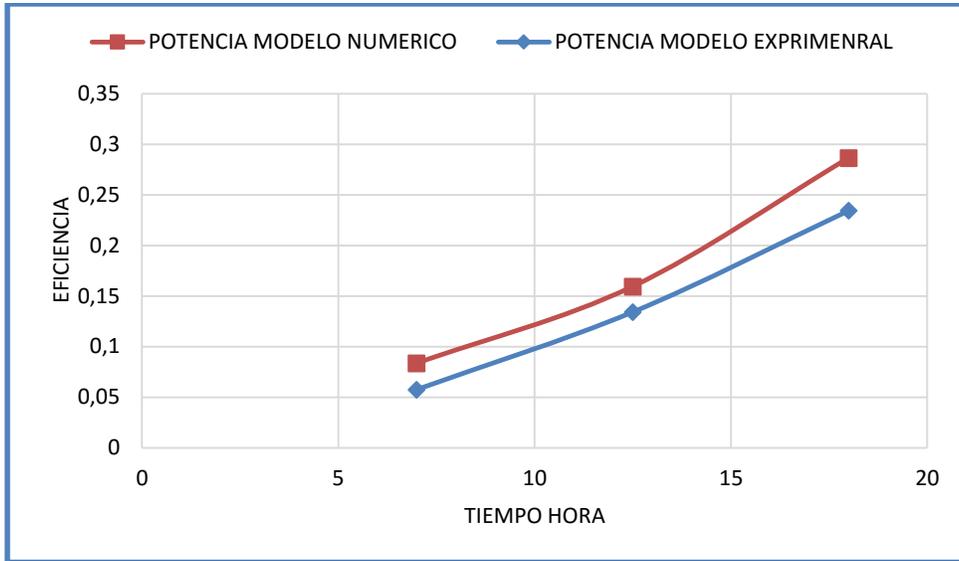


Figura 75. Curva de Eficiencia del Modelo Teórico y Modelo Experimental vs Tiempo Promedio Mensual del Mes Julio Agosto Septiembre Octubre 2017

En la siguiente figura 76 se muestra la curva de eficiencia vs radiación promedio mensual dando a establecer que la radiación tiene más impacto en el sistema híbrido. Estos parámetros del sistema híbrido construyendo un rendimiento óptimo con 2.85.

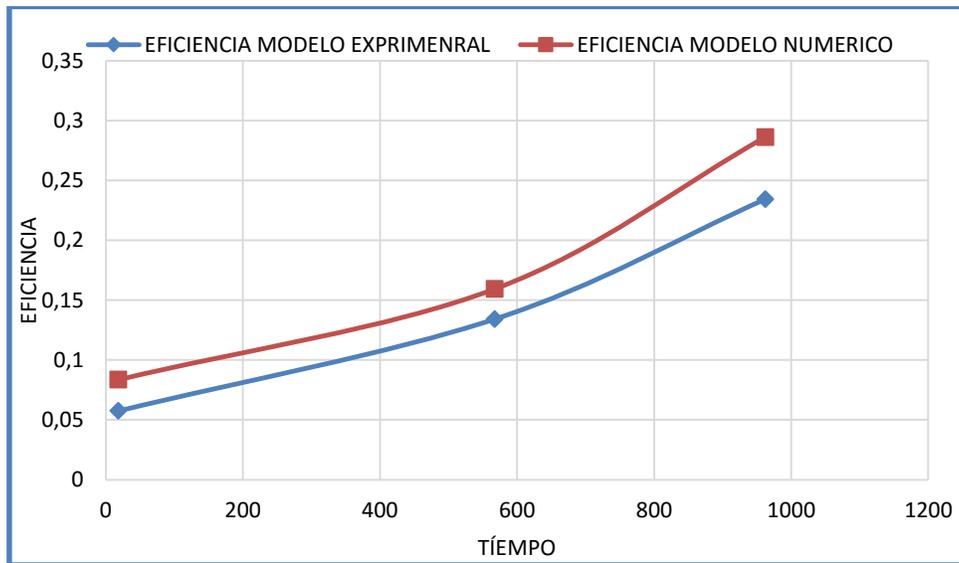


Figura 76 Curva de Eficiencia del Modelo Teórico y Modelo Experimental vs Radiación Promedio Mensual del Mes Julio Agosto Septiembre Octubre 2017

Fuente: (Autor)

## CONCLUSIONES

En el siguiente trabajo de investigación nos damos a verificar el análisis del sistema de paneles solares fotovoltaico y turbina a viento Aerogenerador para un sistema híbrido quedando plasmado todos los datos adquiridos durante 120 días con sensores de corriente y voltaje para el sistema híbrido basándose en diferente análisis y condiciones establecidas por el sistema meteorológico de HOBO U3.

La investigación se calculó las diferentes potencias de modelo Teórico y el modelo Experimental dentro de las variables del proveedor que establece para determinar la eficiencia y potencia del sistema híbrido por lo tanto la velocidad de viento máxima, promedio, mínima se obtuvo de la estación meteorológica HOBO U30 una velocidad de 3,25 m/s para el sistema de turbina a viento con una altura de 7,5 metros al nivel del suelo se debe considerar desde las 12:00 AM hasta las 23:59 PM logrando obtener la potencia deseada el aerogenerador ZH1.5. Comienza a generar energía eléctrica a partir de una velocidad de viento de 2,5 m/s para el arranque del aerogenerador, menor a esa velocidad no produce energía eléctrica.

Dando a conocer en nuestra investigación que la potencia del panel solar fotovoltaico se obtuvo una radiación máxima  $967 \text{ W/m}^2$  considerando desde las 6:00 AM hasta las 18:00 promedio diario y mensual obteniendo una potencia eléctrica de 140 vatios y una radiación  $1000 \text{ W/m}^2$  y una radiación mínima de  $0,6 \text{ W/m}^2$  que se establece en la noche, sin embargo la ventaja del Ecuador es que posee una radiación solar constante, porque se encuentra ubicado en la línea Ecuatorial la temperatura ambiente es de  $25^\circ\text{C}$  del panel solar y una temperatura monitoreada de  $24.85^\circ\text{C}$  que puede ser variable según el clima.

La conclusión del trabajo de investigación que es posible generar energía eléctrica deseada demostrando el desarrollo basado en el modelo experimental para la obtención de la potencia eléctrica suministrada por el panel solar y el aerogenerador, recopiló los datos del mes de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre. La demanda de energía y potencia eléctrica durante los 4 meses de estudio experimental es de 2kw para las energías renovables es una solución a los problemas de energía eléctrica especialmente en las comunidades Ecuatoriana alejándose de las redes de distribución eléctrica se debe tener en cuenta la parte económica que representa la implementación del sistema híbrido.

## RECOMENDACIONES

La presente trabajo de investigación tiene gran importancia la optimización de la estación meteorológica HOBO U30 que actualmente se encuentra ubicado en el Centro de Energía Renovables ya que es un datos importante para el estudio experimental y el dimensionamiento del panel solar y el aerogenerador

La medición y la recolección de datos en diferentes parámetros del sector es importante para conocer la potencia solar y eólica por lo que se debe continuar la investigación por 1 año mientras más información se analice mayor será las opciones de resultados positivos.

Para el análisis profundo de potencia del proyecto de investigación se debe tener en cuenta un software adecuado para obtener información eficaz y sensores más precisos para la recolección de datos.

Es importante conocer las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico y el sistema eólico para un sistema híbrido que tiene como principal fuente de energía el viento y la radiación solar el cual nos permite hacer la conversión de energía alternativas para las energías renovables teniendo en cuenta el factor económico.

Finalmente se recomienda un nuevo estudio de la velocidad de viento para la ubicación del aerogenerador ZH1.5 KW por lo tanto donde está actualmente ubicado el aerogenerador no produce la suficiente potencia necesaria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEJANDRO, C. R., FERNANDO, V. D., & JAIME ALEJANDRO VALENCIA, V. (2013). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Multiobjective design for a hybrid solar-wind-battery system operating in non-interconnected areas*, 86.
- Alvarez Marivela, N. (2009). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. *Proyecto de diseño, construccion y explotacion de un parque eolico*, 11. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10016/8247>
- Arevalo, F. (2015). Funcionamiento de los aerogeneradores. *SCRIBD*, 1.
- Autor. (s.f.). Estudio y Análisis Experimental de Rendimiento Dinámico del Sistema Híbrido de Fotovoltaico y Turbina a Viento hasta 2Kw.
- Baillarie, r., & paul. (2007). diseño de aerogeneradores con imanes permanentes para aplicaciones electrificación rural. *UNIVERSIDAD DE CHILE*, 19.
- bibdigital.edu. (s.f.). *Estudio del sistema híbrido (eólico-solar) de energía para iluminar y bombeo en la escuela y viviendas de la comunidad Pitur del oriente Ecuatoriano*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/163/1/CD-0184.pdf>
- CARLOS, M., & JUAN, S. (2015). MODELIZACION DE LOS AEROGENERADORES DE IMAN PERMANENETESS Y SU CONTROLADOR . *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALECIANA SEDE CUENCA*, 13.
- Cata, J., & Rodriguez, F. (Mayo 2015). ANALISIS MATEMATICO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO DE SILICIO. *UNIVERSIDA POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL*, 26.
- CER. (2017). UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA. *CENTRO DE ENERGIA RENOVABLES* .
- CO..LTD, Y. Z. (2015). *OPERATING INSTALLATION MANUAL*. Obtenido de [Info@windgenerator.cn](mailto:Info@windgenerator.cn)
- Cristian, G., Sergio, P., Julio, M., & Guillermo, W. (2008). Simulaciones numéricas de la aerodinámica no estacionaria. *Primer Congreso Argetino de Ingenieria Mecanica*, 7.
- D.H.Pontoriero, D.H. Molina, M.G., & P.E. Mercado. (2009). EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE GENERACION HIBRIDA SOLAR-EOLICA EN LA PROVINCIA DE SANGUAN - ARGENTICA. *XIII ERIAC DECIMO TERCEROENCUENTRO REGIONAL IBERO AMERICANO DE CIGRE*, 5.
- DIVERTEKA. (2017). *DIVERTEKA EL SISTIO DE LOS TECNO-FREAKS*. Obtenido de Control de consumo eléctrico con Arduino (1) : <http://www.diverteka.com/?p=1966>

- Energías Renovables*. (2017). Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- GeoDatos. (Enero de 2018). *Coordenadas geográficas de Cuenca, Azuay, Ecuador*. Obtenido de <https://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/azuay/cuenca>
- Gortz, S. (2017). UNIVERSITET, UMEA, . *Battery energy storage for intermittent renewable electricity production*, 11.
- Gridiushko, A. (2015). USING SOLAR PANELS IN RESIDENTIAL BUILDINGS. *MAMK (University of Applied Sciences)*.
- Henrys, B. (2017). Obtenido de capnfatz@gmail.com: <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-voltage-measurements/arduino-25v-voltage-sensor-module-user-manual/>
- HERRERA, V. (2011). SISTEMA HIBRIDO EOLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPAL DE BAÑOS DE AGUA SANTA. *UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA*, 56.
- Icaza, D. (2017). Modeling, simulation and construction of the D-ICAZA-A1 wind turbine destined for the rural areas of Ecuador. *Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America ) IEEE*.
- INES, M. C. (2016). MODELIZACION POR ELEMENTOS FINITOS DE PARQUE EOLICO. *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID*, 34.
- Inst, P. (2017). *PCE- iberica*. Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-radiacion/medidor-radiacion-pce-spm1.htm>
- Kellogg, W., Nehrir, M., G, V., & V, G. (1998). GENERATION UNIT SIZING AND COST ANALYSIS FOR STAND-ALONE WIND, PHOTOVOLTAIC, AND HYBRID WINDPV SYSTEMS. *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998*, 71.
- KUMAR, S. (2017). MODELING AND SIMULATION OF HYBRID WIND/PHOTOVOLTAIC STAND-ALONE GENERATION SYSTEM. *NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY*, 34.
- LANDINO PERALTA, R. (2011). LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FACTOR DE DESARROLLO EN LA ZONAS RURALES DE COLOMBIA. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA* , 56.
- LLamas, L. (2018). *Ingeniería, informática y diseño*. Obtenido de SENSOR DE CORRIENTE ELÉCTRICA NO INVASIVO CON ARDUINO Y SCT-013: <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-corriente-sct-013/>
- LLamas, L. (2018). *Ingeniería, informática y diseño*. Obtenido de MEDIR VOLTAJES DE HASTA 25V CON ARDUINO Y FZ0430: <https://www.luisllamas.es/medir-voltajes-de-hasta-25v-con-arduino-y-fz0430/>

- Lopez, D. R. (2007). Dimensionado y control optimo de sistema hibrido aplicando algoritmos evolutivos. *Dialnet*, 1.
- M, M., M, S., & C, A. (2012). Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar. *SciVerse ScienceDirect*, 4.
- Martinez, M. (2017). *Economia de la Energia; energia solar y otro tipo de energia*. Obtenido de <http://www.economiadelaenergia.com/2011/05/torre-para-aerogenerador/>
- Mechatronics, H. t. (2018). *How to Mechatronics*. Obtenido de Arduino y DS3231 Tutorial de reloj en tiempo real: <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-ds3231-real-time-clock-tutorial/>
- MECHATRONICS, N. (2017). *Tutorial sensor de corriente ACS712*. Obtenido de [http://www.naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)
- Mendes, M., & Cruz, D. (20). MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANALISES EM ELETRONICO DE POTENCIA VIA SIMULACAO. *Universidad Federal de Santa Catarina*, 2.
- Monitor, A. O. (2015). *Sensores CT - Interfaz con un Arduino*. Obtenido de <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino?redirected=true>
- MORA, R. (2008). DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRICO FOTOVOLTAICO PARA UNA COMUNIDAD AISLADA. *UNIVERSIDAD DE COSTA RICA* , 59.
- Moran, I., & Kleber, L. (2015). Diseño e iluminacion de un sistema de iluminacion fotovoltaica de respaldo para los laboratorios de electronica de potencia y control automatico. *UNIVERSIDA POLITECNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL*, 40.
- Moreno, M. (Mayo de 2007). *blogspot.com*. Obtenido de <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.com/>
- Neira, R., & V. M. (2014). estudio de factibilidad de generacion electrica mediante la energia eolica y energia solar fotovoltaica para el sector de GARAUZHI de la parroquia QUINGEO perteneciente a la ciudad de CUENCA. *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA*, 42.
- Onset. (16 de FEBRERO de 2017). *Onset*. Obtenido de HOBOWare Free Download: <http://www.onsetcomp.com/hoboware-free-download>
- PATTNAIK, D. M. (2015). MODELING AND SIMULATION OF HYBRID WIND/PHOTOVOLTAIC STAND-ALONE GENERATION SYSTEM. *NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY*.
- Pino Vergara, W. B. (2015). " ANALISIS Y PARAMATRIZACION DE UN AEROGENERADOR MICRO-EOLICO PARA LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA ". *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA* , 10.

- Pontoriero, D., Marcelo, G. M., & P.E, M. (2009). EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE GENERACIÓN HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN. *Comité de Estudio C6 - Sistemas de Distribución y Generación Dispersa*, 6.
- Sami, S., & Garzon, J. P. (2017). International Journal of Current Research. *THERMAL ANALYSIS OF BIOMASS/ GAS TURBINE AND WIND TURBINE HYBRID SYSTEM FOR ELECTRICITY GENERATION AND DISTRICT HEATING*, 2.
- Sami, S., & Icaza, D. (2015). Numerical Modeling, Simulation and Validation of Hybrid Solar Photovoltaic, Wind turbine and Fuel Cell Power System. *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy (JTIRE)*, 1-17.
- Sami, S., & Marin, E. (2017). Simulation of Solar Photovoltaic, Biomass Gas Turbine and District Heating Hybrid System. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research, IJSEER*, 1-22.
- Sami, S., & Rivera, J. (2017). A Predictive Numerical Model for Analyzing Performance of Solar Photovoltaic, Geothermal Hybrid System for Electricity Generation and District Heating. *Universidad Catolica de Cuenca*.
- Sensor, 2. S. (2017). *ebay*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/1-pcs-2mA-Single-Phase-AC-Arduino-Voltage-Sensor-Active-Module-Board-SG-/112622682068>
- SUMANO, J. (2012). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO FOTOVOLTAICO . *UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE LA MIXTECA*, 44.
- TECNIELECTRICA. (2017). FCE. *tESLA ACTUALIZA SU PATENTE PARA RECARGA DE BATERIA DE METAL-AIRE*.
- UniSource. (2018). *Estacion Meteorologica HOBO U30*. Obtenido de <http://unisource.cl/estaciones-meteorologicas-autonomas-ema/>
- VIDA, E. A. (2015). *Estadísticas Arconel 2015*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>

**ANEXO 1: FOTOGRAFIAS DE LA ESTACION METEOROLOGICA HOBO U3 UBICADO EN EL CENTRO DE ENERGIA RENOVABLE (CER) DE LA UNIVERSIDA CATOLICA DE CUENCA LOCALIZADO EN LA CIUDAD DE CUENCA**

*(CER, 2017)*



*Ilustración 1. Centro de Energía Renovables (CER) Ubicación BASILICA  
Fuente: (Autor)*



*Ilustración 2. Panel Solar Fotovoltaico de 140w  
Fuente (CER, 2017)*



*Ilustración 3. Soporte de los Sistema Meteorológico y Aerogenerador  
Fuente (CER, 2017)*



*Ilustración 4. Laboratorio Interno de los Diferentes Componentes de Energías Renovables.  
Fuente (CER, 2017)*



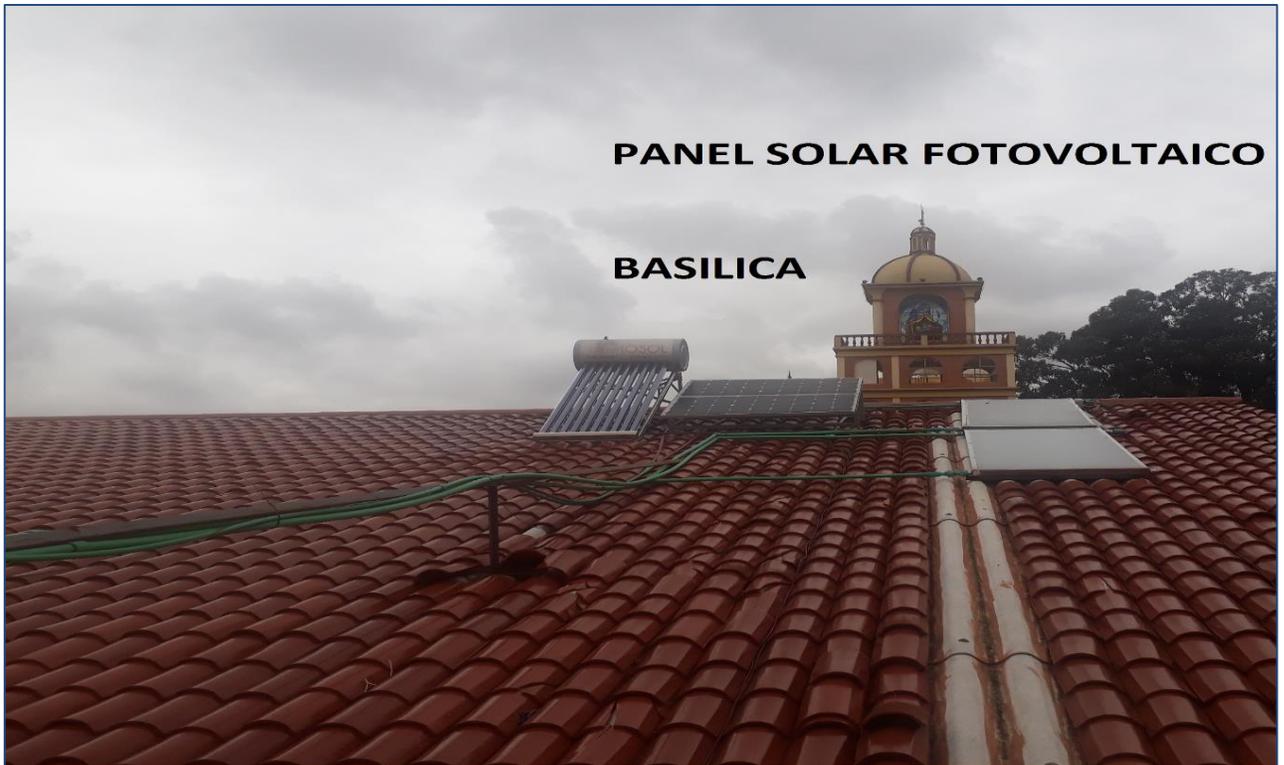
*Ilustración 5. Implementación de los Diferentes Tipos de Sensores al Laboratorio de Energías  
Renovable.  
Fuente (CER, 2017)*



Ilustración 6. Instalación de los Sensores de Medición.  
Fuente (CER, 2017)



Ilustración 7. Sistema Meteorológico de Medición de Clima para la Recopilación de Datos de Radiación Solar y Fotovoltaico  
Fuente (CER, 2017)



*Ilustración 8. Ubicación del Panel Solar y aerogenerador a la Altura del Techo de la Universidad Católica de Cuenca a una Distancia de 8 Metros a Nivel del Suelo  
Fuente (CER, 2017)*

## ANEXO 2: TECHNICAL DATA SHEET (SM636-120W)

# TECHNICAL DATA SHEET

## SM636-120W, SM636-130W, SM636-140W



### Technical Data

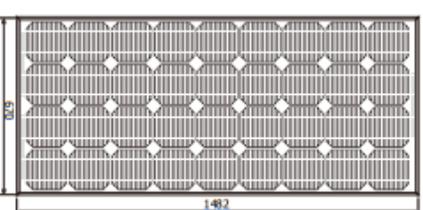
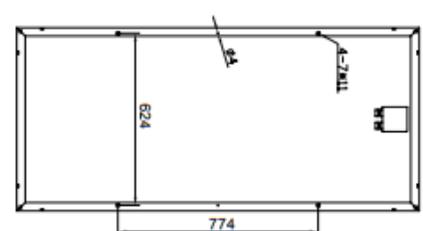
Type	SM636-120, SM636-130W, SM636-140W		
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm		
Number of Cells	36 pcs		
Size of module	1482×670×35mm ( 156×156mm cell)		
Module, Weight	12 kg		
Connector / Cross-Section	CMI Rehe, TOP		
Cables, Length (+/-)	Customizable		
Front Cover Glass	Safety Glass		
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm		
Frame	Anodized Aluminium		

### Electrical Data

Maximum Power	$P_{mp, stc}$	120 W	130 W	140 W
Power Tolerance	$\Delta_{stc}$	± 2%	± 2%	± 2%
Maximum Power Voltage	$U_{mp, stc}$	17.7 V	17.8 V	17.8 V
Maximum Power Current	$I_{mp, stc}$	7.14 A	7.43 A	7.78 A
Open Circuit Voltage	$U_{oc, stc}$	21.7 V	21.8 V	22.1 V
Short Circuit Current	$I_{sc, stc}$	7.57 A	7.85 A	8.25 A
Module Efficiency	$\eta_{stc}$	12.10%	13.10%	14.10%
Maximum System Voltage	$U_{sc}$	1000 V	1000 V	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C; Wind 0 m/s

### Temperature Coefficients

Power Coefficient	$\alpha_p (P_{mp})$	- 0.45 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_v (U_{oc})$	- 0.35 %/K
Current Coefficient	$\phi_i (I_{sc})$	0.065 ± 0.015 %/K

### Power Warranty

- 10 years performance warranty to 90 %
- 25 years performance warranty to 80 %
- 10 years warranty against production and material defects

### Certifications

IEC 61215, IEC 61730, TÜV, CE, ISO9001:2000

Sitmax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd      Add:beihangjing riverside,suzhou road,laikang city,jiangsu province,China

Tel: +86 – 512 – 53378555      Fax: +86-512-53378556

Url: www.sitmaxsolar.com      Email: info@sitmaxsolar.com      jacky@sitmaxsolar.com






Figura 77. Datos de Proveedor Para el Modelo Teórico (TECHNICAL DATA SHEET SM636-120W).

# ANEXO 3: OPERATING & INSTALLATION MANUAL (ZH1.5kw wind turbine system)

## Operating & Installation Manual

### (ZH1.5kw wind turbine system)

**Company Name:** YUEQING TOHMAN WINDPOWER CO.,LTD.  
**Address:** NO.195,Chengyi Road,Tuocheng,Yueqing,Zhejiang P.R.China  
**Zip Code:** 325600  
**Tel:** 86-577-42529220  
**Fax:** 86-577-42529221  
**E-mail:** info@windgenerator.cn

\*\*Please read carefully before use\*\*

### 1. Wind Turbine

Uses wind energy to generate electricity to charge storage batteries or to connect directly to an inverter.

The inverter converts the DC (Direct Current) from the wind turbine controller and/or the batteries in to AC (Alternating Current). The AC electricity produced is then feed into the properties mains supply to reduce power taken from the utility supplier.

### 2. Components and main technical performance

The turbine is comprised of: Nose Cone, Blades\*3PCS, Hub, Generator, Rotor, Tail Rod, Tail Vane, Tower & Accessory.

Rotor Diameter	3.2mils	
Material and number of the blades	3 x reinforced fiber glass	
Rated power/maximum power	1.5KW / 1.8 kW	
Rated wind speed	9m/s	

Figura 78. OPERATING & INSTALLATION MANUAL (ZH1.5kw wind turbine system)

Startup wind speed	2.5 m/s
Working wind speed	3.25 m/s
maximum wind speed	50 m/s
Working voltage	DC24/48V (higher voltage optional)
Generator type	three phase, permanent magnet
Charging	Constant voltage
Speed regulation method	Autobid
Tower height	12m/s
Life time	10-15years

### 3. Preparation

- 3.1 If batteries are used, carry out charging according to the manufacturer's recommendations.
- 3.2 Unpack and check the turbine parts.
- 3.3 Select an open flat area for installing the wind turbine and away from any trees or other buildings.
- 3.4 To avoid power loss, the distance between the wind turbine and batteries should be kept as short as possible, preferably less than 30mts.

### 4. Installation Specification of Guyed Tower

#### 4.1 Choosing Installation Sites

The wind turbine should be erected high and far away from obstacles as possible in order to get relatively high wind speed. Meanwhile soil quality of installation location should be taken into consideration. Loose sand, uneven or

**1.5kw cast aluminum wind turbine test result**

Rotate Speed(r/min)	VDC	Amp	WATT
145	28	4.6	128.8
188	28	11.6	324.8
219	28	19.2	537.6
255	28	25.7	719.6
282	28	31.2	873.6
303	28	36.1	1010.8
331	28	41.7	1167.6
361	28	47.4	1327.2
404	28	53.1	1486.8
457	28	58.9	1649.2
501	28	65.1	1822.8

**OLD 1KW WIND TURBINE TEST RESULT**

Rotate Speed(r/min)	VDC	Amp	WATT
195	28	6.4	179.2
210	28	9.3	260.4
225	28	14.8	414.4
240	28	20.9	585.2
264	28	31.2	873.6
395	28	35.9	1005.2
450	28	40.3	1128.4
508	28	51.7	1447.6

The 1.5kw cast aluminum wind turbine starts to charge at 145RPM.

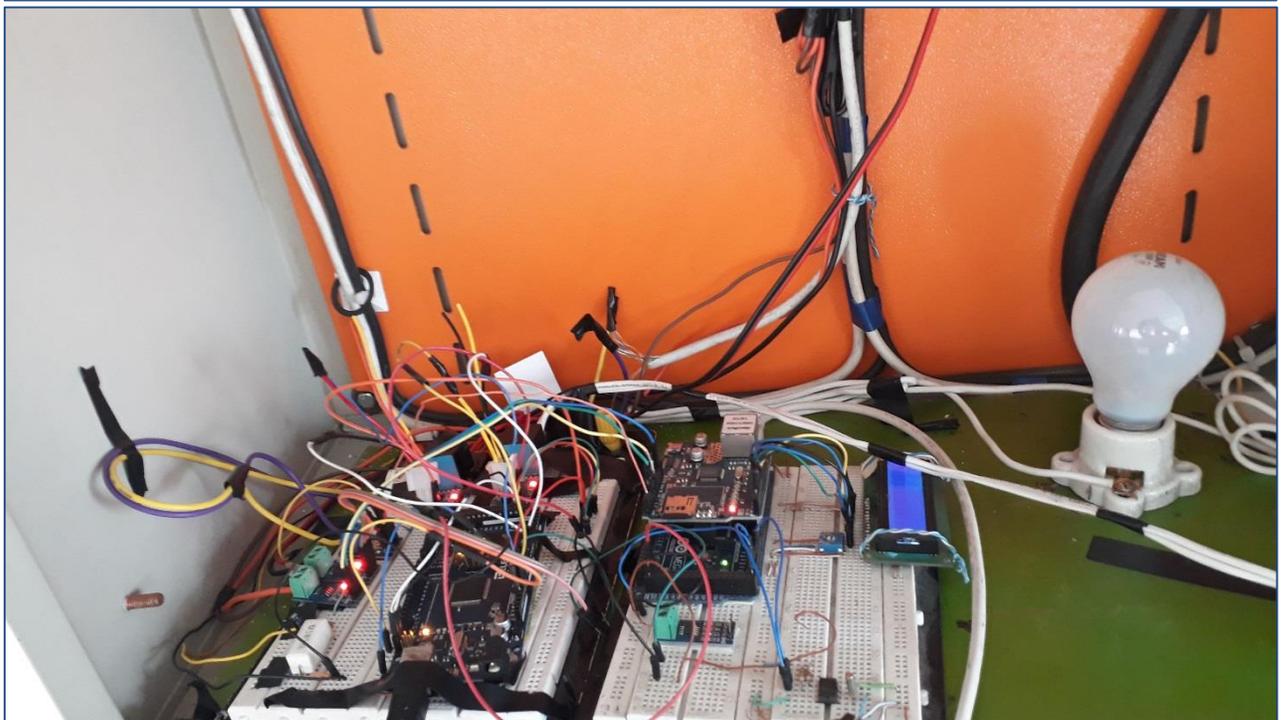
The old 1kw wind turbine starts to charge at 195RPM.

At 331RPM, it could put out 1010.8watt, but the old 1kw wind turbine puts out 1005.2watt at 450RPM. It is 119RPM different.

The 1.5kw cast aluminum wind turbine puts out 1649.2watt at 501RPM. The old 1kw wind turbine could just put out 1128.4watt at 508RPM.

Figura 79. Datos de velocidad de viento en (r/min). Wind Turbina Fuente (Autor)

**ANEXO 4: FOTOGRAFIA DE LA INSTALACION DE LOS DIFERENTES COMPONENTE DE LOS SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICO Y TURVINA A VIENTO EOLICA**



*Ilustración 9. Instalación de los Sensores de Corriente y Voltaje Continuo  
Fuente (Autor)*

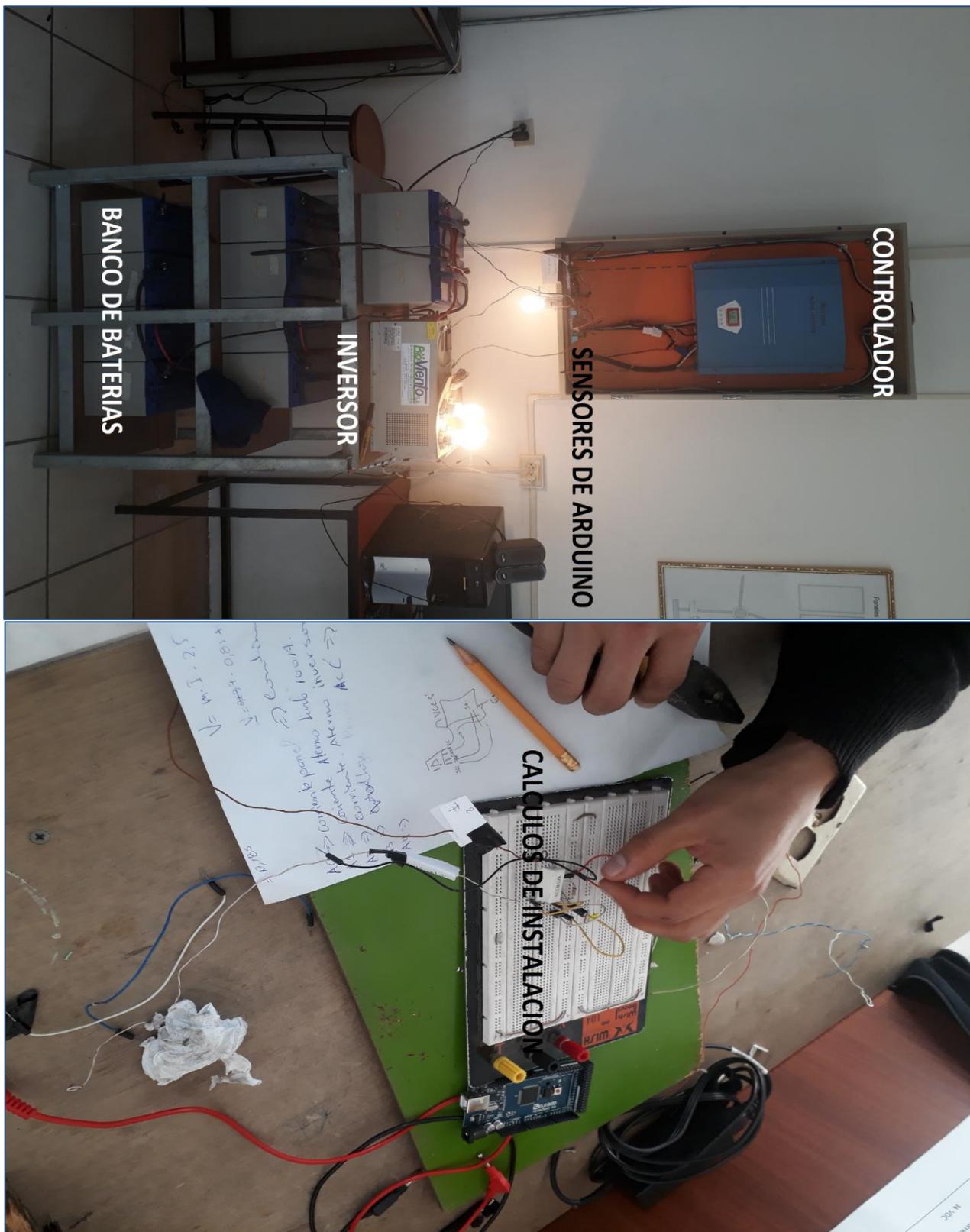
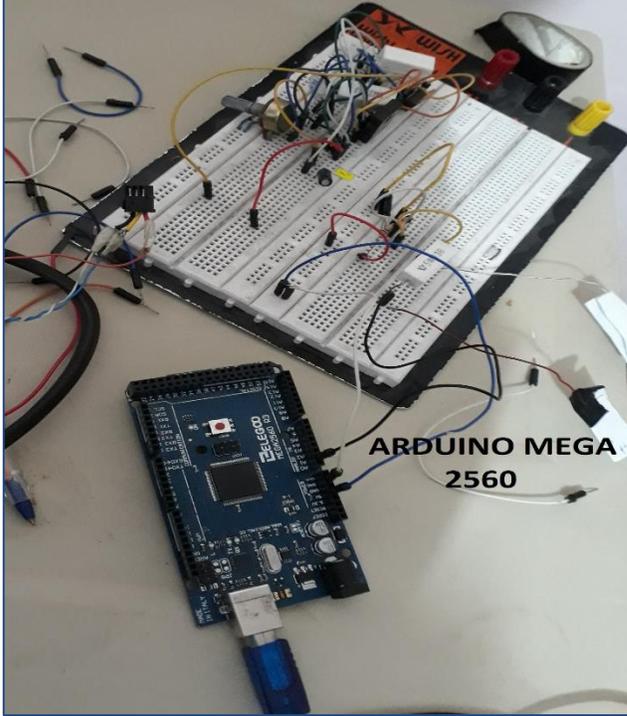
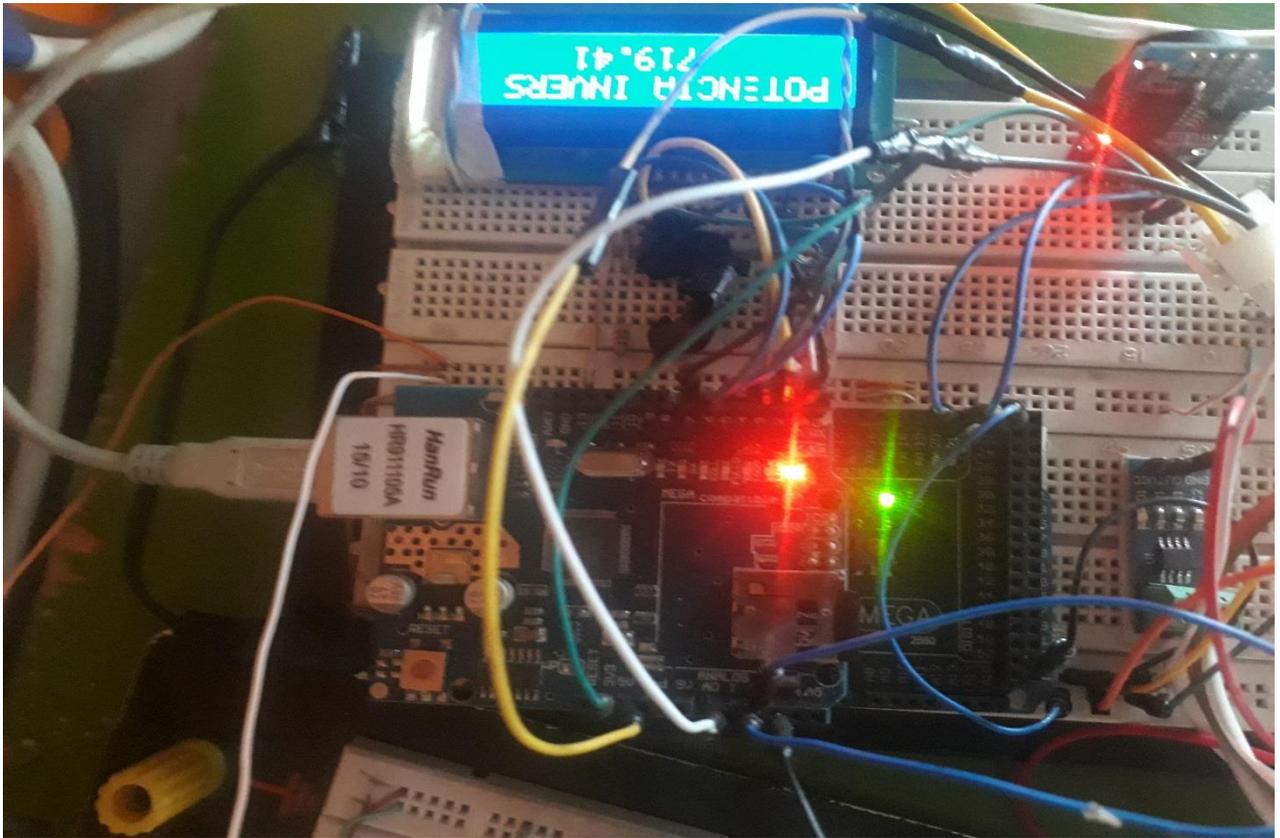
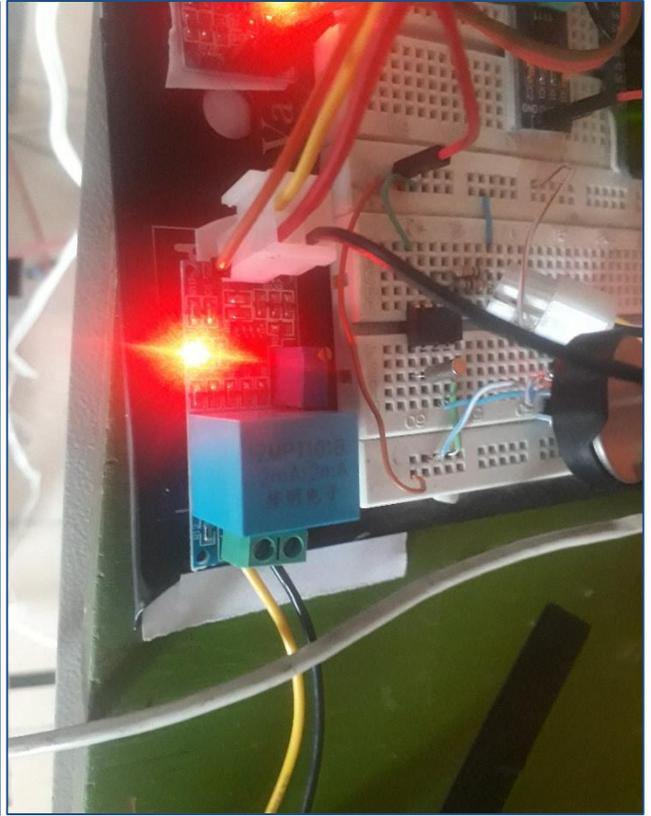


Ilustración 10. Sistema Híbrido (Fotovoltaica- Turbina a Viento).  
Fuente (Autor)

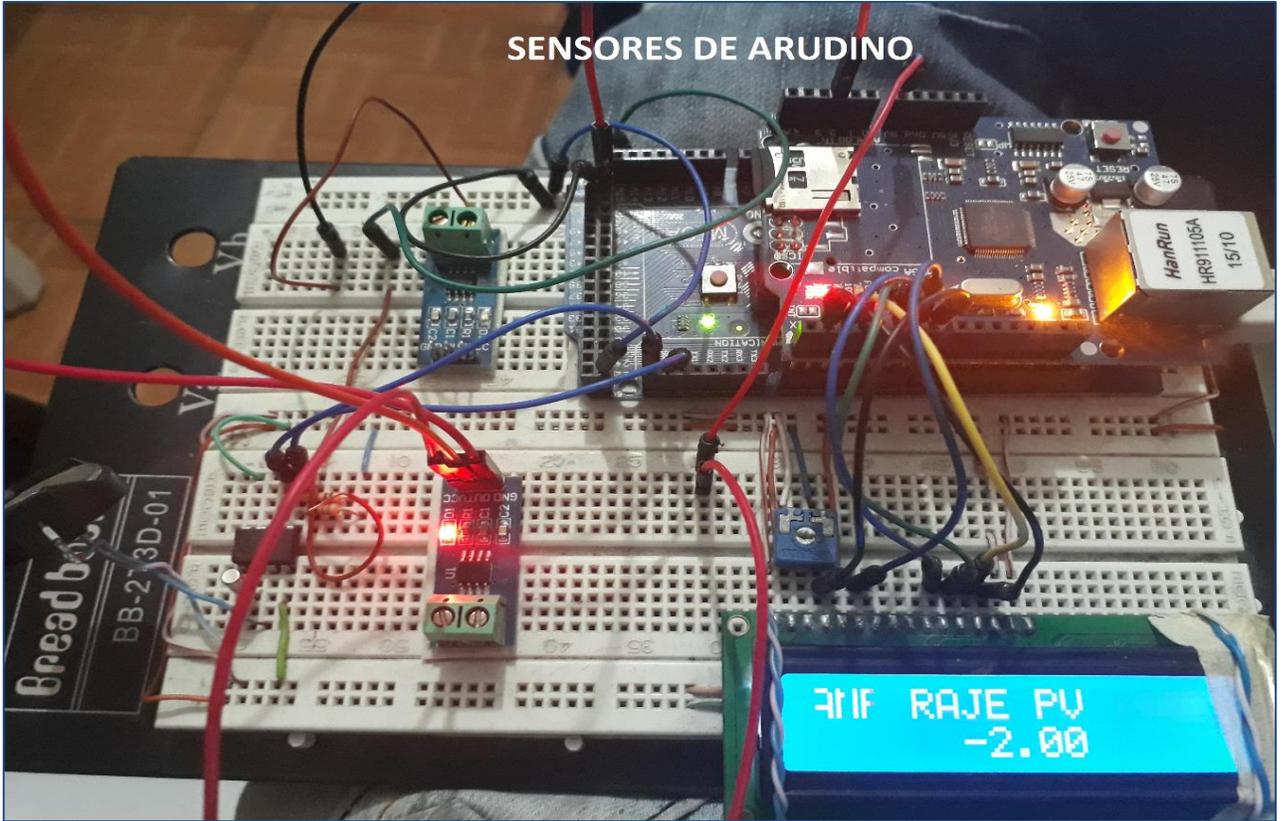
**REGULADOR DE VOLTAJE  
120 VOLTIOS A 12 VOLTIOS**



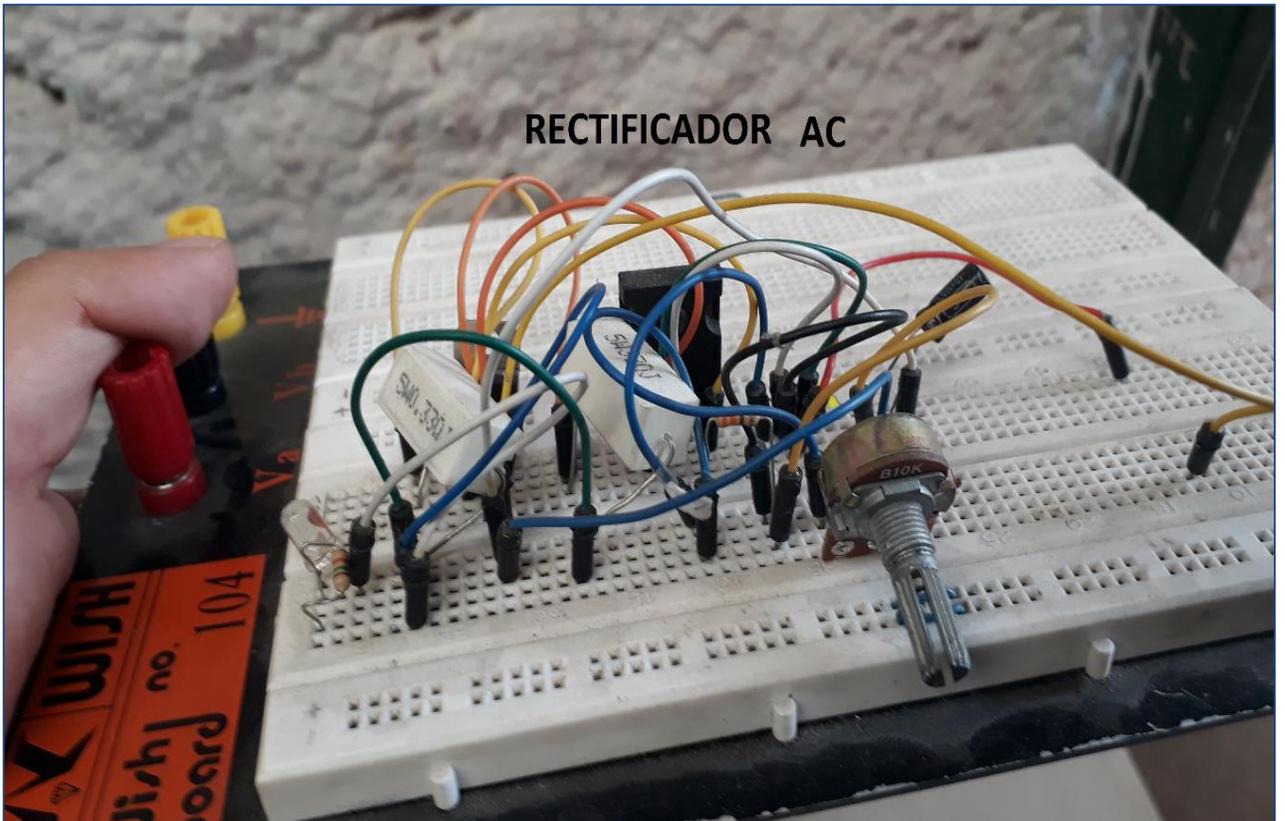
**ARDUINO MEGA  
2560**



### SENSORES DE ARUDINO



### RECTIFICADOR AC



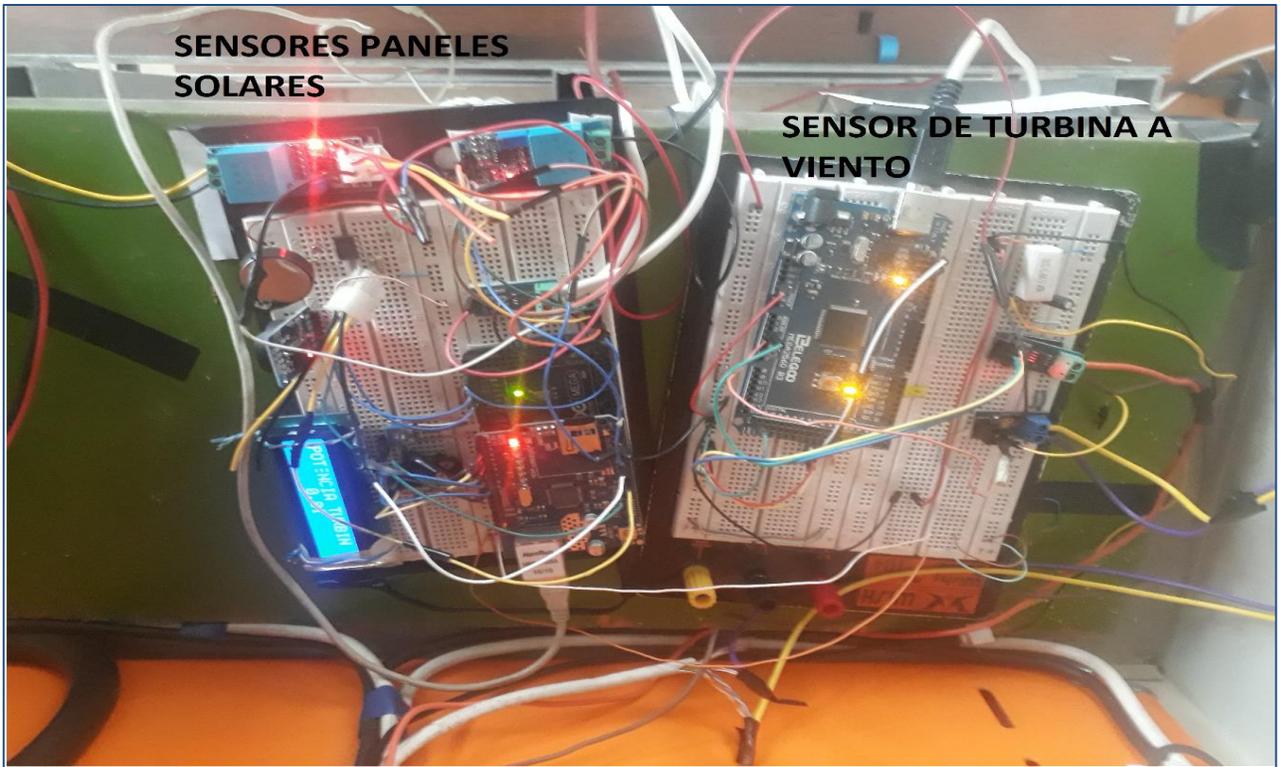


Figura 80. Sensores de Mediciones para el Sistema Hibrdo  
Fuente (Autor)

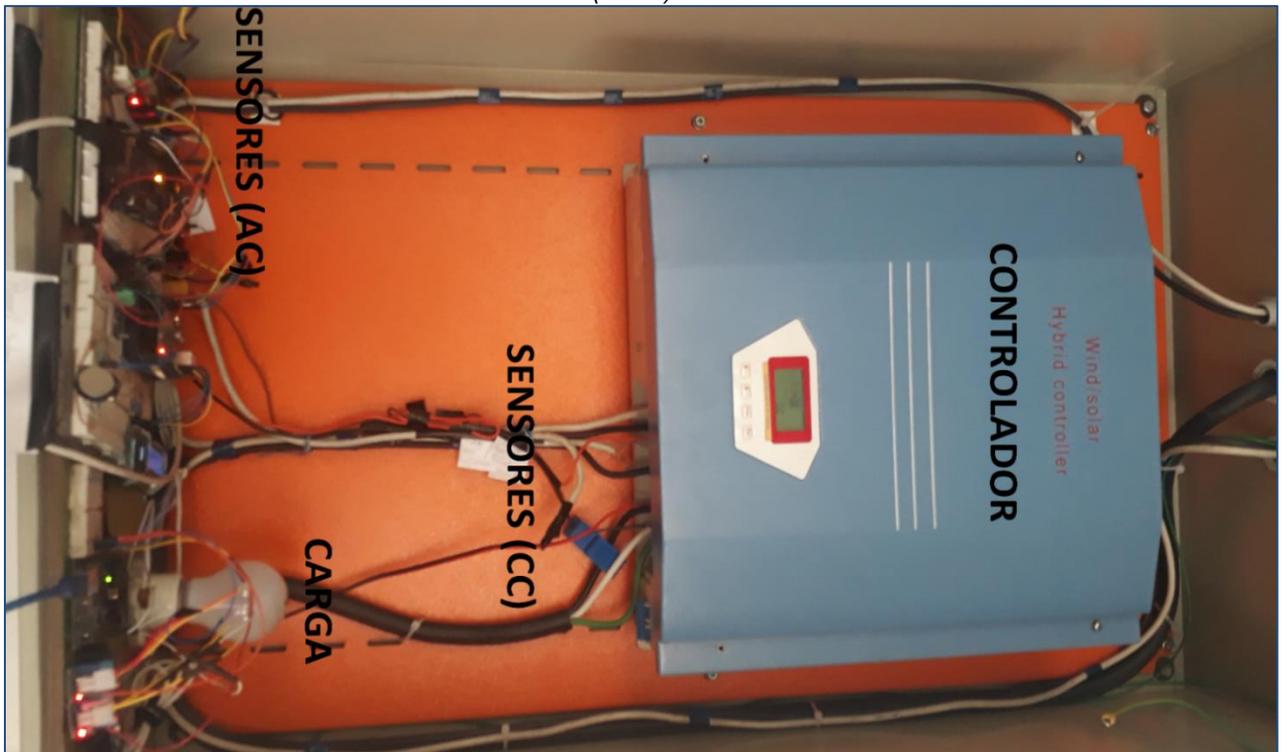
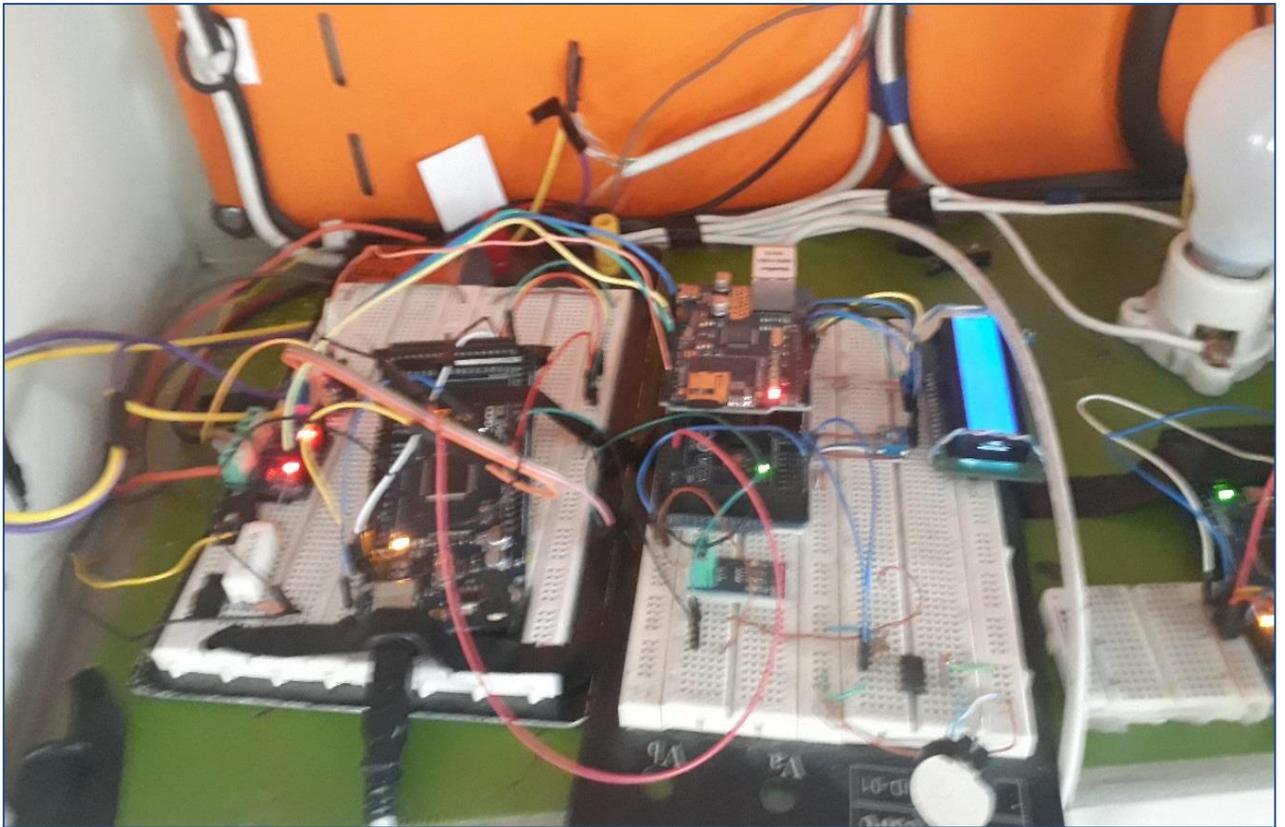
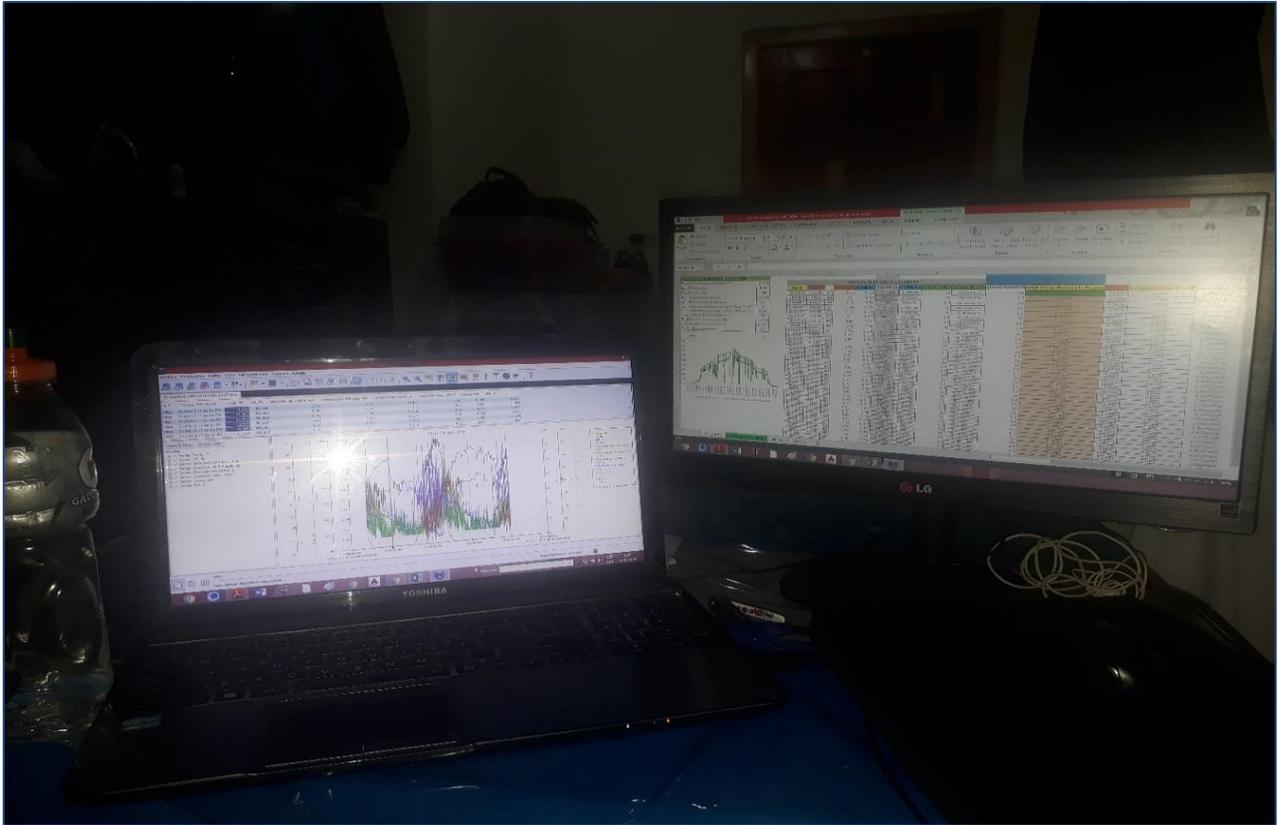


Ilustración 11. Sensores de Medición AC-DC para el Sistema Hibrdo con Carga.  
Fuente (Autor)



# ANEXO 5: HOJA DE ESPECIFICACIONES ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOBO

21/11/2017

Weather Station Starter Kit: HOBO U30-NRC-SYS-B by Onset

## ONSET

**Status:** Onset will be closing at 2pm on Wednesday, Nov. 22nd and remain closed on Nov. 23rd & 24th in observance of the Thanksgiving holiday. Orders and requests submitted after 1pm (ET) on Wednesday may not be processed or confirmed until Monday, Nov. 27th. We wish you a safe and happy holiday!



### HOBO U30 USB Weather Station Starter Kit

15 Channel Weather Station      Part # U30-NRC-SYS-C

Price includes surcharge to cover US government-imposed duties on solar panels. Tripod Sold Separately.

### Overview

The HOBO Weather Station Starter Kit combines our most rugged data logging weather station with out-of-the-box convenience.

The U30/NRC accepts up to 10 plug-and-play Smart Sensors. Just plug in your sensor and it's automatically recognized – no programming, wiring or calibration necessary. With this kit you can measure temperature, relative humidity, wind speed/direction. Simply select the HOBO Weather Station starter system and your choice of either a 2-Meter or 3-Meter Tripod Kit and go!

Software ordered separately. Compatible with HOBOWare and HOBOWare Pro software for logger setup, graphing and analysis.

### Highlighted Features

- HOBO U30 NRC data logger with 10 inputs (U30-NRC-000-10-S100-000 )
- 3W Solar Panel - SOLAR-3W
- Temperature/RH Smart Sensor with 2-meter cable - S-THB-M002
- Wind Speed Smart Sensor with 3-meter cable - S-WSB-M003
- Wind Direction Smart Sensor with 3-meter cable - S-WDA-M003
- Full Crossarm for Wind Speed/Direction sensors - M-CAA
- Solar Radiation Shield for Temperature & RH sensor - RS3-B

### In what environment does this kit operate?

This kit operates in an outdoor environment.

### What measurements does this kit support?

The U30-NRC-SYS-C kit supports the following measurements: Barometric Pressure, Leaf Wetness, Light Intensity, Rainfall, Relative Humidity, Soil Moisture, Temperature and Wind

[www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com) • 1-800-LOGGERS (564-4377)

<http://www.onsetcomp.com/products/kits/u30-nrc-sys-c#>

1/3

---

## Detailed Specifications

### HOBO U30 USB Weather Station Starter Kit

**HOBO U30 NRC:** see specifications

**3W solar panel:** see specifications

**Temperature/RH Smart Sensor with 2-meter cable:** see specifications

**Wind Speed Smart Sensor with 3-meter cable:** see specifications

**Wind Direction Smart Sensor with 3-meter cable:** see specifications

**Full Cross-arm for wind speed/direction sensors:** see specifications

**Solar radiation shield for temperature & RH sensor:** see specifications