



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“Simulación Dinámica de Sistema Híbrido (Pila Combustible PEM
y Panel Solar Fotovoltaico) para una vivienda tipo de hasta 1200
Wh/día”**

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

AUTOR: MARÍN CALLE EDWIN SANTIAGO

DIRECTOR: Dr. Samuel Sami-Howard

CUENCA

2017

DECLARACIÓN

Yo, Edwin Santiago Marín Calle, 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.

Edwin Santiago Marín Calle

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edwin Santiago Marín Calle, bajo mi supervisión.

Dr. Samuel Sami-Howard

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo dedico con todo mi corazón a mis padres Manuel y Beatriz, a mi hermana Liseth que, con todo su apoyo, su cariño y la paciencia han sido el pilar fundamental para que hoy cumpla esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por darme la capacidad y las fuerzas para culminar mi carrera en este arduo camino de mi vida, a mi querido Papá que con cada una de sus palabras me da siempre un consejo y ganas de seguir adelante, a mi querida Mamá que siempre está presente en cada día de mi vida, a mi hermana que más que mi hermana le considero mi primera y mejor amiga de toda la vida.

Como olvidarme de mis abuelos, mis abuelas, tíos y primos quienes en el transcurso de mi carrera supieron comprenderme por el esfuerzo realizado.

Un agradecimiento al Centro de Investigación en Energías Renovables de la Universidad Católica de Cuenca por facilitarme los equipos y sus instalaciones para realizar este Trabajo Investigativo.

Y por último quiero agradecer de manera muy especial a mi director de tesis Dr. Samuel Sami-Horward, quien con sus conocimientos y su tiempo supo guiarme para la conclusión de esta Tesis.

Tabla de contenido

DECLARACIÓN	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
Tabla de contenido.....	VI
Tabla de figuras.....	IX
Tabla de Ilustraciones.....	XIV
Tablas.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XX
1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1. Sistema panel solar fotovoltaico.....	1
1.1.1. Radiación solar.....	2
1.1.2. Celda fotovoltaica.....	4
1.1.3. Panel fotovoltaico.....	5
1.1.4. Tipos de paneles solares fotovoltaicos.....	5
1.1.5. Sistema de almacenamiento (baterías solares).....	7
1.2. Sistema pila combustible.....	8
1.2.1. Reseña historia de la pila de combustible.....	8
1.2.2. Tipos de pila de combustible.....	10
1.2.3. Aplicaciones de la pila de combustible.....	16
1.3. Sistema híbrido de generación eléctrica.....	20
1.3.1. Clasificación de los sistemas híbridos de generación eléctrica.....	21
2) ANTECEDENTES DE LAS COMUNIDAD MAWKA LLAKTA.....	23
2.1 Situación actual comunidad.....	23
2.2 Justificación.....	26
2.3 Objetivo general.....	29
2.4 Objetivos específicos.....	29
3) MODELADO DINÁMICO DEL SISTEMA HIBRIDO PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO Y PILA DE COMBUSTIBLE.....	30
3.1 Sistema de panel solar fotovoltaico.....	30

3.2	Modelo teórico del sistema de pila de combustible PEM.	32
3.3	Modelo de controlador de carga.	35
3.4	Modelo de carga y descarga de la batería.	35
3.5	Modelo de inversor.	36
3.6	Eficiencia del sistema hibrido.	36
4)	RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO Y PILA DE COMBUSTIBLE.	37
4.1	Resultados de la simulación dinámica del sistema panel solar fotovoltaico. 39	
4.1.1	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.	39
4.1.2	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.	43
4.1.3	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.	53
4.1.4	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas en distintos periodos de tiempo.	59
4.2	Resultados de la simulación dinámica del sistema pila de combustible.	62
4.2.1	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.	63
4.2.2	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.	67
4.2.3	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.	78
4.3	Resultados de la simulación dinámica del sistema hibrido.	85
4.3.1	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.	85
4.3.2	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.	86
4.3.3	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.	90
4.3.4	Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas en distintos periodos de tiempo.	92
4.4	Validación de resultados experimental con el sistema junior basic j101 del Centro De Investigación en Energías Renovables (Cer) de la Universidad Católica De Cuenca.	95

4.4.1	Sistema para la recolección de datos del sistema Junior Basic J101 del CER.	98
4.4.2	Panel solar fotovoltaico del sistema Junior Basic J101 del CER.....	100
4.4.3	Pila de combustible del Sistema Junior Basic J101 del CER.	106
4.4.4	Sistema hibrido del sistema Junior Basic J101 del CER.	111
CONCLUSIONES.....		113
RECOMENDACIONES.....		114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.		115
ANEXOS.....		119

Tabla de figuras.

Figura 1. Insolación Global Ecuador – Periodo Diario Multianual (kWh/m ²) Serie 1986-1998	3
Figura 2. Juntura N-P en Equilibrio	4
Figura 3. Célula Fotovoltaica con Carga Eléctrica.....	5
Figura 4. Fuel Cell of Sir William Robert Grove.....	10
Figura 5. Diagrama de Pila de Combustible Alcalina	12
Figura 6. Diagrama de Pila de Combustible de Membrana de intercambio de protones ...	13
Figura 7. Diagrama de Pila de Combustible de metanol directo	14
Figura 8. Diagrama de Pila de Combustible de ácido fosfórico	15
Figura 9. Diagrama de Pila de Combustible de carbonato fundido.....	15
Figura 10. Diagrama de Pila de Combustible de óxido sólido.....	16
Figura 11. Diseño básico de un Sistema Hibrido de Generación Eléctrica	21
Figura 12. Diagrama topología serie.....	21
Figura 13. Diagrama Topología Paralelo con Acoplamiento en CD	22
Figura 14. Diagrama Topología Paralelo con Acoplamiento en CA.....	22
Figura 15. Trayectoria desde la Ciudad de Cuenca hasta la Ciudad de Puyo	24
Figura 16. Mapa de las Comunidades de Sarayaku Noviembre de 2013	25
Figura 17. Diagrama de componentes básicos de un sistema hibrido	37
Figura 18. Diagrama de Flujo del sistema de cálculos	38
Figura 19. Temperatura de la Celda Fotovoltaica con relación al tiempo.....	40
Figura 20. Corriente del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo	40
Figura 21. Potencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo	41
Figura 22. Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo.....	41
Figura 23. Potencia vs Corriente del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo	42
Figura 24. Potencia vs Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo.....	42
Figura 25. Temperatura de la Celda Solar Fotovoltaico al 50 %	44
Figura 26. Corriente del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %.....	45
Figura 27. Potencia Panel Solar Fotovoltaico al 50 %	45
Figura 28. Potencia vs Corriente del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %- 1000 W/m ²	46
Figura 29. Eficiencia Panel Solar Fotovoltaico al 50 %	47
Figura 30. Potencia vs Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %- 1000 W/m ²	48
Figura 31. Temperatura de la Celda Solar Fotovoltaico al 70 %	49

Figura 32. Corriente al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico.....	49
Figura 33. Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico	50
Figura 34. Corriente vs Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico - 1000 W/m ²	51
Figura 35. Eficiencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico	52
Figura 36. Eficiencia vs Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico - 1000 W/m ²	53
Figura 37. Irradiación solar mensual Junio 2015 – Mayo 2016 (W/m ²)	55
Figura 38. Temperatura Ambiente mensual Junio 2015 – Mayo 2016 (°C).....	56
Figura 39. Corriente de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente	57
Figura 40. Potencia de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente	58
Figura 41. Eficiencia de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente	59
Figura 42. Corriente 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015.....	60
Figura 43. Potencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015.....	60
Figura 44. Eficiencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015.....	61
Figura 45. Corriente 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015.....	61
Figura 46. Potencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015.....	62
Figura 47. Eficiencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015.....	62
Figura 48. Tensión de Pila de Combustible con relación al tiempo	63
Figura 49. Potencia de Pila de combustible con relación al tiempo	64
Figura 50. Eficiencia de Pila de Combustible con relación al tiempo.....	64
Figura 51. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible con relación al tiempo	65
Figura 52. Potencia VS Tensión de Pila de Combustible.....	65
Figura 53. Potencia VS Eficiencia de Pila de Combustible	66
Figura 54. Potencia VS Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible	66
Figura 55. Tensión de Pila de Combustible al 50 %.....	68
Figura 56. Potencia de Pila de Combustible al 50 %	69

Figura 57. Tensión vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %	69
Figura 58. Eficiencia de Pila de Combustible al 50 %	70
Figura 59. Potencia vs Eficiencia de Pila de Combustible al 50 %	71
Figura 60. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible al 50 %	71
Figura 61. Masa de Hidrogeno vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %	72
Figura 62. Presión de Salida vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %	72
Figura 63. Tensión al 30 % de la Pila de Combustible	73
Figura 64. Potencia al 30 % de la Pila de Combustible	74
Figura 65. Tensión vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible	75
Figura 66. Eficiencia al 30 % de la Pila de Combustible	75
Figura 67. Potencia vs Eficiencia al 30 % de la Pila de Combustible	76
Figura 68. Masa de Hidrogeno al 30 % de la Pila de Combustible	76
Figura 69. Masa de Hidrogeno vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible	77
Figura 70. Masa de Hidrogeno vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible	77
Figura 71. Tensión de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	79
Figura 72. Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	80
Figura 73. Eficiencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	81
Figura 74. Eficiencia vs Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	82
Figura 75. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	83
Figura 76. Masa de Hidrogeno vs Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente	84
Figura 77. Potencia del Sistema Hibrido con relación al tiempo	85
Figura 78. Eficiencia del Sistema Hibrido con relación al tiempo	86
Figura 79. Potencia del Sistema Hibrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %	87
Figura 80. Eficiencia del Sistema Hibrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %	87
Figura 81. Eficiencia del Sistema Hibrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %	88
Figura 82. Potencia del Sistema Hibrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible	88

Figura 83. Eficiencia del Sistema Híbrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible.....	89
Figura 84. Eficiencia del Sistema Híbrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible.....	89
Figura 85. Potencia meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50% - 50%, 40% - 60%, 30% - 70% del Sistema Híbrido Pila de Combustible y Panel Solar Fotovoltaico	91
Figura 86. Potencia meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50% - 50%, 40% - 60%, 30% - 70% de Pila de Combustible y Solar Fotovoltaico respectivamente	92
Figura 87. Potencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de septiembre 2015	93
Figura 88. Eficiencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de septiembre 2015	93
Figura 89. Potencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de noviembre 2015	94
Figura 90. Eficiencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de noviembre 2015	94
Figura 91. Diagrama de Componentes del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca	96
Figura 92. Radiación Solar Mensual – Mes de Junio 2017	100
Figura 93. Temperatura Mensual – Mes de Junio 2017	101
Figura 94. Tensión Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	101
Figura 95. Corriente Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	102
Figura 96. Potencia Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	102
Figura 97. Corriente Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017	103
Figura 98. Potencia Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017	103
Figura 99. Eficiencia Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017	104

Figura 100. Resultado de la Corriente de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	105
Figura 101. Resultado de la Corriente de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	105
Figura 102. Resultado de la Potencia de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	106
Figura 103. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	106
Figura 104. Tensión Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	107
Figura 105. Corriente Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	107
Figura 106. Potencia Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017.....	108
Figura 107. Tensión Real Simulada Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017	108
Figura 108. Potencia Real Simulada Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017	109
Figura 109. Resultado de la Tensión de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017 – 617,07 W/m ²	110
Figura 110. Resultado de la Potencia de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	110
Figura 111. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	111
Figura 112. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica del Sistema Híbrido del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m ²	112

Tabla de Ilustraciones.

Ilustración 1. Antoine-Henri Becquerel	2
Ilustración 2. Silicio Puro Monocristalino	6
Ilustración 3. Silicio Puro Policristalino	6
Ilustración 4. Christian Friedrich Schönbein (1799-1868)	9
Ilustración 5. Sir William Robert Grove (1811-1896)	9
Ilustración 6. Generador de pila de combustible de hidrógeno	17
Ilustración 7. Pilas de combustible estacionaria	18
Ilustración 8. Pilas de combustible para equipos electrónicos	19
Ilustración 9. Pilas de combustible en el transporte público.....	20
Ilustración 10. Fotografía del Puerto (Parroquia Canelos)	23
Ilustración 11. Flora existente en el lugar	24
Ilustración 12. Fauna existente en el lugar	25
Ilustración 13. Vivienda típica de la comunidad.....	26
Ilustración 14. Sistema de Panel Solar Fotovoltaico Instalado desde el año 2006	27
Ilustración 15. Sistema de paneles solares fotovoltaicos instalados obsoletos, en desuso y destruidos	28
Ilustración 16. Registrador de datos de estación meteorológica USB HOBO U30	53
Ilustración 17. HOBO U30 USB Weather Station Starter Kit.....	54
Ilustración 18. Software HOBOWare ®	55
Ilustración 19. Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca	95
Ilustración 20. Electrolizador del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca.....	96
Ilustración 21. Tanques de almacenamiento de gas del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca.....	97
Ilustración 22. Pila de Combustible del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca	97
Ilustración 23. Panel Solar Fotovoltaico del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca	98

Ilustración 24. Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca y Sistema de Medición y Recolección de Datos.....	99
Ilustración 25. Pantalla del Programa Arduino IDE	99
Ilustración 26. Visualización en Lcd de resultados	100

Tablas.

Tabla 1. Variación de la capacidad con la temperatura	8
Tabla 2. Tipos de Pila de Combustible	11
Tabla 3. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la corriente (A)	56
Tabla 4. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la potencia (W)	57
Tabla 5. Resultados de la Simulación Dinámica Septiembre 2015	59
Tabla 6. Resultados de la Simulación Dinámica Noviembre 2015	61
Tabla 7. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la tensión de la pila de combustible (V)	78
Tabla 8. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la potencia de la pila de combustible (W)	79
Tabla 9. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la eficiencia de la pila de combustible	81
Tabla 10. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la eficiencia de la pila de combustible	82
Tabla 11. Resultados De La Simulación Dinámica Diferentes Meses Y Condiciones Correspondientes A La Potencia Del Sistema Hibrido	90
Tabla 12. Resultados De La Simulación Dinámica Diferentes Meses Y Condiciones Correspondientes A La Eficiencia Del Sistema Hibrido.....	91
Tabla 13. Resultados de la Simulación Dinámica Septiembre 2015	92
Tabla 14. Resultados de la Simulación Dinámica Septiembre 2015	94

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: INFORME REVISIÓN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN 2006	119
Anexo 2: ENCUESTAS REALIZADAS POR EL MEER-EMPRESA ELECTRICA AMBATO CON COLABORADORES DE UCACUE	139
Anexo 3: DATOS DE LA RADIACIÓN DE LA AMAZONIA (07/09/2016-08/09/2016).....	159
Anexo 4: HOJA DE ESPECIFICACIONES ESTACIÓN METEOROLÓGICA HOBO	160
Anexo 5: CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO	162
Anexo 6: CARACTERISTICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA	163
Anexo 7: CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA SOLAR	164
Anexo 8: CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR	166

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presenta la simulación dinámica de un sistema híbrido de pila de combustible y un panel solar fotovoltaico.

El modelo de simulación dinámica presentado utiliza las ecuaciones de conversión de energía del panel solar fotovoltaico y la celda de combustible para obtener la carga deseada del sistema híbrido para satisfacer la carga eléctrica.

El panel solar fotovoltaico utiliza la radiación solar del sol y la temperatura ambiente como fuente de energía, mientras que la celda de combustible utiliza el agua que se descompone mediante un electrolizador, el hidrógeno y el oxígeno se separan y al revertir el proceso se genera electricidad.

Al realizar la simulación dinámica del sistema de célula de combustible híbrida y el panel solar fotovoltaico, es posible determinar las condiciones optimizadas para la producción de energía eléctrica para las áreas remotas de los sistemas y no para la red.

Palabras Claves: SIMULACIÓN DINÁMICA, SISTEMA HIBRIDO, PILA DE COMBUSTIBLE, PANEL FOTOVOLTAICO

ABSTRACT

In this research work, the dynamic simulation of a hybrid fuel cell system and photovoltaic solar panel is presented.

The dynamic simulation model presented hereby uses the energy conversion equations of both photovoltaic solar panel and fuel cell to obtain the desired load of the hybrid system to satisfy the electric load.

The photovoltaic solar panel uses solar radiation from the sun and the environment temperature as a source of energy, while the fuel cell uses the water that is, decomposed by an electrolyser, the hydrogen and oxygen are separated and by reversing the process electricity is generated,

By performing the dynamic simulation of the hybrid fuel cell system and photovoltaic solar panel, it is possible to determine the optimized conditions for the production of electrical energy for systems remote areas not to the network.

Keywords: DYNAMIC SIMULATION, HYBRID SYSTEM, FUEL CELL, PHOTOVOLTAIC SOLAR

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en conocer el funcionamiento principal de los paneles solares fotovoltaicos y de pila de combustible PEM. Posteriormente realizar una simulación dinámica con referencia al tiempo de un sistema híbrido con la unión de los sistemas anteriormente mencionados.

Este trabajo de investigación está dividido en 4 capítulos. El primero capítulo se recompila información referente a la teoría de los sistemas tanto de paneles solares fotovoltaicos como también información de la pila de combustible, que por último se unen para transformarse en un sistema híbrido de generación eléctrica renovable.

El segundo capítulo se presenta la situación que viven muchas comunidades en nuestro país Ecuador al no contar con energía eléctrica en sus hogares, en particularidad comunidades del Oriente Ecuatoriano alejados de las cabeceras cantonales como lo es la comunidad Mawka Llakta.

En el tercer capítulo contiene los resultados obtenidos en la simulación dinámica con cada uno de los sistemas de ecuaciones utilizadas, así como las gráficas obtenidas para su análisis y conclusión.

En el cuarto y último capítulo se presenta la validación del modelo teórico o numérico con los datos experimentales de la pila de combustibles del Centro de Investigación en Energía Renovables de la Universidad Católica de Cuenca.

La elaboración de este trabajo de investigación es de mucha importancia para la comunidad universitaria de la ciudad de Cuenca, ya que se cuenta con poca información de la tecnología de pila de combustible PEM de manera educativa y mucho menos empleada para la producción de energía eléctrica como eje principal de generación sin contaminación ambiental.

Se realizó la recopilación de datos ambientales guardados en la memoria interna de un registrador ambiental propiedad de la Universidad Católica de Cuenca.

El resultado de los objetivos planteados y propuestos tuvo un alcance satisfactorio, logrando obtener una simulación dinámica para diversas condiciones tanto de utilización

como condiciones climáticas, y de esta manera obtener los resultados esperados, satisfaciendo las necesidades de energía eléctrica para sistemas aislados de generación.

Para la realización y desarrollo de la investigación la Universidad Católica de Cuenca, dio todas las facilidades para conformar la comitiva de ingreso a las comunidades de Sarayaku en la provincia de Pastaza y posteriormente realizo la adquisición del sistema Junior Basic J101, para así tener resultados óptimos y fiables de esta tecnología.

CAPITULO 1.

1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Este capítulo está dividido en tres secciones. La primera sección habla sobre los principios básicos del funcionamiento de los sistemas de panel solar fotovoltaico.

La segunda sección habla sobre la pila de combustible. Se conoce más de los inicios de la pila de combustible hasta la actualidad. La historia nos enseña que los inventos que se ven en la actualidad son investigaciones e invenciones realizadas durante muchos años (en el caso de la pila de combustible más de un siglo y medio), la falta de la tecnología ha retrasado su lanzamiento al consumidor.

La última sección está dedicada a los sistemas híbridos, esto es la integración de dos o más sistemas en torno a la pila de combustible para crear un sistema más efectivo y eficiente para la generación de energía eléctrica.

1.1. Sistema panel solar fotovoltaico.

Cuando se habla de energía solar es fácil dar se cuenta de que se hace referencia a la energía producida mediante el Sol. Sin la luz proveniente del sol no existiría la llamada fotosíntesis, sin este proceso la vida animal y vegetal desaparecería. El calor del sol permite temperar el clima y evaporar el agua de los mares y océanos, para que de estos se formen nubes y sean devueltos en forma de lluvia hacia el planeta.

“A mediados del Siglo XIX, del físico francés Bacquerel (ilustración 1) descubrió el efecto fotovoltaico (FV). En el año de 1905, Einstein proporciona la base teórica del fenómeno fotovoltaico, logrando así el premio nobel en física” (Gasquet, 2004). Sin embargo, no es hasta 1954 que comienza la aplicación de estos sistemas en la necesidad de alimentar equipos de satélites espaciales sin combustibles fósiles y con una larga vida útil.



Ilustración 1. Antoine-Henri Becquerel

Fuente: Bibliografías y Vidas (Ruiza, Fernández, Tamaro, & Durán, 2017)

En el año de 1972, se comienza a aplicar los sistemas fotovoltaicos destinados a aplicaciones en la tierra. Desde ese año hasta la actualidad se ha tenido avances considerables con esta tecnología junto con el crecimiento del mercado permitiendo una reducción de costos de unas 100 veces desde sus primeras aplicaciones.

En estimaciones globales millones de personas carecen de energía eléctrica tanto conectada a la red y menos aún a un sistema aislado de generación eléctrica, debido a 3 factores que influyen como son: los bajos o nulos ingresos económicos tanto de las familias que lo necesitan como en los gobiernos que los administran, falta de conocimientos de la tecnología y la falta de créditos para realizar la instalación de estas tecnologías en países subdesarrollados que los precios no son asequibles.

1.1.1. Radiación solar.

“La palabra insolación deriva de la palabra inglesa insolation, que a su vez deriva de tres acrónimos del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente) (Gasquet, 2004).

“La insolación es la cantidad total de radiación solar que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1 m², para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar” (Gasquet, 2004).

“Para medir el valor de insolación de un lugar existen diferentes unidades para expresar dicho valor, la más conveniente para los sistemas solares fotovoltaicos es el Kilowatt.hora por metro cuadrado (KWh/m²)” (Gasquet, 2004).

En la superficie de un panel solar fotovoltaico que mantiene un ángulo fijo de inclinación, el valor de irradiación va a depender de las condiciones atmosféricas y la posición del sol. Los valores de insolación al amanecer y como al atardecer, es menos que los valores de insolación del mediodía.

En el Ecuador, el encargado de la recolección de datos climáticos es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

La figura 1 muestra los valores promedios para la irradiación solar en el República del Ecuador desde el año 1986 a 1998.

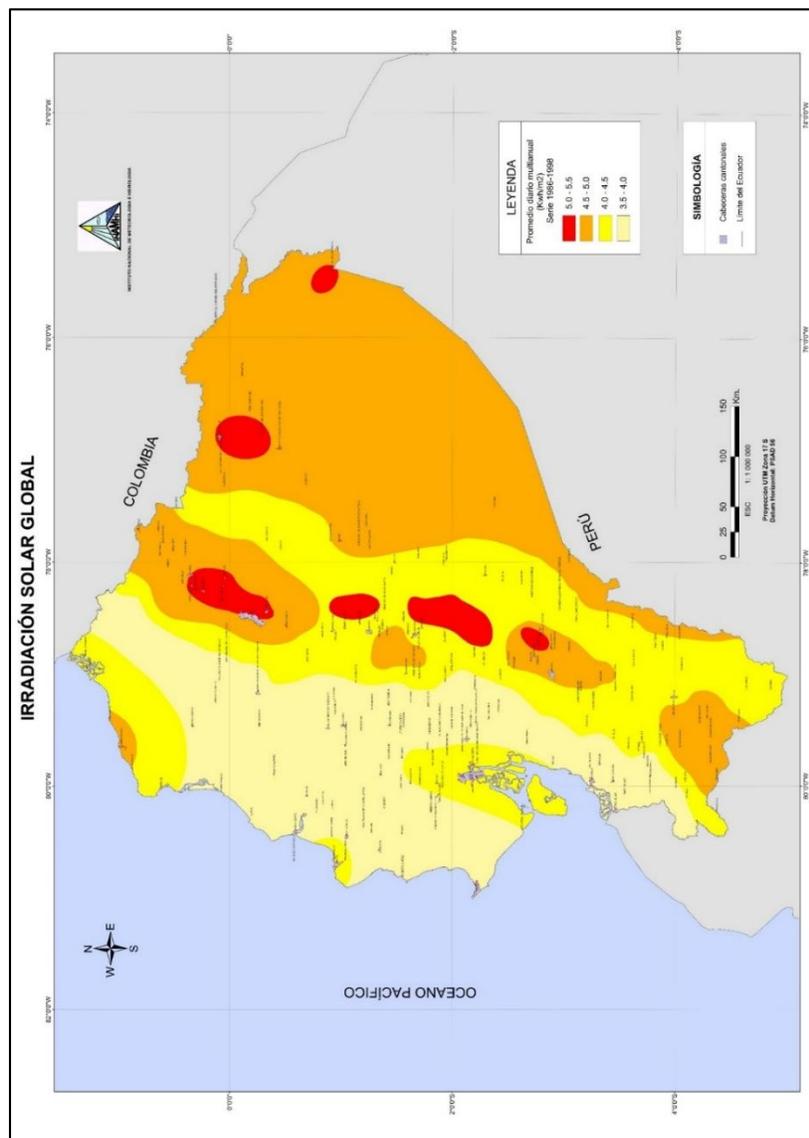


Figura 1. Insolación Global Ecuador – Periodo Diario Multianual (kWh/m²) Serie 1986-1998
Fuente: INAMHI (Ecuador, 2017)

1.1.2. Celda fotovoltaica.

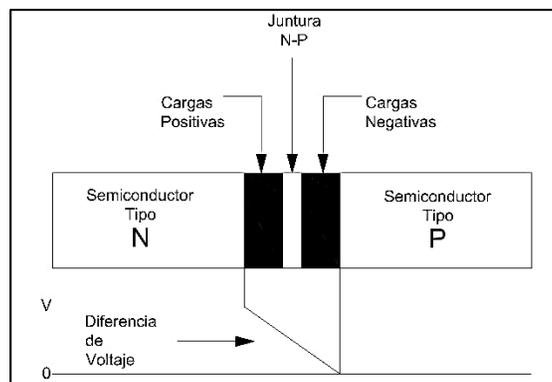
“La palabra fotovoltaico es la combinación de origen griego de dos palabras: foto que significa luz y voltaico que significa eléctrico”. (Gasquet, 2004)

Para la fabricación de las células solares fotovoltaicas, el material más usado es el silicio. Las células solares fotovoltaicas utilizan dos tipos de materiales semiconductores: Tipo N y Tipo P.

Para los semiconductores de tipo N, se crea una zona en el interior del conductor, la cual, posee un exceso de cargas negativas cuando la sustancia difusa cede fácilmente electrones.

Para los semiconductores de tipo P, se crea una zona que predominan las cargas positivas en el interior del conductor, cuando la sustancia difusa atrapa electrones libres.

“En la juntura N-P (figura 2), el proceso de difusión es continuo permitiendo la formación de dos zonas semiconductores adyacentes en el mismo material. El espacio que separa a las dos zonas es llamada juntura de transición.” (Gasquet, 2004)



*Figura 2. Juntura N-P en Equilibrio
Fuente: Libro de (Gasquet, 2004)*

El bombardeo de fotones cuando la luz incide sobre un semiconductor de silicio, libera electrones de los átomos creando así una carga positiva y otra negativa. Solo una parte del espectro luminoso lleva a cabo la acción.

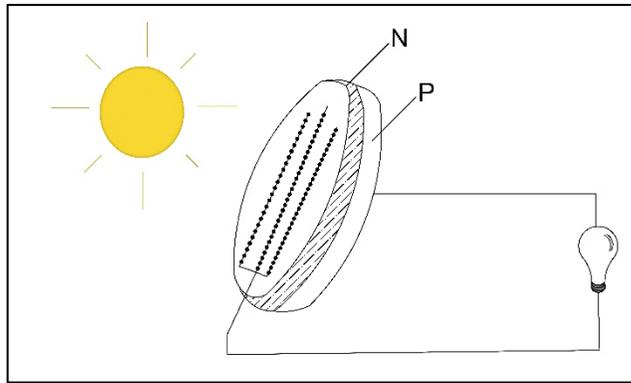


Figura 3. Célula Fotovoltaica con Carga Eléctrica
Fuente: Libro de (Gasquet, 2004)

Si los terminales de la célula solar fotovoltaica son conectados a una carga eléctrica, en esta circulara una corriente en el circuito de la figura 3.

“El voltaje de una célula fotovoltaica es en corriente continua de alrededor de 0,5 voltios” (Gasquet, 2004).

1.1.3. Panel fotovoltaico.

Para obtener la electricidad y potencia deseada mediante los sistemas solares fotovoltaicos, es necesario la unión de células solares fotovoltaicas, los cuales dependen del tipo de instalación y adaptación de corriente. La unión de estas células solares fotovoltaicas se las conoce como paneles o módulos solares fotovoltaicos, dependiendo su configuración en serie o paralelo para un determinado voltaje y amperaje.

1.1.4. Tipos de paneles solares fotovoltaicos.

En función a los materiales empleados para su fabricación existen diferentes tipos de paneles solares fotovoltaicos. A continuación se detalla los materiales que pueden formar una celda solar fotovoltaica:

1.1.4.1. Silicio puro monocristalino.

Para la creación de esta estructura mono cristalina (ilustración 2), se requiere enormes cantidades de energía eléctrica ya que se necesita para su elaboración un proceso de manufactura.

En pruebas de laboratorio que han realizado los fabricantes ha alcanzado un rendimiento del 24,7 % máximo, siendo el panel solar de 16 % de rendimiento el comercializado en los mercados.



Ilustración 2. Silicio Puro Monocristalino
Fuente: (Energías Renovables, 2017)

1.1.4.2. Silicio puro policristalino.

Para la creación de la estructura policristalina (ilustración 3), se la obtiene vertiendo en moldes rectangulares mediante la fundición de materiales conductores.

En pruebas de laboratorio que han realizado los fabricantes ha alcanzado un rendimiento del 19,8 % máximo, siendo el panel solar de 14 % de rendimiento el comercializado en los mercados.

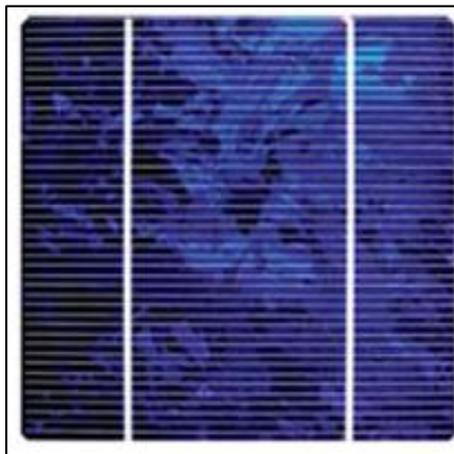


Ilustración 3. Silicio Puro Policristalino
Fuente: (Energías Renovables, 2017)

A simple vista la diferencia entre los dos es notable, ya que la estructura monocristalina es de un brillo uniforme, mientras que, en la policristalina se muestra un brillo diferente en sus zonas.

1.1.5. Sistema de almacenamiento (baterías solares).

Las baterías solares de un sistema de paneles solares fotovoltaicos deben ser capaz de mantener corrientes moderadas durante varias horas, así como también, debe de permanecer activa sin recibir carga alguna, este es el caso que ocurre durante la noche. Normalmente los periodos de reposo para este tipo de baterías son nulos, ya que siempre están siendo cargadas o descargadas.

“En las baterías solares los electrodos tienen una aleación de antimonio, el cual le permite unir una mayor cantidad de material activo. Con el incremento de material activo hace que el peso de la batería aumente y de igual manera su precio.” (Gasquet, 2004).

“A diferencia de las baterías para los automóviles, las baterías solares permiten una profundidad de descarga (PD) máxima del 80 % varias veces con niveles de corriente moderados, siendo estas baterías denominadas de ciclo profundo (BCP).” (Gasquet, 2004).

En el mercado las versiones de las baterías solares con una mayor aceptación son las de 6 V y 12 V, sin embargo, existen modelos de 24 V que son diseñadas para el uso en sistemas solares fotovoltaicos comunales, es decir, varias casas conectadas en un mismo sistema.

La temperatura del electrolito hace variar la capacidad de almacenamiento de una batería de PB-ácido, siendo está determinada por la temperatura del lugar donde está instalado el sistema de almacenamiento.

Tabla 1. Variación de la capacidad con la temperatura
Fuente: (Gasquet, 2004)

Temperatura (°C)	Capacidad (%)	Eficiencia
30	105	1,05
25	100	1,00
16	90	0,90
4	77	0,77
-7	63	0,63
-18	49	0,49

“Cuando se usan baterías de Pb-ácido, la temperatura del electrolito debe mantenerse alrededor de los 25 °C, con temperaturas elevadas la vida útil de la batería se vería drásticamente reducida.” (Gasquet, 2004)

1.2. Sistema pila combustible.

1.2.1. Reseña historia de la pila de combustible.

A lo largo de la historia ha existido la controversia sobre el principio del funcionamiento de la pila combustible.

“En la publicación *“The Birth of the Cell 1835-1845”*, se asegura que en el año de 1838 se llevó a cabo la primera investigación científica sobre los funcionamientos de una celda de combustible por el químico alemán Christian Friedrich Schönbein (ilustración 4), trabajo que fue publicado en la edición de Enero de 1839 de la revista *Philosophical Magazine*” (Bossell, *The birth of the Fuel Cell 1835-1845*, 2004).

En otros trabajos se tiene la certeza de que Sir William Robert Grove (ilustración 5) fue quien introdujo el concepto de pila de combustible. “También se afirma que en el año de 1800 los científicos británicos Sir Anthony Carlile y William Nicholson descubrieron el proceso de la electrolisis del agua, considerados como los primeros en producir una reacción química empleando electricidad” (Ortiz, Reyes Hernandez, & Febo, 2007).



Ilustración 4. Christian Friedrich Schönbein (1799-1868)
Fuente: (Wikipedia, 2017)

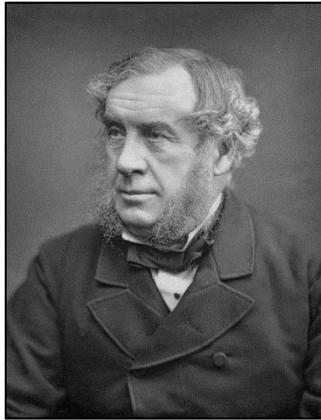


Ilustración 5. Sir William Robert Grove (1811-1896)
Fuente: (Wikipedia, 2017)

A lo largo de la historia se ha realizado cambios y mejoras en esta tecnología de las pilas de combustibles, logrando una mayor eficiencia y rendimiento en la producción de energía eléctrica. Es por ello que la pila de combustible no es una tecnología actual, data de más de 165 años desde sus primeros pasos.

La electricidad se utiliza para la producción del hidrogeno y el oxígeno utilizando la electrólisis del agua. La pila de combustible es la reacción inversa a este proceso, el hidrogeno y el oxígeno reaccionan desde el agua y con ello se produce la electricidad.

“En el año de 1839 Sir William Robert Grove (ilustración 5) desarrollo su primera pila de combustible. Uno de los primeros modelos fue construido en el año de 1842 constaba de 4 recipientes conectados en serie, en los cuales, cada uno de ellos estaba lleno de ácido sulfúrico diluido y con dos tubos de vidrio conteniendo electrodos de platino en su interior. En la parte superior de los dos tubos de vidrio, el oxígeno rodeaba los cátodos y el

hidrogeno los ánodos. La electricidad producida podía ser usada externamente. (Figura 4)”
(Voigt, Hoeller, & Kueter, 2016)

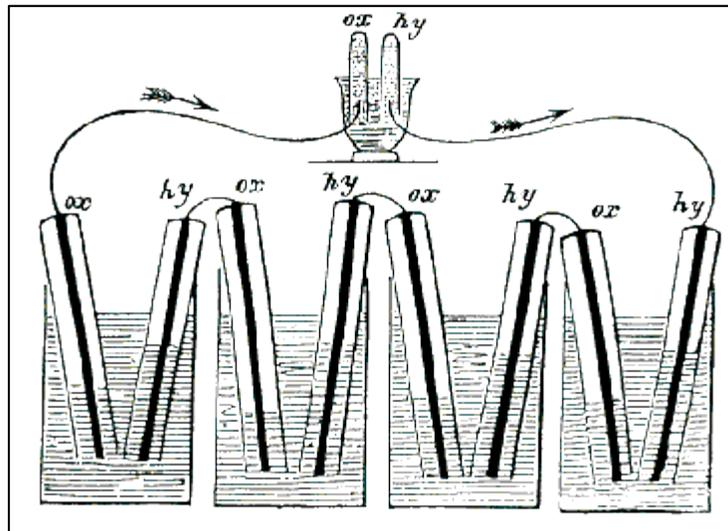


Figura 4. Fuel Cell of Sir William Robert Grove
Fuente: (Welch Public Schools, 2017)

La tecnología de la pila de combustible durante más de un siglo no tenía mayor importancia como medio generador de energía eléctrica, fue en la década de los 60 en donde fue redescubriéndose para el uso en la investigación espacial, hasta llegar a la tecnología moderna que tenemos hoy en día.

1.2.2. Tipos de pila de combustible.

La pila de combustible tiene una mayor eficiencia ya que no existen procesos intermedios para la transformación de energía química a energía eléctrica y gracias a esta conversión se tiene un valor agregado de esta tecnología que no provoca impacto al medio ambiente.

En pila de combustible los productos y los reactivos salen a presión y temperatura ambiente al realizar la conversión electroquímica, es por ello, que el flujo de energía térmica es cero siendo a temperatura ambiente la transferencia de calor.

Existen 6 grupos en los que se encuentran distintos tipos de pilas de combustible, en la tabla 2 se puede observar las características de cada una de ellas.

Tabla 2. Tipos de Pila de Combustible
Fuente: (Voigt, Hoeller, & Kueter, 2016)

Pila Combustible	Electrólito	Temperatura De Operación	Eficiencia Eléctrica	Oxidante De Combustible
Pila de combustible alcalina (AFC)	Solución de hidróxido de potasio (KOH)	Temperatura Ambiente a 90 °C	60 – 70 %	H2 O2
Pila de Combustible de Membrana de intercambio de protones	Membrana de intercambio de protones	Temperatura Ambiente a 80 °C	40 – 60 %	H2 , Hidrocarburos e.g. Gas Natural, O2, Aire
Pila de combustible de membrana de intercambio de protones a alta temperatura	Membrana de intercambio de protones	130 – 200 °C	40 – 60 %	CH3OH O2, Aire
Pila de combustible de metanol directo	Membrana de intercambio de protones	Temperatura Ambiente a 200 °C	20 – 30 %	Hidrocarburos, H2, O2, Aire
Pila de combustible de ácido fosfórico	ácido fosfórico	166 - 220 °C	55 %	Hidrocarburos, H2, O2, Aire
Pila de combustible de carbonato fundido	Modelo de carbonato de metal alcalino	620 – 660 °C	65 %	Hidrocarburos, H2, O2, Aire
Pila de combustible de óxido sólido	Cerámica conductora de iones de óxido	800 – 1000 °C	60 – 65 %	Hidrocarburos, H2, O2, Aire

Para la clasificación de las pilas combustible se hace en base al tipo de electrolito utilizado y con el tipo de electrolito se determina la temperatura de operación. A continuación, se detallará cada una de ellas.

1.2.2.1. Pila de combustible alcalina (AFC)

“El Ingeniero inglés Francis Thomas Bacon fue el primero en experimentar con las pilas alcalinas cambiando los electrolitos ácidos por hidróxido de potasio. La NASA y la compañía Pratt & Whitney en el año de 1960, establecieron un convenio para enviar al espacio una nave propulsada por una pila de combustible de tipo alcalina bajo el programa Apollo, en la actualidad la NASA sigue usando pilas de este tipo fabricadas por UTC Fuel Cell en el denominado programa Shuttle.” (Segura Manzano, 2009)

En este tipo de pila el electrolito conduce los iones hidróxido desde el cátodo hacia el ánodo. La temperatura de operación de esta pila de combustible es similar a la PEMFC oscila entre los 65 °C y 220 °C con una presión atmosférica. Cada celda puede entregar entre 1,1 V y 1,2 V.

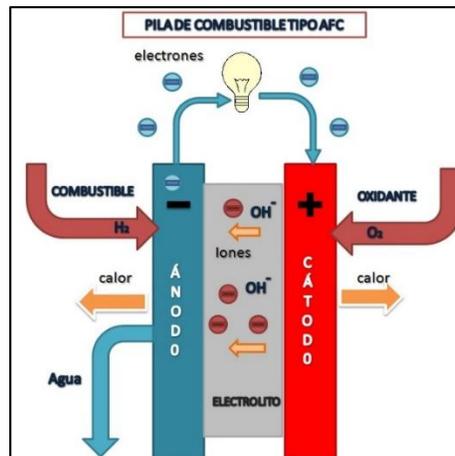


Figura 5. Diagrama de Pila de Combustible Alcalina
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.2.2. Pila de combustible de membrana de intercambio de protones baja y alta temperatura

Esta tecnología fue inventada en los años sesenta por la compañía General Electric (GE). A mediados de los sesenta desarrollado para un programa con la división electrónica de la Armada Estadounidense una pequeña pila combustible.

En esta pila de combustible se utiliza una membrana conductora de protones como un electrolito.

La temperatura de operación en este tipo de pilas de combustible depende de los electrolitos utilizados. Funciona en el intervalo de 60 y 80 °C en baja temperatura siendo esta de un arranque rápido y entre 130 y 200 °C de alta temperatura.

Este tipo de pilas de combustible son aplicadas en sistemas automotrices, edificios y aplicaciones portátiles reemplazando las baterías convencionales. La potencia máxima suministrada varía entre los pocos Watios hasta varias docenas de Kilowatios.

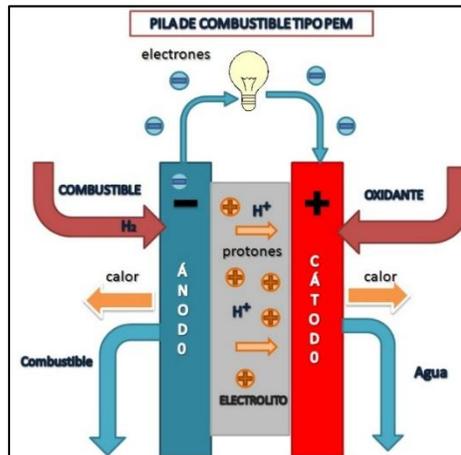


Figura 6. Diagrama de Pila de Combustible de Membrana de intercambio de protones
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.2.3. Pila de combustible de metanol directo

El laboratorio de la NASA JET Propulsion con la Universidad del Sur de California en el año de 1990 desarrolla una pila de combustible con la utilización de metanol directo. Esta pila ha reemplazado en algunas aplicaciones a las baterías tradicionales. En el futuro se espera que gane mercado gracias a su mayor tiempo de vida y por la simplicidad en su recarga.

La pila de combustible de metanol directo al igual que la pila de combustible PEM emplean un electrolito de membrana polimérica, sin embargo, la pila de combustible de metanol directo el catalizador del ánodo extrae el hidrogeno del metanol líquido.

Este tipo de pila de combustible funcionan en el rango de temperaturas de alrededor de 130 °C.

Son aplicadas en la alimentación de teléfonos móviles y ordenadores portátiles en pequeños y medianos tamaños. Las compañías Toshiba, Samsung, Sanyo, NEC y Hitachi están en el desarrollo de este tipo de pila de combustible.

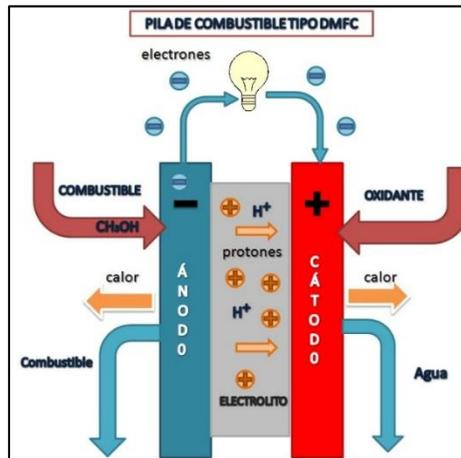


Figura 7. Diagrama de Pila de Combustible de metanol directo
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.2.4. Pila de combustible de ácido fosfórico

A mediados de los sesenta la Armada Estadounidense realizó los primeros estudios para la posibilidad de utilizar combustible convencional con este tipo de pila, pero con anterioridad en el año de 1961 G.V. Elmore y H.A Tanner, experimentaron con una pila de este tipo empleando un electrolito que era 65% de polvo de Silicio y 35% de ácido pegado a una junta de teflón.

Las pilas de ácido fosfórico trabajan a temperaturas de los 150 y 200 °C con presiones de una atmósfera. Cada una de las celdas produce 1,1V con una tolerancia de aproximadamente el 1,5% de impurezas de monóxido de carbono. La eficiencia de la pila de combustible de ácido fosfórico alcanza el 40% de producción eléctrica y 85% en cogeneración.

Las aplicaciones en donde se emplean este tipo de pilas son en hospitales, hoteles, edificios de oficinas, colegios, plantas de tratamiento de agua.

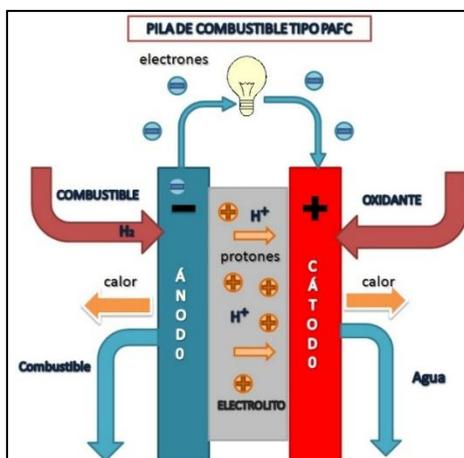


Figura 8. Diagrama de Pila de Combustible de ácido fosfórico
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.2.5. Pila de combustible de carbonato fundido

A mediados de los años sesenta la Armada Estadounidense en su centro de Desarrollo e Investigación de Equipos de la Armada de Movilidad realizan pruebas con las pilas de combustible de carbonato fundido fabricados por Texas Instruments con una potencia de entre los 100W y 1000W que eran diseñados para vehículos de combate.

Las pilas de combustible de carbonato fundido utilizan un electrolito de compuesto de una mezcla de carbonato de litio y de potasio.

Son pilas que trabajan con altas temperaturas de alrededor de los 650 °C y con presión atmosféricas de 1 a 10 atmosferas. Cada celda produce entre 0,7 y 1 Voltio.

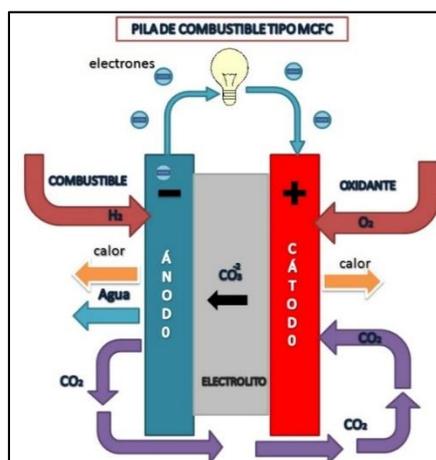


Figura 9. Diagrama de Pila de Combustible de carbonato fundido
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.2.6. Pila de combustible de óxido sólido

Los científicos E. Baur y H. Preis a finales de los años treinta, experimentaron con un electrolito de óxido sólido con la utilización de zirconio y lantano.

Para los electrodos se ocupan metales como el níquel o cobalto.

Este tipo de pilas de combustible trabajan a muy altas temperaturas alrededor de los 1000 °C y con presiones de una atmosfera.

Cada una de las celdas produce entre los 0,8 y 1V.

Las aplicaciones de estas pilas de combustible son como sistemas auxiliares de potencia y estacionarias.

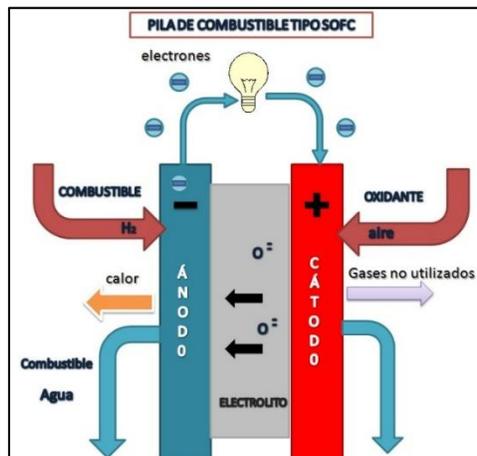


Figura 10. Diagrama de Pila de Combustible de óxido sólido
Fuente: (Wikimedia, 2017)

1.2.3. Aplicaciones de la pila de combustible

En la actualidad a nivel mundial los fabricantes están en la investigación y en el desarrollo en la mayor parte en el sector automotriz. Sin embargo, existen aplicaciones extensas del uso de la pila de combustible como es en barcos, trenes, aviones, buses, motocicletas, maquinaria e incluso señales de tránsito que se basan en la utilización de la pila de combustible para su funcionamiento. Por otro lado, existe un mercado que crece día a día para la utilización en ordenadores portátiles, teléfonos inteligentes, y todo aparato electrónico portátil.

En una mayor escala en el mundo existen Centros de Policía, Bancos y Hospitales que disponen un sistema de pila de combustible para la generación eléctrica. Para el tratamiento de aguas residuales y vertederos están empezando a utilizar la pila de combustible en sus procesos de transformación para la obtención de gas metanol. El número de aplicaciones de la pila de combustible es muy extenso.

1.2.3.1. Aplicaciones portátiles.

Las pilas de combustible evitan las emisiones auditivas y producción de Dióxido de Carbono CO₂ que acarrea un generador eléctrico a diésel, ayudando a la conservación del medio ambiente en el entorno que se lo utilice.

Con la utilización de estos se puede proporcionar potencia eléctrica en los lugares donde la red eléctrica no existe, como son haciendas vacacionales, fincas, comunidades apartadas a las cabeceras cantonales.



*Ilustración 6. Generador de pila de combustible de hidrógeno
Fuente: (AGRUPASUMA, 2017)*

1.2.3.2. Aplicaciones estacionarias.

En la actualidad los sistemas de generación de energía eléctrica en base de la pila de combustible alcanzan los 40% de eficiencia utilizando como combustible derivados del petróleo.

En aplicaciones estacionaras se utilizan las pilas de combustible de alta temperatura, que con la cogeneración la eficiencia puede aumentar en un 85%, reduciendo los costos.

Más de 2500 sistemas de pila de combustible han sido instalados alrededor del mundo como son hospitales, centros de cuidados para adultos mayores, albergues,

oficinas, hoteles y colegios (Lee, y otros, 2007). Algunos de ellos son independientes de la red generando energía eléctrica en zonas aisladas o remotas, otros están conectados a la red proporcionando energía eléctrica adicional.

En las telecomunicaciones los sistemas de pila de combustible alcanzan una fiabilidad elevada con un porcentaje del 99,999% (Williamson, Emadi, & Shahidehpour, 2004), es por esta alta fiabilidad que se han puesto a competir con baterías convencionales para potencia que van desde el 1 a 5 KW para ser ubicados en lugares en donde no existe tendido eléctrico.

Los sistemas de pila de combustible en las telecomunicaciones también se las han empleado en torres de transmisión, nodos de conmutación u otros dispositivos electrónicos que se alimenten con corriente continua de la salida de la pila de combustible.

En California en la cervecería de Sierra Nevada, se ha instalado pilas de combustible para aprovechar el metanol derivado de los vertidos no tratados, de igual manera en el Japón en Kirin, Sapporo y Asahy. (Spiegel & Preston, 2003)



*Ilustración 7. Pilas de combustible estacionaria
Fuente: (Sai, 2016)*

1.2.3.3. Micro potencia.

Las compañías más grandes en el mercado de la tecnología como son Sony, Toshiba, Samsung, Panasonic, Motorola han demostrado que los sistemas de pila de combustible pueden satisfacer la potencia eléctrica en la alimentación de equipos de

telecomunicación, siendo la pila de combustible de metanol directo uno de los ideales para estas aplicaciones. (Abdullah & Gan, 2006)

Estos grandes fabricantes han demostrado que un ordenador portátil con pila de combustible puede trabajar hasta cinco horas sin la necesidad de ser recargado, de igual manera ocurre con los teléfonos móviles que pueden funcionar ininterrumpidamente el doble de tiempo que una batería de litio y con menor tiempo de recarga.

Entre otras aplicaciones para los sistemas de micro-pilas de combustible están aplicándose en audífonos, video-regrabadoras, detectores de humo, alarmas de seguridad, todos estos equipos usan pilas de combustible de metanol directo.



*Ilustración 8. Pilas de combustible para equipos electrónicos
Fuente: (Desenchufados, 2017)*

1.2.3.4. Aplicaciones en el transporte.

En el mundo automotriz cada uno de los fabricantes de vehículos tiene al menos un vehículo con el sistema de pila de combustible en investigación o en desarrollo, o ya en el mercado para su comercialización.

En el transporte masivo de personas en las ciudades del mundo en los últimos años, se ha puesto en funcionamiento autobuses, los cuales, son de alta eficiencia incluso cuando el hidrogeno es producido por combustibles fósiles derivados del petróleo, contribuyendo a reducir la contaminación en las grandes y pequeñas ciudades.

Unos de los grandes emisores de contaminación son las motocicletas, estas contaminan casi como un camión a diésel a pesar de su tamaño. Con la aplicación de la pila de combustible en estos vehículos se reducirá la contaminación ambiental. (Intelligent Energy launches first fuel cell motorbike, 2005)

Las maquinas transportadoras y elevadoras eléctricas, están empezando a utilizar la pila de combustible, la cual supone la reducción de costes de mantenimiento.

En el sector del transporte pesado se está optando por sistemas de pilas de combustible para utilizar en camiones de largo recorrido, así como también se está usando en locomotoras en minas ya que no producen contaminación ambiental.



*Ilustración 9. Pilas de combustible en el transporte público
Fuente: (Híbridos y Eléctricos, 2017)*

1.3. Sistema híbrido de generación eléctrica.

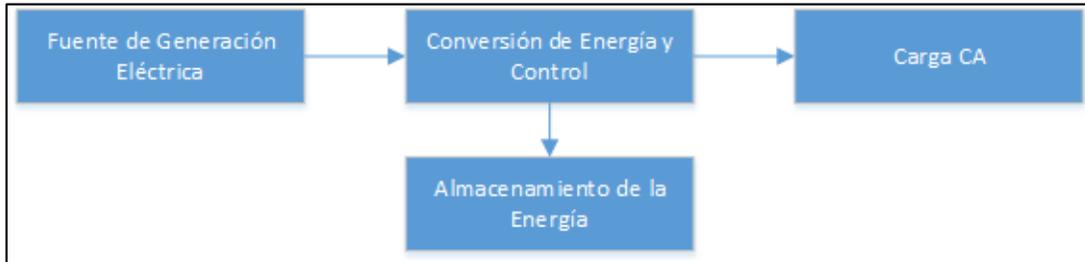
Un sistema híbrido de generación eléctrica es el que utiliza fuentes generadoras de energía, estas sean renovables o no renovables para completar la actividad generadora del sistema.

Los sistemas híbridos básicamente se componen de:

- Al menos dos tipos distintos de generación eléctrica
- Controlador de carga
- Banco de baterías

- Inversor de Corriente Continua a Corriente Alterna (CC a CA)

En la figura 28 se muestra el diseño básico de un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica con sus componentes básicos.

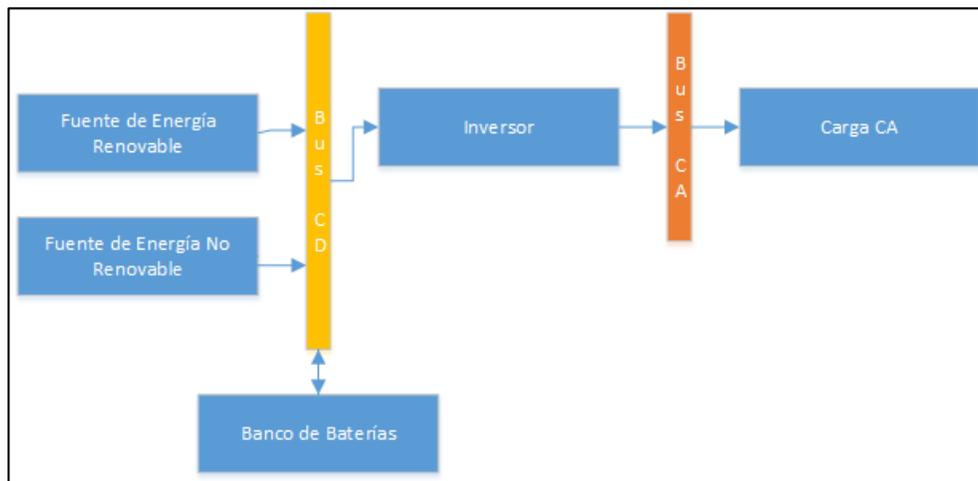


*Figura 11. Diseño básico de un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica
Fuente: Autor*

1.3.1. Clasificación de los sistemas híbridos de generación eléctrica.

1.3.1.1. Topología serie.

Para este tipo de topología las fuentes de energía son utilizadas para la carga de bancos de baterías.



*Figura 12. Diagrama topología serie
Fuente: Autor*

En esta topología la energía eléctrica que llega a la carga en ningún momento es interrumpida.

1.3.1.2. Topología paralela con acoplamiento en CD.

A diferencia de la topología en serie, en esta topología la energía no renovable provee una parte de la demanda de la carga directamente, con lo que se gana una mayor eficiencia en el sistema.

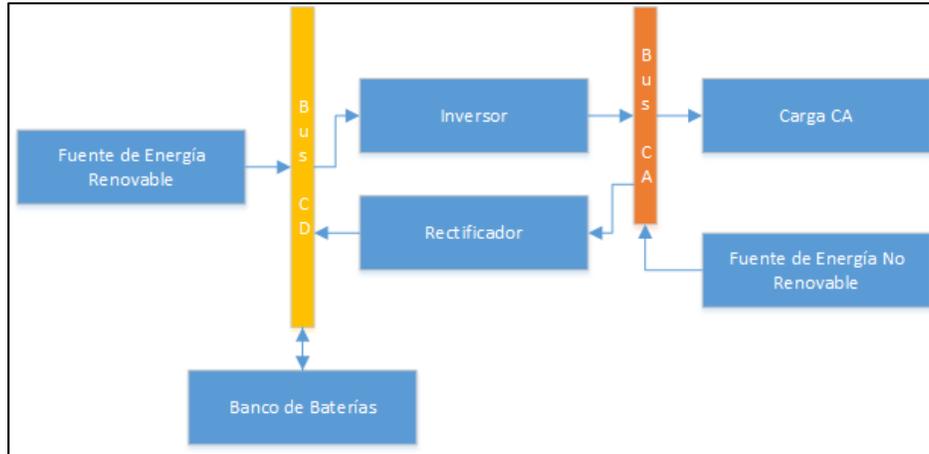


Figura 13. Diagrama Topología Paralelo con Acoplamiento en CD
Fuente: Autor

1.3.1.3. Topología paralela con acoplamiento en CA.

En esta topología el aumento de la carga no sería un problema, ya que se puede aumentar la capacidad de generación eléctrica sin cambios mayores en la configuración del sistema.

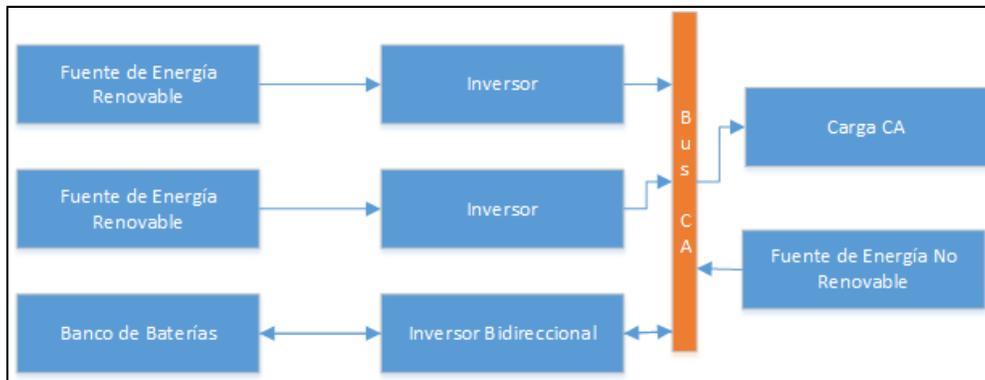


Figura 14. Diagrama Topología Paralelo con Acoplamiento en CA
Fuente: Autor

CAPITULO 2.

2) ANTECEDENTES DE LAS COMUNIDAD MAWKA LLAKTA.

2.1 Situación actual comunidad.

En el territorio Ecuador existen poblaciones tanto civilizadas como indígenas que no cuenta con el suministro de energía eléctrica, una de ellas es Mawka Llakta comunidad indígena de la nacionalidad Kichwa, perteneciente a la parroquia de Sarayaku en el Oriente Ecuatoriano, ubicada en la cuenca del rio Bobonaza, este rio tiene 80 Kilómetros de longitud que en su transcurso desemboca en el rio Pastaza y posteriormente en el Rio Amazonas en el vecino país del Perú.



*Ilustración 10. Fotografía del Puerto (Parroquia Canelos)
Fuente: Autor*

Desde la ciudad de Cuenca provincia del Azuay hasta la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua toma alrededor de 6 horas en transporte interprovincial y 3 horas desde Ambato hasta la ciudad del Puyo provincia de Pastaza, pernotando en la ciudad del Puyo, al día siguiente a primeras horas de la mañana se viaja en camioneta aproximadamente 2 horas hasta el puerto en la parroquia Canelos en la provincia de Pastaza (ilustración 10).

La comunidad de Mawka Llakta, se encuentra a aproximadamente a 6 horas de trayecto desde el puerto por vía fluvial. Otra de las formas de ingresar hasta la comunidad es por medio de avioneta, limitándose este transporte a dirigentes o personas de fuera de la comunidad, ya que el costo del mismo es elevado.

Considerando el trayecto y las condiciones climatológicas para el ingresar hasta la comunidad de Mawka Llakta toma alrededor de dos días en condiciones aceptables, sin

embargo, cuando las condiciones climatológicas no se prestan puede tomar días, incluso semanas para el ingreso o salida de la comunidad.

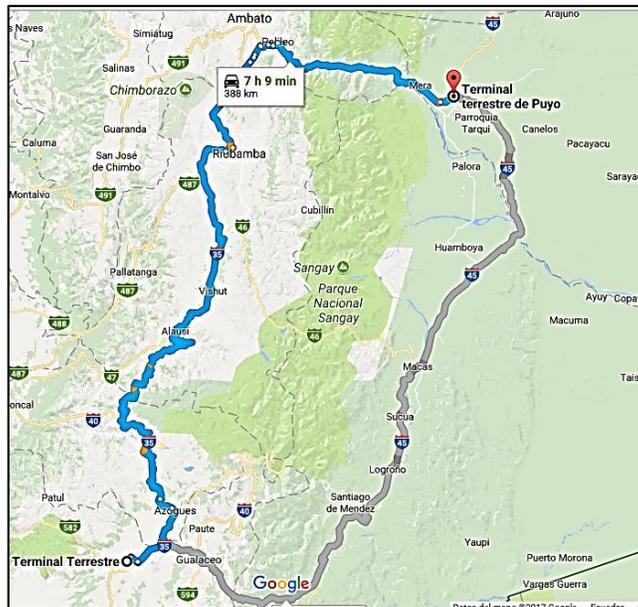


Figura 15. Trayectoria desde la Ciudad de Cuenca hasta la Ciudad de Puyo
Fuente: Google Maps (Page & Brin, 2017)

En el trayecto por vía fluvial se puede observar flora y fauna (ilustración 11 e ilustración 12) endémicas del lugar con poca intervención del hombre, sin embargo, también se puede ir observando comunidades indígenas asentadas en la cuenca del río.



Ilustración 11. Flora existente en el lugar
Fuente: Autor



Ilustración 12. Fauna existente en el lugar
Fuente: Autor

En el informe revisión de Paneles Solares Fotovoltaico Sarayaku realizado por la Empresa Eléctrica Ambato con el apoyo de Ingeniería Sin Frontera en noviembre el año 2013 (Anexo 1) se realizó la toma de puntos GPS de cada comunidad como se observa con la Figura 16.



Figura 16. Mapa de las Comunidades de Sarayaku Noviembre de 2013
Fuente: Informe Revisión Sistemas Fotovoltaicos Sarayaku

La Comunidad de Mawka Llakta se encuentra en las Coordenadas WGS84 18S en x: 222480 y: 9809256, aproximadamente a 350 metros sobre el nivel del mar (UNIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE CENTRO AMAZÓNICO ECUAT, 2013).

Las viviendas de la comunidad en su mayoría son de tabla sin tratar con techo de paja típicas del lugar, teniendo por lo general una cocina, un dormitorio para todos los miembros de la familia, y un lugar para pasar con la familia bebiendo la chicha su bebida tradicional, datos tomados de la encuesta realizada en el mes de septiembre del año 2016 (Anexo 2).



*Ilustración 13. Vivienda típica de la comunidad
Fuente: Proporcionada por el Ingeniero Diego Molina (MEER)*

2.2 Justificación.

El crecimiento en la demanda de derivados de petróleo y el alarmante calentamiento global, hacen que el ser humano busque otras alternativas de generación de energía eléctrica más limpias para el planeta. Una de las alternativas es la utilización del Sistemas Híbridos de Pilas Combustibles PEM y Paneles Solares Fotovoltaicos, es por lo que, con la simulación dinámica, se pretende evaluar el rendimiento y la eficiencia de conversión de energía del sistema con datos reales.

En el año 2006 la empresa eléctrica Empresa Eléctrica Ambato (EEASA) electrifico un total de 140 viviendas con sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos (ilustración 14) a familias sin acceso a la energía eléctrica de la Parroquia Sarayaku. El proyecto de electrificación fue financiado desde el programa PROMEC con fondos del Banco Mundial.

En el mismo año, se produjo desacuerdo entre los Dirigentes Comunales y la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA), dejando de hacer revisiones por parte de técnicos de la empresa. Desde ese entonces los sistemas de paneles solares fotovoltaicos quedaron desatendidos, sin tener un mantenimiento tanto preventivo como correctivo desde su instalación.

En el año 2006, al momento de la instalación de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos la Parroquia Sarayaku constaba de 5 comunidades y en el año 2013 de añadieron 2 nuevas comunidades, quedando en total la parroquia dividida en 7 comunidades cada una con su respectivo representante llamado Curaca. (UNIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE CENTRO AMAZÓNICO ECUAT, 2013)



Ilustración 14. Sistema de Panel Solar Fotovoltaico Instalado desde el año 2006

Fuente: Proporcionada por el Ing. Diego Molina (MEER)

En la actualidad la Comunidad de Mawka Llakta cuenta con un sistema de panel solar fotovoltaico en algunas de las viviendas del lugar, sin embargo los sistemas se encuentran obsoletos, en desuso e incluso destruidos.



*Ilustración 15. Sistema de paneles solares fotovoltaicos instalados obsoletos, en desuso y destruidos
Fuente: Autor*

Mediante la encuesta en campo realizada en el mes de septiembre del año 2016, del total de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos instalados, unos pocos funcionan (Anexo 3). Se tiene que considerar también el crecimiento de la población y la existencia de nuevas viviendas en el lugar.

Una de las principales necesidades en cuanto a energía eléctrica en la comunidad, es por lo general para focos y radio que en promedio se estima el uso de 4 horas al día de acuerdo a la encuesta.

En la actualidad las personas utilizan leña y linternas como fuente de iluminación por la noche, las personas que cuentan con ingresos económicos cuentan con pequeños generadores eléctricos, pero por el traslado y el precio del combustible se limitan al uso.

Con la simulación dinámica del Sistema Híbrido se tiene como objetivo principal la realización de ecuaciones de conversión y conservación de energía de Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico y con ello ver si existe la factibilidad de cubrir la demanda de energía eléctrica en la Comunidad de Mawka Llakta, teniendo un sistema eficiente, y de alto rendimiento ya que se encuentra en un lugar aislado en la selva ecuatoriana.

Se utilizará la instalación de Pila Combustible PEM del Centro de Energías Renovables de la Universidad Católica de Cuenca y la estación meteorológica HOBO del mismo Centro ubicados en la Ciudad de Cuenca. Con los datos de la Pila Combustible PEM y la radiación solar se determinaría la validación de los resultados del modelo dinámico

realizado, para posteriormente realizar la aplicación de datos de radiación del lugar ubicado en la amazónica y con ellos determinar o predecir la carga eléctrica.

En la recolección de datos de radiación solar en el lugar de la amazonia, se utilizará datos obtenidos por el MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016), para la predicción de carga eléctrica en la amazónica. (Anexo 3)

Como resultado de la investigación será tener un modelo dinámico que se utilizaría para el diseño, rediseño y una nueva opción de Sistemas híbridos como es la Pila Combustible PEM y paneles solares fotovoltaicos para lugares que no cuentan con servicio de energía eléctrica en nuestro país.

2.3 Objetivo general.

Simular de forma dinámica el comportamiento de un sistema híbrido de una pila combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico para una vivienda tipo de la Comunidad de Mawka Llakta, Parroquia Sarayaku, Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza para la generación de energía eléctrica.

2.4 Objetivos específicos.

- Realizar un modelo numérico dinámico, basado en las ecuaciones de conversión de energía para evaluar el rendimiento y la eficiencia de conversión de energía a diferentes condiciones de operación del sistema híbrido.
- Obtener información y recopilar datos del Centro de Energías Renovables y de la Comunidad de Mawkallacta para la simulación dinámica del Sistema Híbrido de Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico.
- Tabular los datos obtenidos para la simulación dinámica del Sistema Híbrido de Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico.
- Analizar y validar los resultados obtenidos de la simulación dinámica del Sistema Híbrido de Pila Combustible PEM y Panel Solar Fotovoltaico.

CAPITULO 3.

3) MODELADO DINÁMICO DEL SISTEMA HIBRIDO PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO Y PILA DE COMBUSTIBLE.

A este capítulo se le ha dividido en varias secciones, en cada una de estas secciones se hace referencia a cada una de las formulas empleadas para el cálculo del voltaje, corriente, potencia, eficiencia de los sistemas de panel solar fotovoltaico, pila de combustible y sistema hibrido.

A continuación, se presenta cada una de las ecuaciones utilizadas para la realización del modelado dinámico del sistema hibrido de panel solar fotovoltaico y pila de combustible.

3.1 Sistema de panel solar fotovoltaico.

Los paneles solares fotovoltaicos están conformados de módulos y cada uno de estos módulos consta de matrices y celdas. Para la salida de corriente dinámica es necesario utilizar la ecuación 1. (Hieu Nguyen & Phuong Nguyen, 2015)

$$I = N_p * I_{ph} - N_p * I_o * \left[\exp\left(\frac{U + I * R_s}{N_s * n * V_t}\right) - 1 \right] - I_{sh} \quad (1)$$

En donde N_p corresponde al número de celdas en paralelo y N_s el número de celdas en serie, U es el voltaje de cada celda, para encontrar la foto corriente I_{ph} es necesario utilizar la ecuación 2. (Hieu Nguyen & Phuong Nguyen, 2015)

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] * \frac{I_r}{1000} \quad (2)$$

I_{sc} Representa la corriente de cortocircuito (A), K_i la corriente de cortocircuito de la célula en temperatura de 25 °C a una irradiación solar de 1000 W/m², T es la temperatura de funcionamiento en kelvin (K) y I_r es la irradiación solar en W/m².

Para obtener la corriente de saturación I_{rs} se utiliza la ecuación 3 (Hieu Nguyen & Phuong Nguyen, 2015)

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

Donde q es la carga de electrones que es igual a $1,16 \times 10^{-19}$ C, V_{oc} es el voltaje de circuito abierto, n es el factor de idealidad del diodo y K la constante de Boltzmann igual a $1,3805 \times 10^{-23}$ J/K.

La corriente de saturación del modulo I_o tiene una variación con respecto a la temperatura de la célula, y para encontrar esta corriente se utiliza la ecuación 4. (Hieu Nguyen & Phuong Nguyen, 2015) (Sami & Icaza, 2015)

$$I_o = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q \cdot E_{g0}}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (4)$$

En donde I_{rs} se encontró con la ecuación 3, T_r es la temperatura nominal que es de 298,15 K, E_{g0} es la energía de intervalo de banda del semiconductor igual a 1,1 eV.

Para encontrar la corriente I_{sh} , es necesario conocer la resistencia en serie R_s y la resistencia de derivación R_{sh} en ohmios, así como también la tensión térmica del diodo, una vez conocidos estos términos se aplica la ecuación 5. (Hieu Nguyen & Phuong Nguyen, 2015)

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

Una vez encontrada la corriente dinámica del panel solar fotovoltaico I (I_{pv}) podemos determinar la potencia con la utilización de la ley de ohm. (ecuación 6).

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

En donde V_{pv} es determinado por la hoja de datos del panel solar fotovoltaico.

Para determinar la eficiencia del sistema solar fotovoltaico, es indispensable conocer la potencia de ingreso Q_{in} , para ello se emplea la ecuación 7. (Fargali, Fahmy, & Hassan)

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

I_r es la irradiación solar en W/m^2 , S_p es el área del panel solar fotovoltaico y α_{abs} es el coeficiente de absorción global.

Con la obtención de las dos potencias Q_{in} y P_{pv} , se puede determinar la eficiencia con la ecuación 8. (Fargali, Fahmy, & Hassan)

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

3.2 Modelo teórico del sistema de pila de combustible PEM.

Para controlar el voltaje de una pila de combustible es necesario en primer lugar considerar el modelo dinámico. Durante varios años investigadores han desarrollado artículos de pila de combustible PEM. Por lo tanto, se utilizarán modelos presentando previamente.

Para la conversión del excedente de la producción de energía solar en hidrogeno, el electrolizador debe ser de igual potencia que los paneles solares fotovoltaicos.

Para la encontrar la tasa de producción de hidrogeno se aplica la ecuación 9. (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$x_H = 5,18 * e^{-6} * I_e \quad (9)$$

En donde x_H es medido en mole/s, I_e corresponde a la corriente existente en los terminales de los electrodos.

Para determinar la energía en forma de hidrogeno se calcula mediante la ecuación 10. (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$E_{H_2} = \frac{Load}{\eta_{FC}} \quad (10)$$

Load es la cantidad máxima y mínima de almacenamiento de energía en kWh, y η_{FC} es la eficiencia de la pila de combustible la cual es determinada con la ecuación 22.

Una vez determinada la energía en forma de hidrogeno, ahora se debe conocer la masa de hidrogeno (m_{H_2}) que representa esta energía. Para ello se utiliza el Valor Calorífico Superior (GCV) de la molécula de hidrogeno con la ecuación 11. (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$m_{H_2} = \frac{E_{H_2}}{PCS_{H_2}} \quad (11)$$

El GCV del hidrogeno es de 142 MJ/kg o 39,4 kW/h y en la ecuación 11 está representado por PCS_{H_2} , la masa de hidrogeno es medida en kg/seg.

Con una temperatura de 15 °C y con una presión atmosférica de 1 atm (1,013 bar absoluto) la densidad del hidrogeno es 0,085 kg/m³. Con este valor de densidad se puede determinar el volumen de hidrogeno (V_{H_2}) con la utilización de la ecuación 12. (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$V_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{0.085} \quad (12)$$

En m_{H_2} es la masa del hidrogeno calculada anteriormente con la ecuación 11.

Los sistemas de compresión de gas son frecuentemente consumidores de energía. Con la ecuación 13 se puede determinar la potencia de compresión necesaria para comprimir un gas de una presión de entrada P_e (atm) a una presión de salida P_s (atm). (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$P_{comp} = \frac{q_{gas} T_e C_p}{\eta_c} \left(\left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (13)$$

q_{gas} Corresponde a la masa de Gas en kg/s en este caso hidrogeno, T_e es la Temperatura de entrada de Gas medida en Kelvin (K), C_p es la cantidad Calorífica de Gas (J/kg.k), η_c es la eficiencia de Salida del Compresor, γ es el coeficiente Isentrópico de gas.

Mediante la ecuación 14 se puede determinar la energía de compresión E_{comp} . (Yilmaza, Hakan Hocaoglub, & Konukmanc, 2008)

$$E_{comp} = Mass * \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{P_e V_o}{\eta_c} \left(\left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (14)$$

En donde Mass es la masa del hidrogeno en kg/s y V_o es el volumen inicial del gas, en el caso del hidrogeno es de 11,11 m³/kg.

A continuación, se presenta el modelo teórico de una célula de combustible PEM para la obtención de voltaje, potencia y eficiencia. El movimiento de los protones traspasando la membrana y electrones traspasando del circuito externo hace que se exista una diferencia de voltaje entre los terminales de la célula de combustible.

La tensión generada puede ser definida por la ecuación 15. (Aly, 2005)

$$U_S = U_{th} - U_{act} - U_{ohm} - U_{conc} \quad (15)$$

La tensión teórica U_{th} se calcula a partir de la ecuación 16 para este modelo, se debe de tener en cuenta los cambios de la temperatura con respecto a la temperatura de referencia. (Aly, 2005)

$$U_{th} = 1,2297 + (T - 298,15) \frac{\Delta S_0}{nF} + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{P_{H_2} * P_{O_2}^{1/2}}{P_{O_2}^{1/3}}\right) \quad (16)$$

En donde T es la temperatura de operación de la celda, ΔS_0 pertenece al cambio de entropía de reacción de agua líquida en condiciones de prueba estándar con el valor de -0,1634 KJ/k/mol, n es el número de electrones por mol (n=2), F es la constante de Faraday (96485,309 C/mol), R es la constante universal de gas (8,31451 J/K/mol).

Para encontrar la tensión transitoria la cual varía con el tiempo se debe aplicar la ecuación 17 para el cálculo. (Khan & Iqbal, 2003)

$$U_{act} = \frac{dV_{act}}{dt} = \frac{I_s}{C} - \frac{U_{act}}{\frac{R_a}{C}} \quad (17)$$

En donde I_s corresponde a la corriente (A), C es una constante con un valor de 108.75 F y por último una resistencia de activación R_a . Para el cálculo de R_a es necesario utilizar la ecuación 18 y conocer la caída de voltaje de activación η_{act} y I_s correspondiendo a la corriente. (Khan & Iqbal, 2003)

$$R_a = \frac{-\eta_{act}}{I_s} \quad (18)$$

En el caso de la caída de voltaje de activación se aplica la ecuación 19. (Najafizadegan & Zarabadipour, 2012)

$$\eta_{act} = 0,9514 + 0,00312 T - 0,000187 T \ln(i) + 7,4 \times 10^{-5} T \ln(C_{O_2}) \quad (19)$$

En donde T es la temperatura de la pila de combustible en kelvin que es casi el mismo que la temperatura de la celda, i es la corriente estática que pasa através de la célula (A) y C_{O_2} es la concentración de oxígeno disuelto está dado por la ecuación 20. (Najafizadegan & Zarabadipour, 2012)

$$C_{O_2} = \frac{P_{O_2}}{5,08 \times 10^6 \exp\left(\frac{-498}{T}\right)} \quad (20)$$

Siendo P_{O_2} la presión de oxígeno en el lado del cátodo y T la temperatura.

Con la determinación de la tensión U_s , se puede calcular la potencia de la pila de combustible con la aplicación de la ley de ohm (ecuación 21):

$$P_{pc} = I_{pc} * U_s \quad (21)$$

Donde I_{pc} es determinada por las especificaciones del fabricante de la pila de combustible.

Para la determinación de la eficiencia de la pila de combustible η_{pv} , se aplica la ecuación 22.

$$\eta_{stack} = 0,83 * \frac{U_s}{U_{th}} \quad (22)$$

3.3 Modelo de controlador de carga.

La salida de potencia del controlador de carga generalmente está dada por la ecuación 23. (Fargali, Fahmy, & Hassan) (Mahalakshmi, 2012) (Sami & Marin, 2017)

$$P_{Cont-dc} = V_{Bat}(I_{rect} + I_{PV} + I_{FC}) \quad (23)$$

Donde V_{Bat} es la multiplicación de la tensión nominal en corriente continua para cualquier sistema, I_{rect} es la corriente de salida del rectificador, I_{PV} es la corriente de los paneles solares fotovoltaicos, I_{FC} es la corriente de la pila de combustible.

3.4 Modelo de carga y descarga de la batería.

Las baterías son las encargadas de almacenar el exceso de energía que pasa por el controlador de carga. (Figura 17). A demás de almacenar, son las encargadas de mantener la tensión dentro del rango establecido y, por ende, protege de las tasas de descarga y prevenir la sobrecarga.

En el periodo de carga, la relación de tensión y corriente se la describe con la ecuación 24. (Mahalakshmi, 2012)

$$V = V_r + \frac{I \left(\frac{0,189}{1,142 - soc + R_i} \right)}{AH} + (soc - 0,9) \ln \left(300 \frac{I}{AH} + 1,0 \right) \quad (24)$$

Donde V_r es determinada por la ecuación 25.

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

I Es la corriente de la batería, AH es el Ampere-hora de la batería durante el proceso de descarga y soc es la relación de ración de la carga en el momento del interés a la carga máxima.

Sin embargo, para el ciclo de descarga se utiliza la ecuación 26. (Mahalakshmi, 2012)

$$V = V_r + \frac{I}{AH} + \left(\frac{0,189}{soc} + R_i \right) \quad (26)$$

En donde R_i es la resistencia interna de la célula y T es la temperatura ambiente, para determinar R_i se establece la ecuación 27.

$$R_i = 0,15(1,0 - 0,02(T - 25^\circ\text{C})) \quad (27)$$

3.5 Modelo de inversor.

Las características están dadas por la potencia que ingresan del inversor y la potencia que salen del mismo. Los inversores siempre presentan pérdidas en la conversión, es por ello se tiene que tomar en cuenta los datos del fabricante, Para encontrar dicha potencia de inversión de salida se aplica la ecuación 28. (Howell, Bannerot, & Viet, 1982)

$$P_{inv-ip} \eta_{inv} = P_{inv-op} \quad (28)$$

3.6 Eficiencia del sistema hibrido.

Por último, para obtener la eficiencia de conversión de energía del sistema tanto de paneles solares fotovoltaicos como de pila de combustible se aplica la ecuación 29.

$$\eta_{sh} = (P_{pv} + P_{pc}) / (I_r * S_p) \quad (29)$$

CAPITULO 4.

4) RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO Y PILA DE COMBUSTIBLE.

En la figura 17 se muestra los componentes básicos de un sistema híbrido de panel solar fotovoltaico y pila de combustible. En este diagrama se puede apreciar la conexión de cada uno de los componentes, comenzando desde el panel solar fotovoltaico conectado hasta el controlador de carga que en una de sus salidas se conecta el banco de baterías. Una de las principales funciones del controlador de carga es la protección de las sobrecargas al banco de baterías manteniendo en su salida una tensión específica, de existir un aumento brusco en la tensión pasando el límite admitido de corriente para la carga este desconectará la carga, una vez normalizada tanto la corriente como la tensión se reconectará, de igual manera pasa cuando la corriente es mínima en el panel solar fotovoltaico.

Para obtener un porcentaje de corriente para la electrolisis del agua para la pila de combustible se conecta las baterías al electrolizador, las cuales, proporcionaran corriente hasta el límite de descarga de las mismas, de esta manera se tendrá un sistema funcionando constantemente, todos estos componentes están en corriente continua. Para la obtención de corriente alterna con un voltaje nominal de 120 Vac que se puede utilizar en una vivienda se conecta a un inversor en su salida, tomando desde los bornes del banco de baterías y desde los terminales de la pila de combustible a la entrada del inversor.

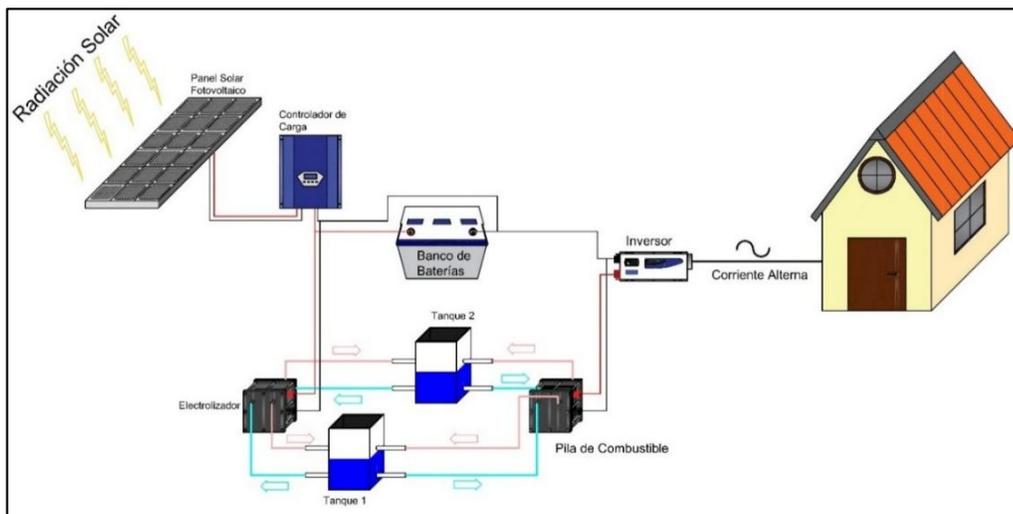


Figura 17. Diagrama de componentes básicos de un sistema híbrido
Fuente: Autor

En la figura 18 se muestra el diagrama de flujo general de cada una de las iteraciones numéricas del modelo de simulación dinámica para el sistema de panel fotovoltaico, pila de combustible y sistema híbrido que están representadas desde la ecuación 1 hasta la ecuación 29 en el capítulo tres.

Se comienza con el ingreso de parámetros necesarios para el cálculo como son I_r que es la representación de la radiación en W/m^2 , T la temperatura ambiente, I que es la corriente nominal al igual que V es el voltaje nominal del panel solar fotovoltaico que viene dado por datos del fabricante, S_p es el área del panel solar fotovoltaico, así como también los parámetros de la pila de combustibles como I y V de la misma y otros parámetros independientes y dependientes, una vez realizado el ingreso dichos parámetros se resuelve cada una de las ecuaciones mencionadas anteriormente, desde la ecuación 1 a la ecuación 8 nos permite sacar la potencia del sistema de panel solar fotovoltaico, de la ecuación 9 hasta la 22 la potencia de la pila de combustible incluyendo el proceso de conversión de energía para la determinación de la masa de hidrogeno, almacenamiento de energía, la ecuación 23 se encarga de la obtención de la potencia desde el controlador de carga, las ecuaciones 24 hasta la ecuación 27 nos permite saber el voltaje de carga y descarga de las baterías del sistema, la ecuación 28 nos ayuda a conseguir la corriente alterna para nuestro sistema y por último la ecuación 29 la eficiencia del sistema híbrido.

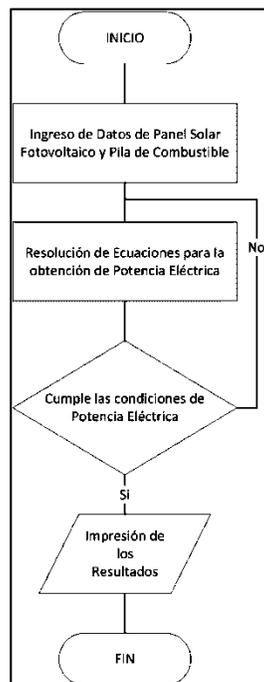


Figura 18. Diagrama de Flujo del sistema de cálculos
Fuente: Autor

4.1 Resultados de la simulación dinámica del sistema panel solar fotovoltaico.

Para el proceso de simulación dinámica del sistema híbrido pila de combustible y panel solar fotovoltaico, se tomó los datos técnicos de un panel solar de 36 piezas monocristalina de 156 mm x 156 mm cada una de las celdas solares, con un tamaño de 1482 x 670 x 35 mm el módulo completo entregando una potencia máxima de 120 W a 7,14 amperios como corriente máxima y 17,7 voltios en tensión máxima a su salida con una irradiación de 1000 W/m² a una temperatura de 25 °C en la celda fotovoltaica (Anexo 5). Un controlador (Anexo 6) que alimenta a un banco de baterías a 12 voltios con un rango de capacidad de 100 AH a 10 amperios (Anexo 7). Un inversor de corriente continua a corriente alterna que a su salida proporciona 120 Vac con una frecuencia de 60 Hz (Anexo 8).

4.1.1 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.

A continuación se muestra la simulación dinámica de 50 por ciento de panel solar fotovoltaico y 50 por ciento de pila de combustible, como parámetros iniciales se tomaron datos de fábrica como irradiación solar de 1000 W/m² especificada por el fabricante como radiación ideal, temperatura de 25 °C, tensión de 17,7 voltios, corriente de 7,14 amperios y otros parámetros adicionales, con la aplicación de las ecuaciones 1 hasta la ecuación 8 que corresponde a paneles solares fotovoltaicos dieron como resultado las siguientes figuras:

En la figura 19 se muestra la temperatura de las celdas con relación al tiempo en segundos la cual se eleva esta los 75,57 °C como temperatura máxima.

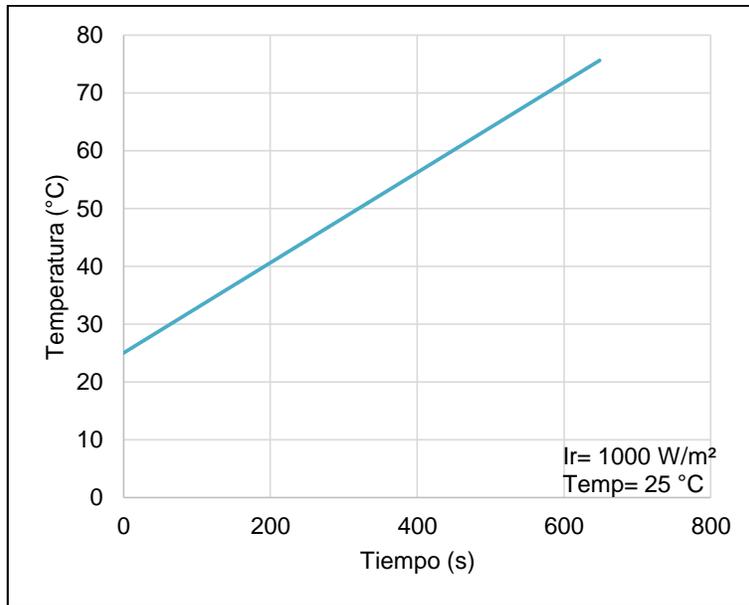


Figura 19. Temperatura de la Celda Fotovoltaica con relación al tiempo
Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la figura 20, la corriente del panel solar fotovoltaico se eleva con relación al tiempo llegando a los 9.71 Amperios.

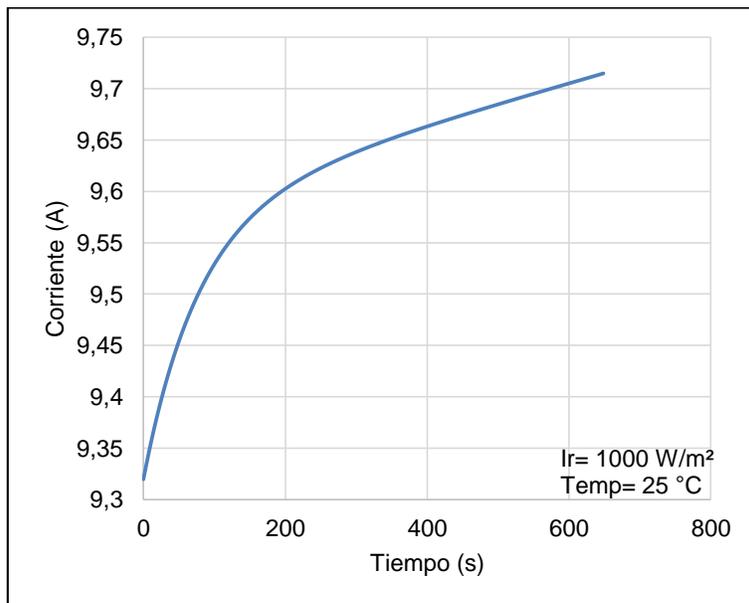


Figura 20. Corriente del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo
Fuente: Autor

La potencia del panel solar fotovoltaico está fuertemente relacionada a la corriente del panel solar fotovoltaico, es por eso que si la corriente del arreglo fotovoltaico tiene un valor igual a 0 Amperios la potencia del mismo será 0 Watts, en la figura 21 se representa

la potencia generada en un transcurso de tiempo determinado, generándose así una potencia de 171,95 Watts.

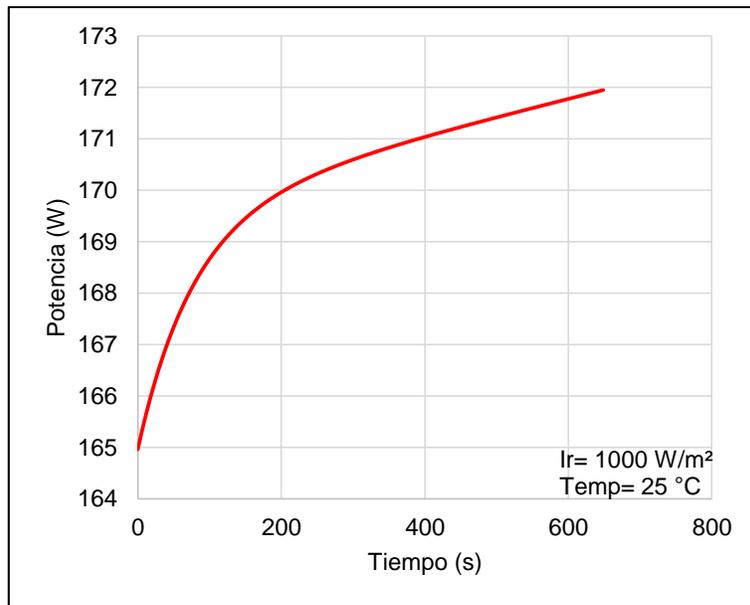


Figura 21. Potencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo
Fuente: Autor

La eficiencia de panel solar fotovoltaico se ve reflejada en la figura 22 que como resultado una eficiencia de 23,72 por ciento.

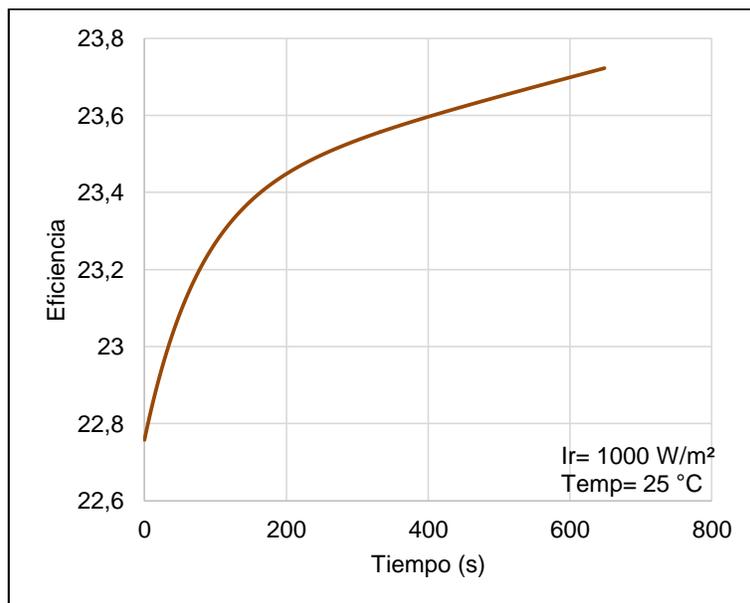


Figura 22. Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo
Fuente: Autor

La relación entre la potencia y la corriente del sistema solar fotovoltaico se muestra en la figura 23, dando como punto máximo de corriente 9,71 amperios y una potencia de 171,94 Watts.

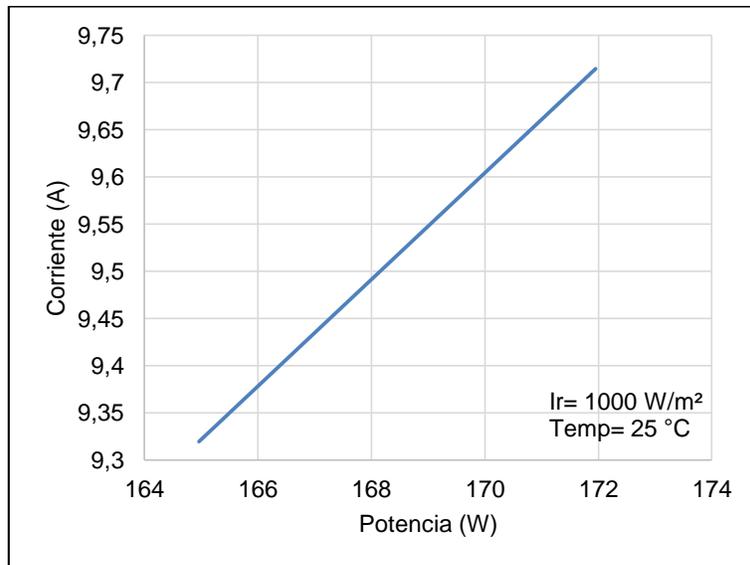


Figura 23. Potencia vs Corriente del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo
Fuente: Autor

Así como también la relación entre la eficiencia del sistema solar fotovoltaico y la potencia del sistema que se ve reflejada en la figura 24, dando como resultado una eficiencia máxima de 23,72 por ciento a una potencia de 171,94 Watts.

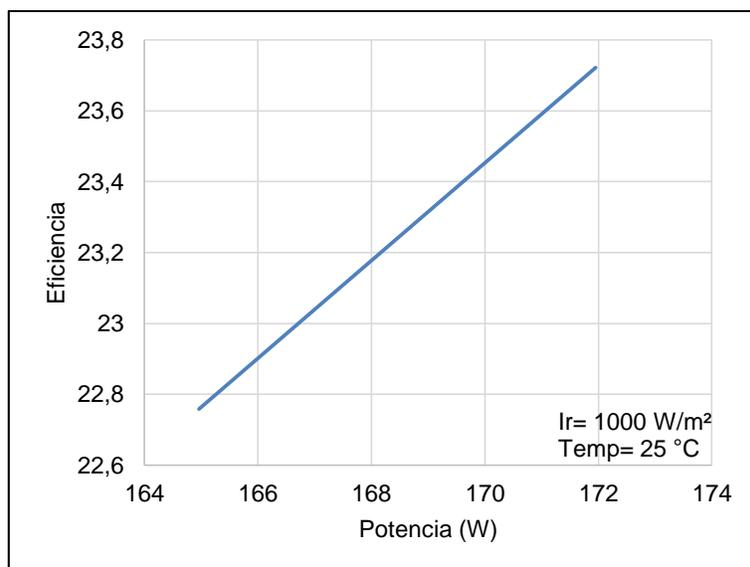


Figura 24. Potencia vs Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico con relación al tiempo
Fuente: Autor

4.1.2 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.

En el proceso de simulación dinámica se utilizaron diferentes condiciones como radiación solar de 1000 W/m² como la ideal, 750 W/m² y 500 W/m² con un porcentaje de 50 por ciento de panel solar fotovoltaico y 50 por ciento de pila de combustible, 60 por ciento de panel solar fotovoltaico y 40 por ciento de pila de combustible y por ultima 70 por ciento de panel solar fotovoltaico y 30 por ciento de pila de combustible.

Para el proceso de análisis y posterior conclusión se tomaron las siguientes condiciones: 50 por ciento de panel solar fotovoltaico con un 50 por ciento de pila de combustible y 70 por ciento de panel solar fotovoltaico con un 30 por ciento de pila de combustible.

4.1.2.1 Condición del 50 por ciento de panel solar y 50 por ciento de pila de combustible.

Las figuras desde la 25 hasta la 30 se muestran las gráficas realizadas en la simulación dinámica del sistema con las condiciones de 1000 W/m², 750 W/m² y 500 W/m² con el porcentaje del 50 por ciento en el panel solar fotovoltaico y el restante 50 por ciento a la pila de combustible.

La temperatura de las celdas solares fotovoltaicas es variable en cada una de las condiciones de radiación solar, dando como resultado las siguientes temperaturas:

- Con radiación solar de 1000 W/m² la temperatura de la celda es 75,57 °C,
- Con radiación solar de 750 W/m² la temperatura de la celda es 62,93 °C,
- Con radiación solar de 500 W/m² la temperatura de la celda es 50,28 °C. Ver figura 25.

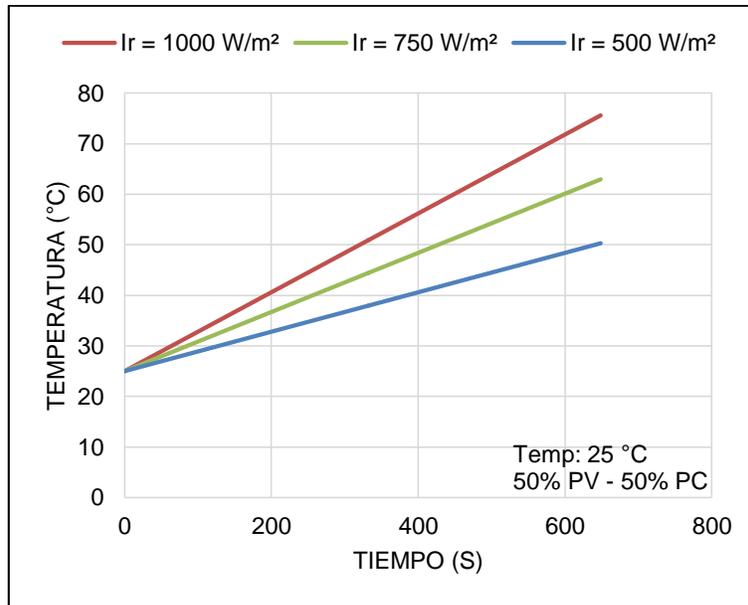


Figura 25. Temperatura de la Celda Solar Fotovoltaico al 50 %
Fuente: Autor

La corriente de cada una de las condiciones es diferente como se observa en la figura 26, siendo la irradiación de 1000 W/m^2 la de mayor cantidad de corriente, por ende, mayor corriente mayor potencia de generación en el sistema de panel solar fotovoltaico.

Los resultados de la simulación dinámica de corriente con el 50% de utilización del panel solar fotovoltaico en las diferentes condiciones son las siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m^2 se obtuvo una corriente de 9,71 amperios,
- Con una radiación solar de 750 W/m^2 se obtuvo una corriente de 7,26 amperios,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m^2 se obtuvo una corriente de 4,81 amperios.

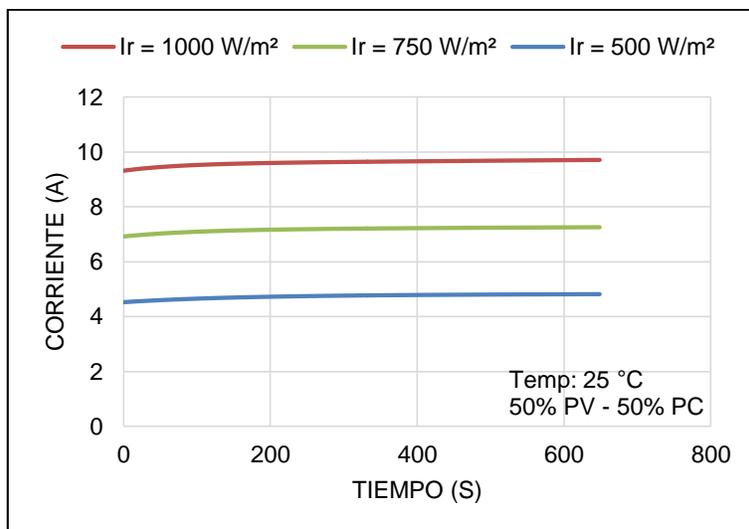


Figura 26. Corriente del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %
Fuente: Autor

Los resultados de la simulación dinámica del sistema para la obtención de la potencia de generación eléctrica son los siguientes:

- Con una irradiación de 1000 W/m² con el 50% de la utilización del panel solar fotovoltaico es de 171,95 Watts,
- Con una irradiación media de 750 W/m² se obtiene una potencia de 128,51 Watts,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m² se obtiene una potencia de 85,29 Watts. Ver figura 27.

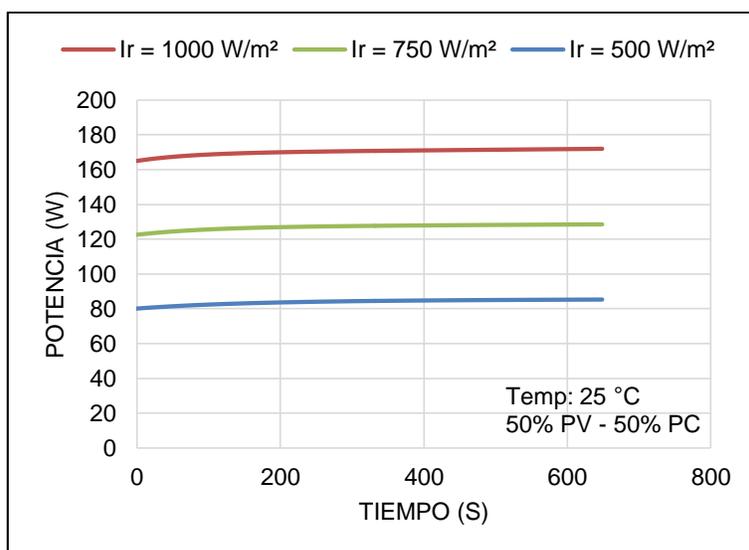


Figura 27. Potencia Panel Solar Fotovoltaico al 50 %
Fuente: Autor

En la Figura 28, se puede observar que conforme se eleva la corriente del sistema de panel solar fotovoltaico la potencia del sistema se incrementa de igual manera, siendo la radiación de 1000 W/m² la más óptima. También se puede observar que por la corta variación del tiempo se generan resultados cortos en la figura.

Los resultados de la simulación dinámica son los siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m² se obtuvo una potencia de 171,95 Watts a una corriente de 9,71 amperios,
- Con una radiación solar de 750 W/m² se obtuvo una potencia de 128,18 Watts a una corriente de 7,24 amperios,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m² se obtuvo una potencia de 85,04 Watts a una corriente de 4,81 amperios.

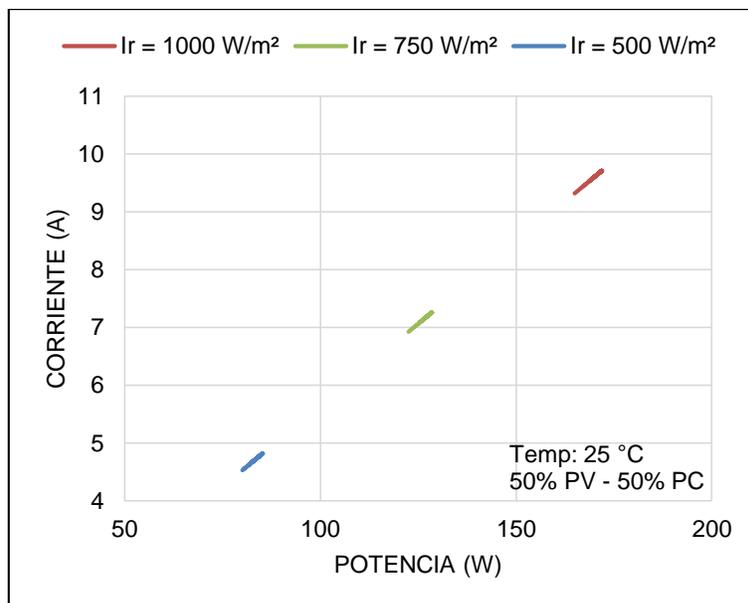


Figura 28. Potencia vs Corriente del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %- 1000 W/m²
Fuente: Autor

En la simulación dinámica la eficiencia del sistema de panel solar fotovoltaico en las tres condiciones de irradiación es similares con una variación de décimas, obteniendo los siguientes resultados:

- Con una irradiación de 1000 W/m² con el 50% de la utilización del panel solar fotovoltaico se obtiene una eficiencia de 23,72 por ciento,

- Con una irradiación media de 750 W/m^2 se obtiene una eficiencia de 23,64 por ciento,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m^2 se obtiene una eficiencia de 23,53 por ciento, Ver figura 29.

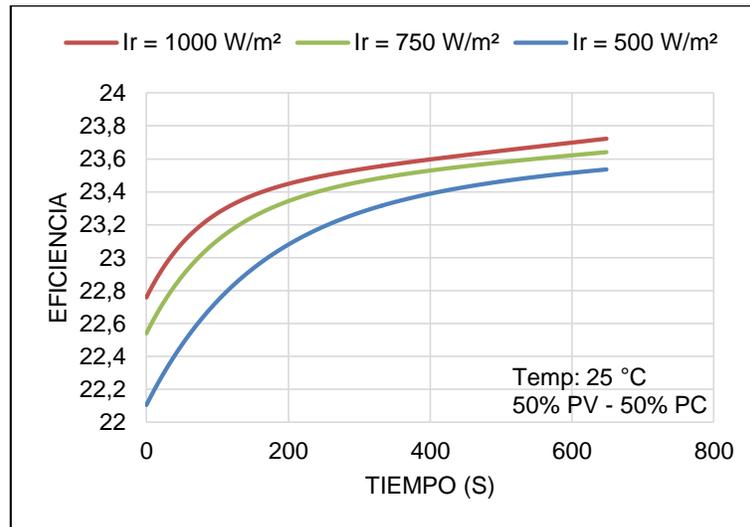


Figura 29. Eficiencia Panel Solar Fotovoltaico al 50 %
Fuente: Autor

En la Figura 30, se puede observar que conforme se eleva la potencia del sistema de panel solar fotovoltaico la eficiencia del sistema se incrementa de igual manera, siendo la radiación de 1000 W/m^2 la más óptima, sin embargo, existe un cambio mínimo desde su inicio y su final.

Los resultados de la simulación dinámica son los siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m^2 se obtuvo una potencia de 171,95 Watts a una eficiencia de 23,68 por ciento,
- Con una radiación solar de 750 W/m^2 se obtuvo una potencia de 128,18 Watts a una eficiencia de 23,63 por ciento,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m^2 se obtuvo una potencia de 85,04 Watts eficiencia de 23,53 por ciento.

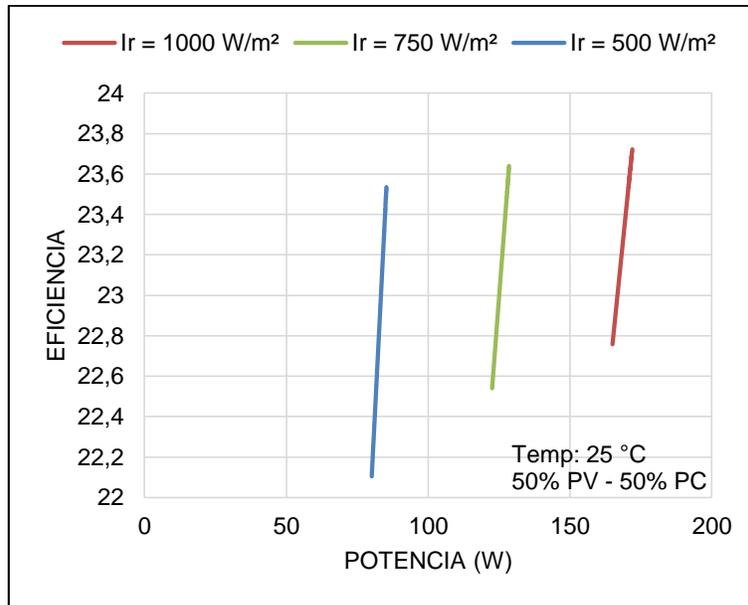


Figura 30. Potencia vs Eficiencia del Panel Solar Fotovoltaico al 50 %- 1000 W/m²
Fuente: Autor

4.1.2.2 Condición del 70 por ciento de panel solar y 30 por ciento de pila de combustible.

Las figuras desde la 31 hasta la figura 36 se muestran las gráficas realizadas en la simulación dinámica del sistema con las condiciones de 1000 W/m², 750 W/m² y 550 W/m² con el porcentaje del 70 por ciento en el panel solar fotovoltaico y el restante 30 por ciento a la pila de combustible.

La temperatura de las celdas solares fotovoltaicas es variable en cada una de las condiciones de radiación solar, dando como resultado las siguientes temperaturas:

- Con radiación solar de 1000 W/m² la temperatura de la celda es 75,57 °C,
- Con radiación solar de 750 W/m² la temperatura de la celda es 62,93 °C,
- Con radiación solar de 500 W/m² la temperatura de la celda es 50,28 °C. (Ver figura 31.)

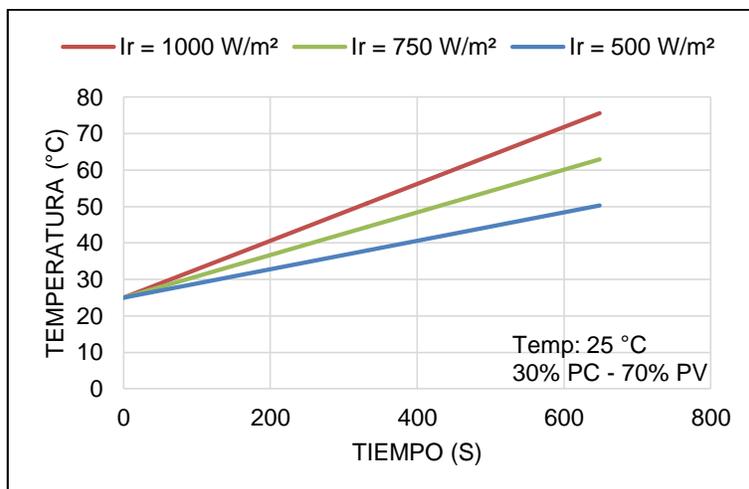


Figura 31. Temperatura de la Celda Solar Fotovoltaico al 70 %
Fuente: Autor

La corriente de cada una de las condiciones es diferente como se observa en la figura 32, siendo la irradiación de 1000 W/m² la de mayor cantidad de corriente, por ende mayor corriente mayor potencia de generación en el sistema de panel solar fotovoltaico.

Los resultados de la simulación dinámica de corriente con el 70% de utilización del panel solar fotovoltaico en las diferentes condiciones son las siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m² se obtuvo una corriente de 13,60 amperios,
- Con una radiación solar de 750 W/m² se obtuvo una corriente de 10,16 amperios,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m² se obtuvo una corriente de 6,74 amperios.

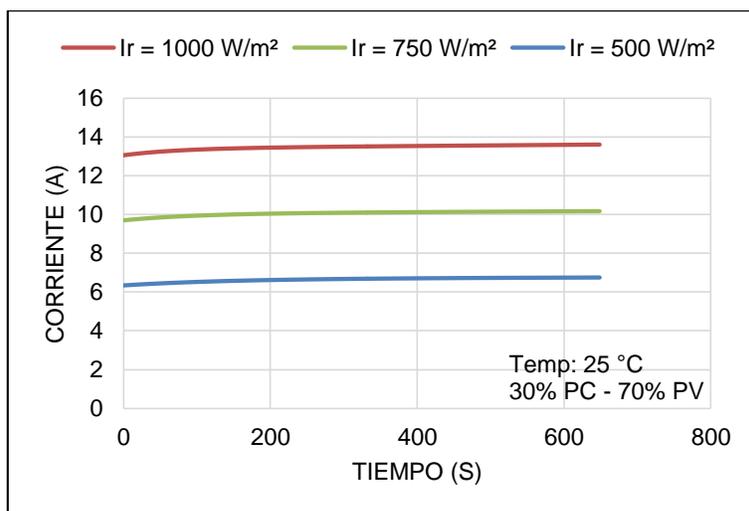


Figura 32. Corriente al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico
Fuente: Autor

Los resultados de la simulación dinámica del sistema para la obtención de la potencia de generación eléctrica son los siguientes:

- Con una irradiación de 1000 W/m² con el 70% de la utilización del panel solar fotovoltaico es de 240,73 Watts,
- Con una irradiación media de 750 W/m² se obtiene una potencia de 179,92 Watts,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m² se obtiene una potencia de 119,41 Watts. Ver figura 33.

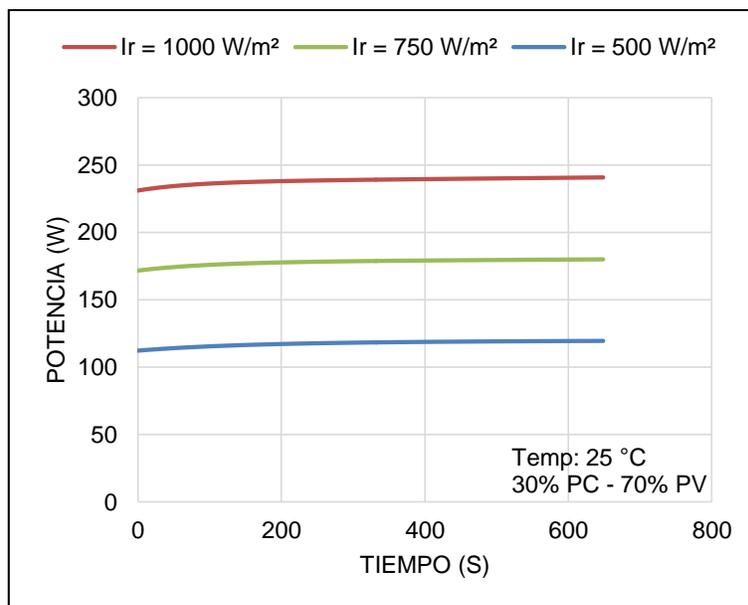


Figura 33. Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico
Fuente: Autor

En la Figura 34, se puede observar que conforme se eleva la corriente del sistema de panel solar fotovoltaico la potencia del sistema se incrementa de igual manera, siendo la radiación de 1000 W/m² la más óptima. También se puede observar que por la corta variación del tiempo se generan resultados cortos en la figura.

Los resultados de la simulación dinámica son los siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m² se obtuvo una potencia de 240,18 Watts a una corriente de 13,57 amperios,
- Con una radiación solar de 750 W/m² se obtuvo una potencia de 179,79 Watts a una corriente de 10,15 amperios,

- Con la radiación solar menor de 500 W/m^2 se obtuvo una potencia de 119,40 Watts a una corriente de 6,74 amperios.

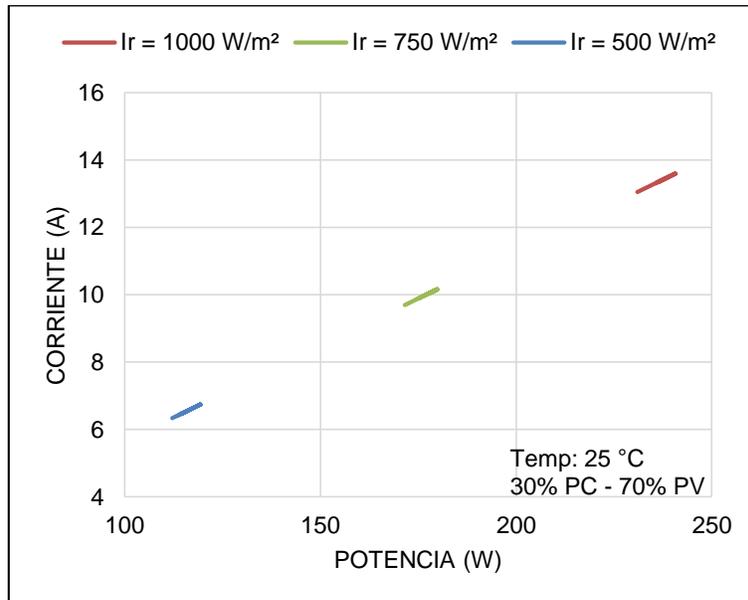


Figura 34. Corriente vs Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico - 1000 W/m^2
Fuente: Autor

En la simulación dinámica la eficiencia del sistema de panel solar fotovoltaico en las tres condiciones de irradiación es similares con una variación de décimas, obteniendo los siguientes resultados:

- Con una irradiación de 1000 W/m^2 con el 50% de la utilización del panel solar fotovoltaico se obtiene una eficiencia de 33,21 por ciento,
- Con una irradiación media de 750 W/m^2 se obtiene una eficiencia de 33,09 por ciento,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m^2 se obtiene una eficiencia de 32,94 por ciento, Ver figura 35.

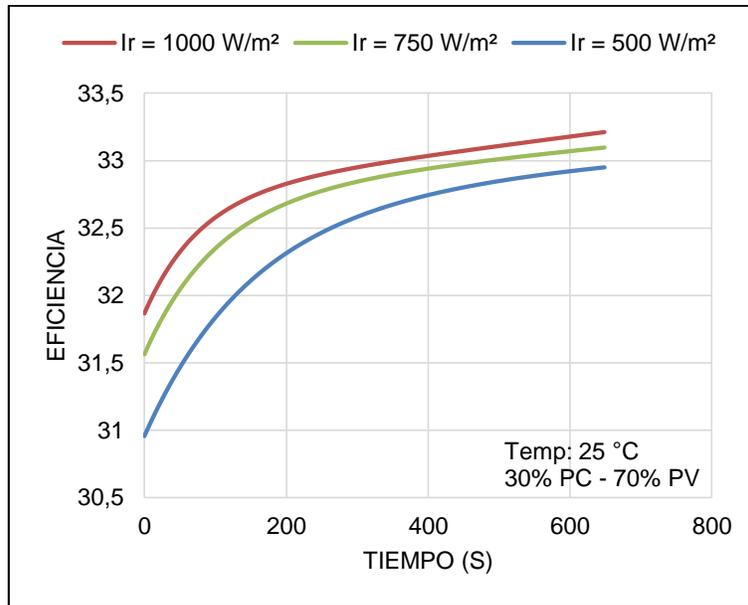


Figura 35. Eficiencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico
Fuente: Autor

En la Figura 36, se puede observar que conforme se eleva la potencia del sistema de panel solar fotovoltaico la eficiencia del sistema se incrementa de igual manera, siendo la radiación de 1000 W/m^2 la más óptima, sin embargo, existe un cambio mínimo desde su inicio y su final.

Los resultados de la simulación dinámica son los siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m^2 se obtuvo una potencia de 240,18 Watts a una eficiencia de 33,17 por ciento,
- Con una radiación solar de 750 W/m^2 se obtuvo una potencia de 179,79 Watts a una eficiencia de 33,05 por ciento,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m^2 se obtuvo una potencia de 119,40 Watts eficiencia de 32,93 por ciento.

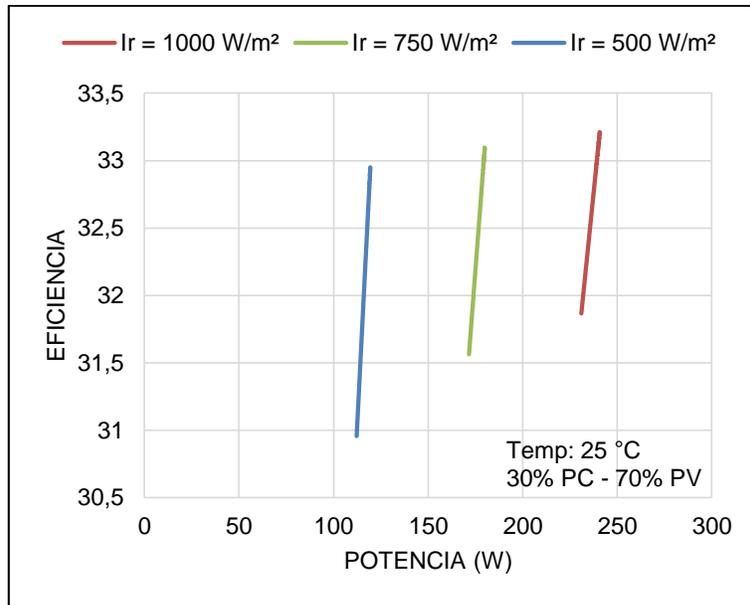


Figura 36. Eficiencia vs Potencia al 70 % del Panel Solar Fotovoltaico - 1000 W/m²
Fuente: Autor

4.1.3 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.

Para la obtención de los parámetros de radiación solar y temperatura se utilizó un Registrador de datos de estación meteorológica USB HOB0 U30 (Anexo 4) de la compañía Onset de los Estados Unidos de Norteamérica. (Ver ilustración 16). Este registrador tiene la capacidad de 10 canales para la recolección de datos ambientales.



Ilustración 16. Registrador de datos de estación meteorológica USB HOB0 U30
Fuente: (Alphaomega-Electronics, 2017)

Este kit básico de estación meteorológica USB HOBO U30 (ilustración 17) consiste en los siguientes componentes:

- Registrador de datos HOBO U30 NRC con 10 entradas
- Panel solar de 3W
- Sensor inteligente de temperatura / RH.
- Sensor inteligente de velocidad del viento,
- Sensor inteligente de dirección del viento,
- Escudo de radiación solar para sensor de temperatura



*Ilustración 17. HOBO U30 USB Weather Station Starter Kit
Fuente: (Onset, 2017)*

Para la obtención de la base de datos recolectada por el registrador se lo carga mediante puerto USB y con la utilización de software HOBOWare® de la misma compañía Onset (Ver ilustración 18).

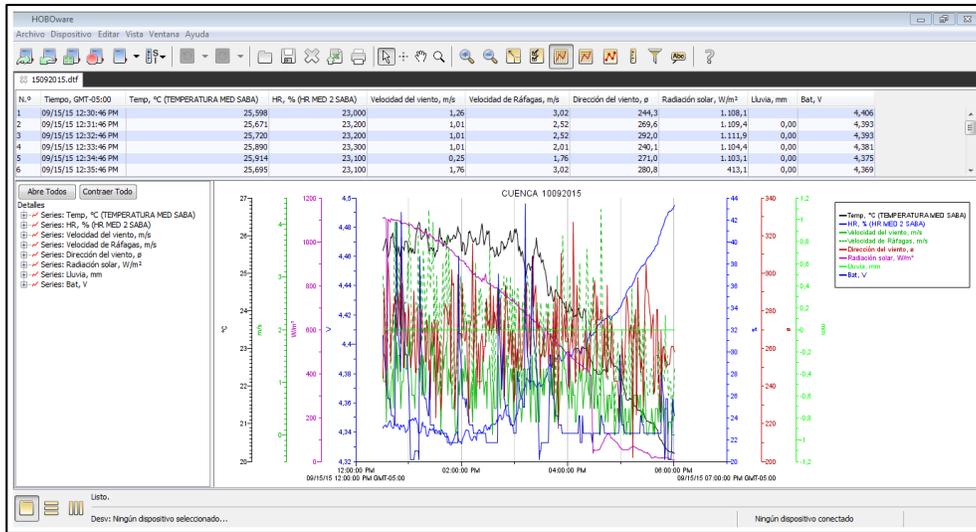


Ilustración 18. Software HOBOWare®
Fuente: Autor

Los sistemas de paneles solares fotovoltaicos dependen de la irradiación generada por el sol como se puede apreciar en la figura 37, y de la temperatura ambiente que se puede observar en la figura 38, así como también de otros parámetros como es la relación de tensión-corriente y a su vez de la tensión-potencia.

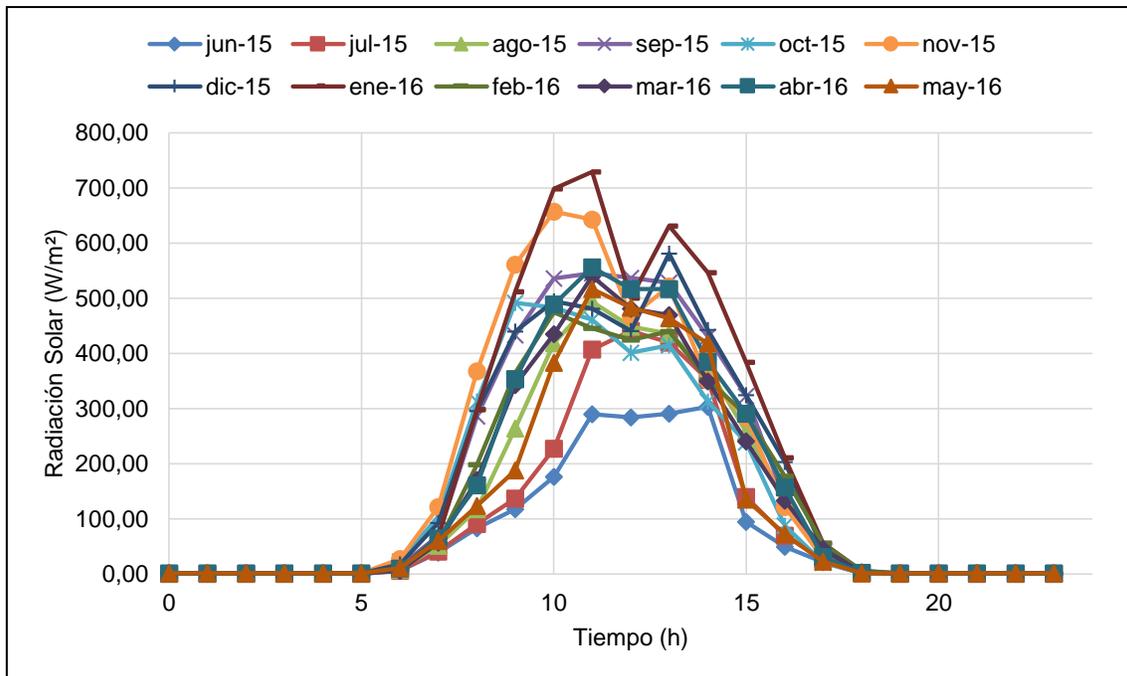


Figura 37. Irradiación solar mensual Junio 2015 – Mayo 2016 (W/m²)
Fuente: Autor

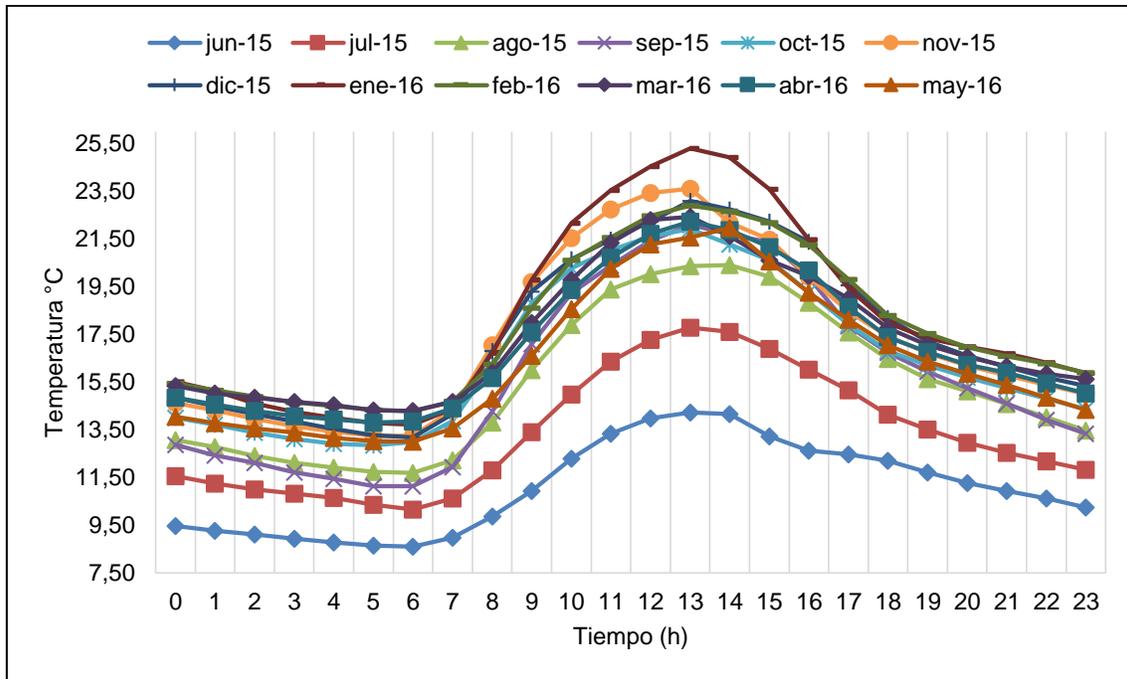


Figura 38. Temperatura Ambiente mensual Junio 2015 – Mayo 2016 (°C)
Fuente: Autor

Para el proceso de simulación dinámica del sistema híbrido de pila de combustible y panel solar fotovoltaico se tomaron los datos de radiación solar y temperatura de mayor, media y menor cantidad de doce meses siendo los meses de septiembre 2015, enero 2016 y mayo 2016 presentados para el análisis.

A continuación, se muestran los resultados en la tabla 3 de los tres meses con las tres condiciones establecidas de 50% panel solar fotovoltaico (PV), 60% panel solar fotovoltaico (PV) y 70% panel solar fotovoltaico (PV) correspondiente a la corriente.

Tabla 3. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la corriente (A)
Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	5,25 A	6,30 A	7,35 A
Enero 2016	7,05 A	8,46 A	9,87 A
Mayo 2016	4,97 A	5,57 A	6,96 A

En la figura 39, el mes de Enero 2016 es el de mayor radiación y con el 70 por ciento de la utilización de panel solar fotovoltaico obteniendo una corriente de 9,87 amperios, así como los resultados de la simulación dinámica de cada uno de los meses y con sus respectiva condición.

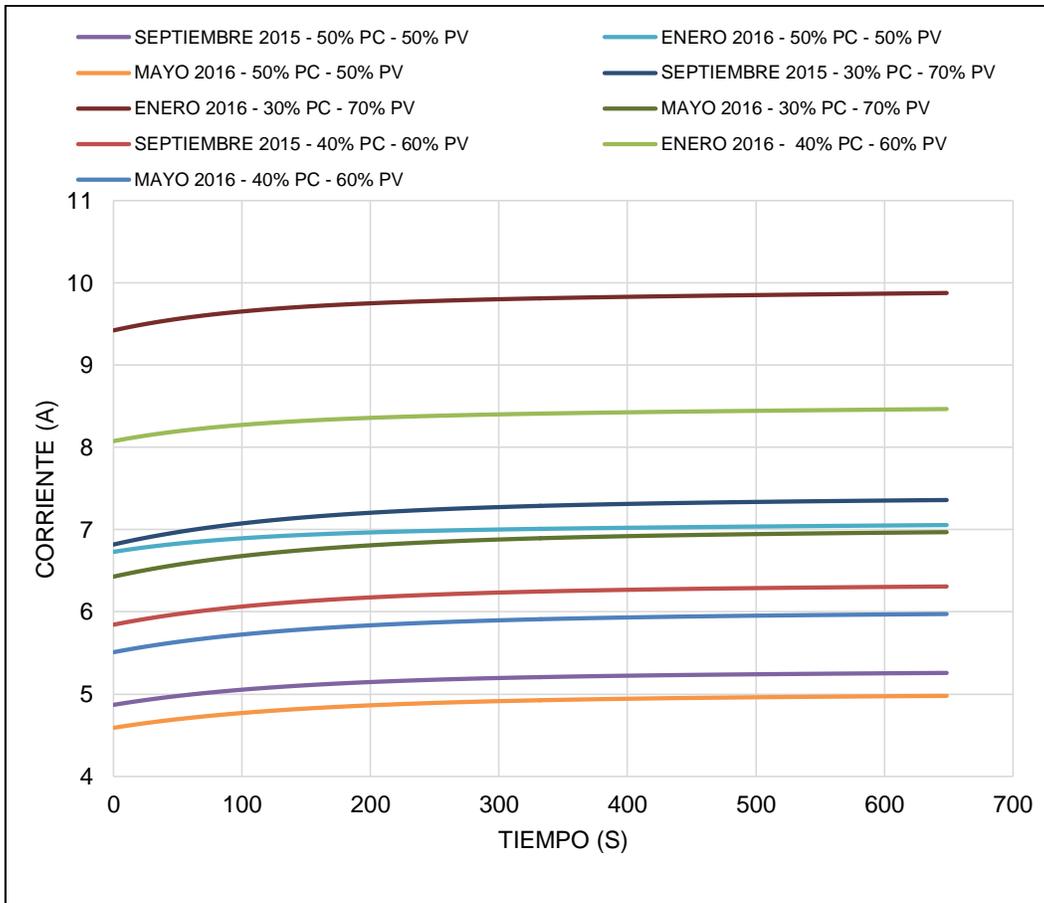


Figura 39. Corriente de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente
Fuente: Autor

La potencia del panel solar fotovoltaico se rige a la cantidad de corriente es por eso que el mes con mayor radiación va a producir más potencia de generación.

En la tabla 4 y la figura 40 se puede visualizar los resultados de la simulación dinámica de cada uno de los meses y sus diversas condiciones.

Tabla 4. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la potencia (W)
Fuente: Fuente Propia

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	93,04 W	111,65 W	130,26 W
Enero 2016	124,88 W	149,85 W	174,83 W
Mayo 2016	88,10 W	105,72 W	123,25 W

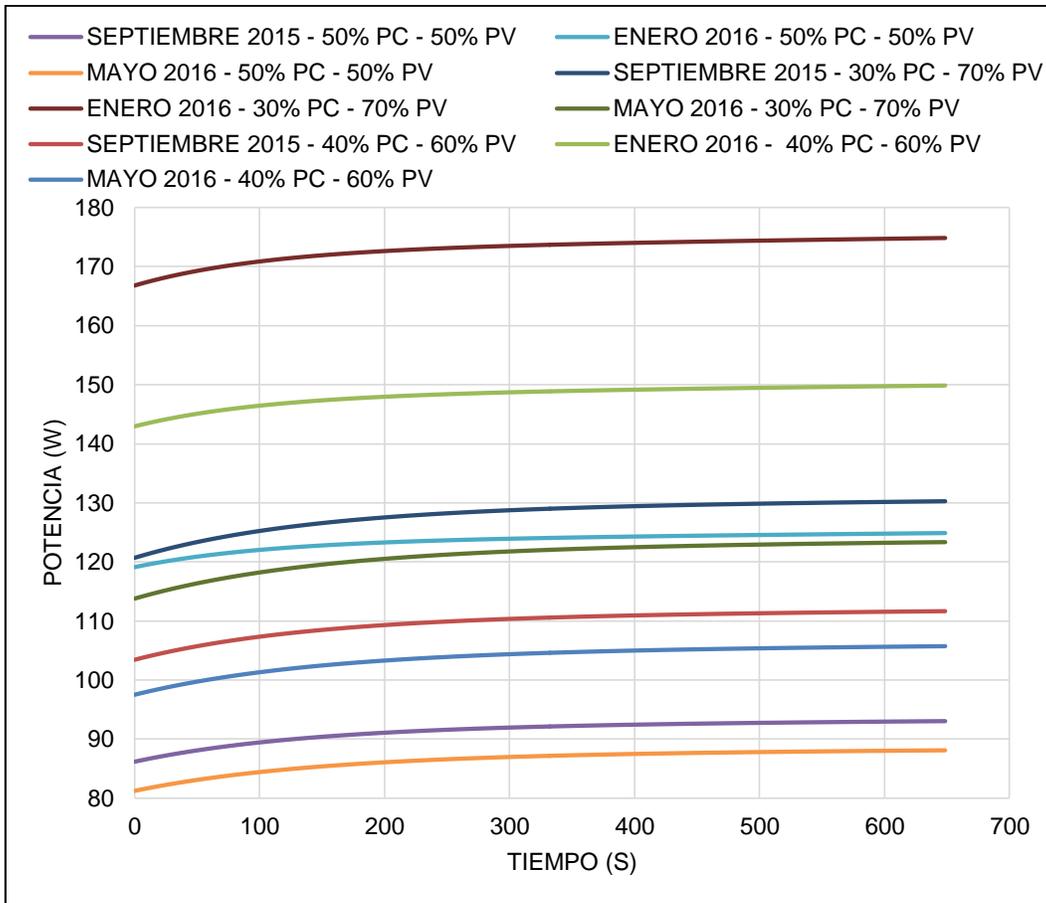


Figura 40. Potencia de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente
Fuente: Autor

La eficiencia del panel solar fotovoltaico se rige a energía que ingresa hasta el panel y la energía que sale del mismo.

En la figura 41 la eficiencia en los tres meses se asemeja en las diferentes condiciones. Al 70 por ciento de utilización de panel solar fotovoltaico la eficiencia en los tres meses es aproximadamente 33 por ciento, al 60 por ciento de utilización de panel solar fotovoltaico es de 28,5 por ciento y al 50 por ciento es de aproximadamente 23,5 por ciento.

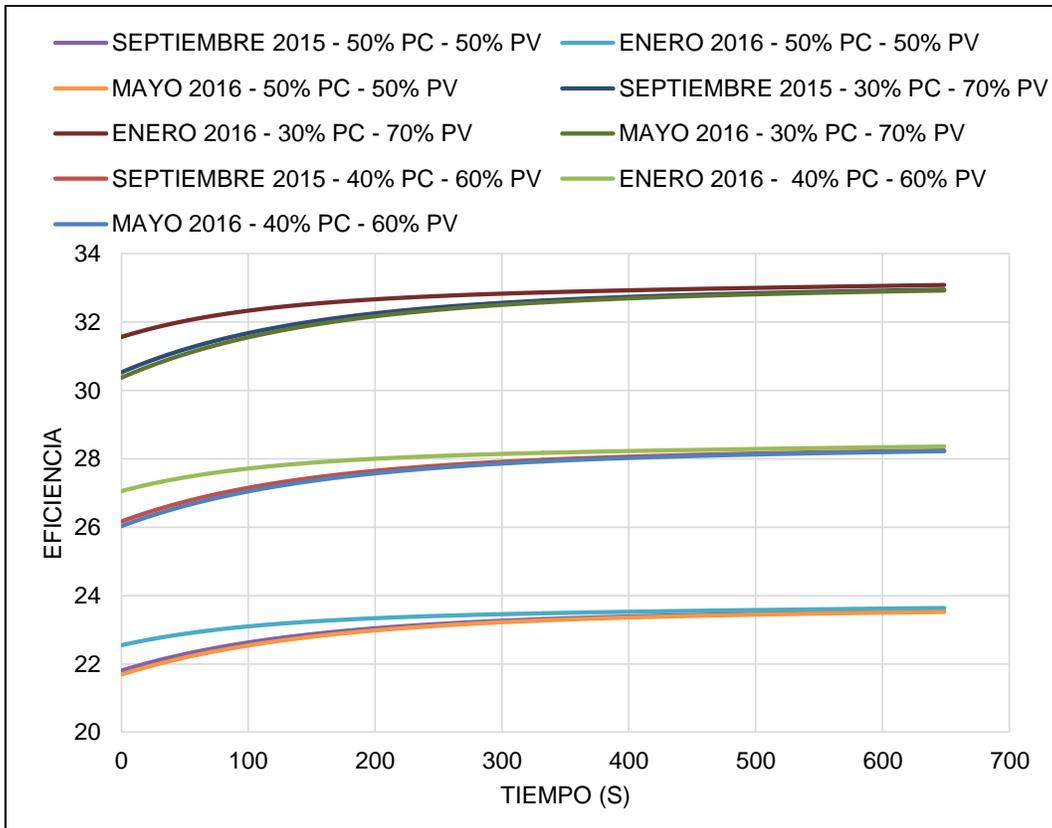


Figura 41. Eficiencia de Panel Solar Fotovoltaico meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 60%, 70% respectivamente
Fuente: Autor

4.1.4 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas en distintos periodos de tiempo.

Para el proceso de simulación dinámica se tomó los datos correspondientes a las 7 am, 9 am, 12 pm, 3 pm y 5 pm del promedio del mes de septiembre del 2015 y noviembre del 2015 con el 50 por ciento de utilización del panel solar fotovoltaico.

En el mes de septiembre del 2015, los resultados en la simulación dinámica del panel solar fotovoltaico son los expuestos en la tabla 5:

Tabla 5. Resultados de la Simulación Dinámica septiembre 2015
Fuente: Fuente Propia

Hora	7 am	9 am	12 pm	3 pm	5 pm
Corriente (A)	0	3,54	4,76	2,70	0
Potencia (W)	0	62,77	84,27	47,87	0
Eficiencia (%)	0	20,02	21,65	20,48	0

En desde la figura 42 hasta la 44 se puede observar la curva generada durante las 5 horas tomadas del promedio del mes de septiembre del 2015.

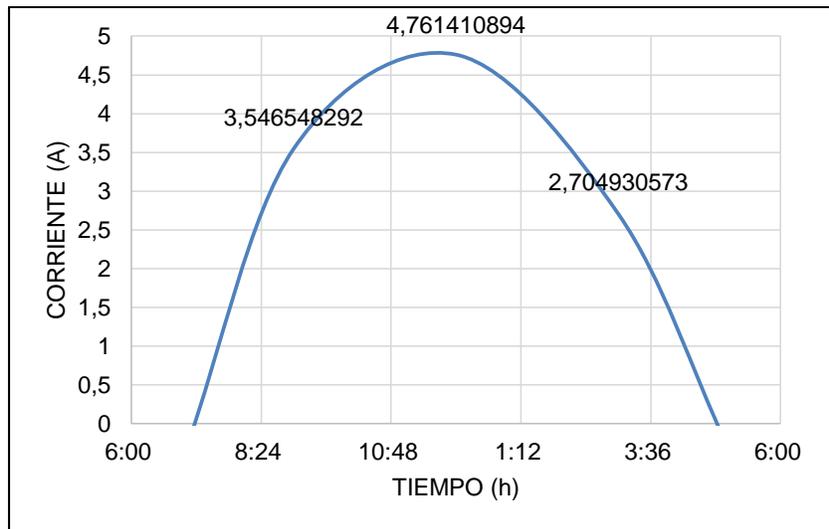


Figura 42. Corriente 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015
Fuente: Autor

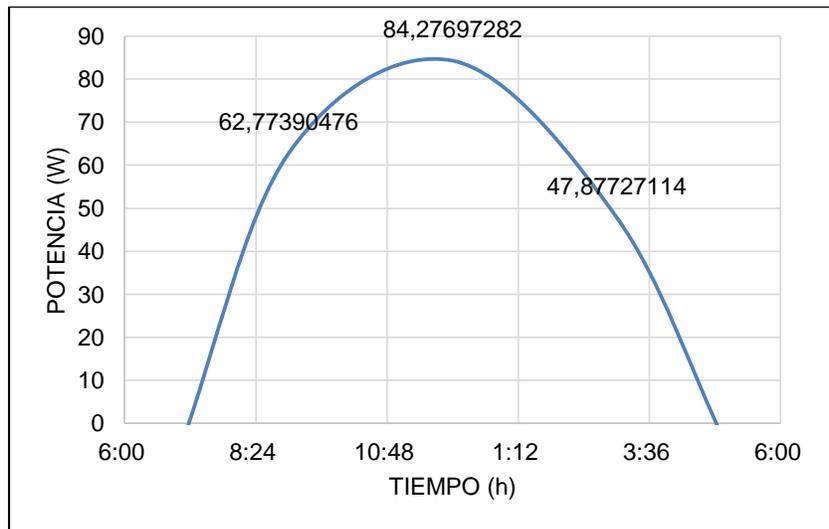


Figura 43. Potencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015
Fuente: Autor

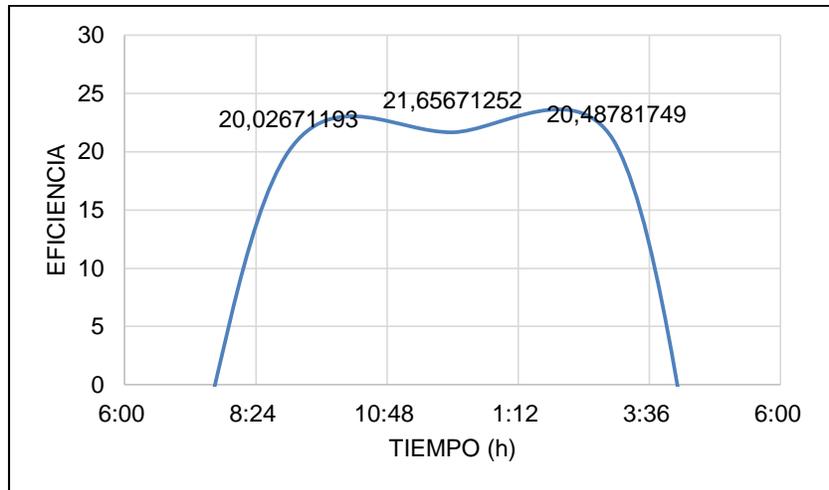


Figura 44. Eficiencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de septiembre 2015
Fuente: Autor

En el mes de noviembre del 2015, los resultados en la simulación dinámica del panel solar fotovoltaico son los expuestos en la tabla 6:

Tabla 6. Resultados de la Simulación Dinámica noviembre 2015
Fuente: Autor

Hora	7 am	9 am	12 pm	3 pm	5 pm
Corriente (A)	0,37	4,91	4,15	2,33	0
Potencia (W)	6,62	86,99	73,61	41,40	0
Eficiencia (%)	7,51	21,40	21,76	20,12	0

En desde la figura 45 hasta la 47 se puede observar la curva generada durante las 5 horas tomadas del promedio del mes de noviembre del 2015.

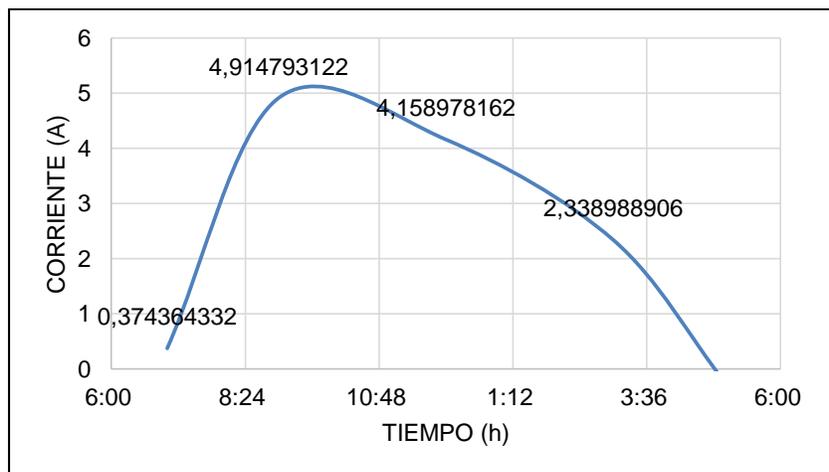


Figura 45. Corriente 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015
Fuente: Autor

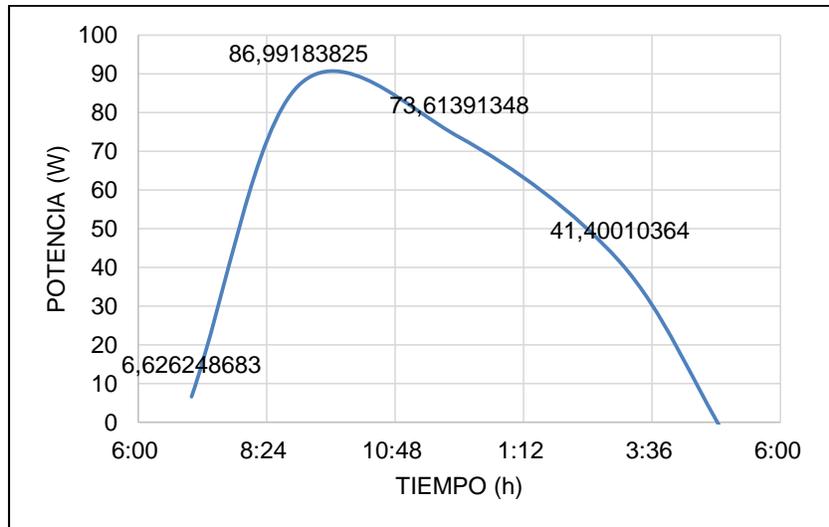


Figura 46. Potencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015
Fuente: Autor

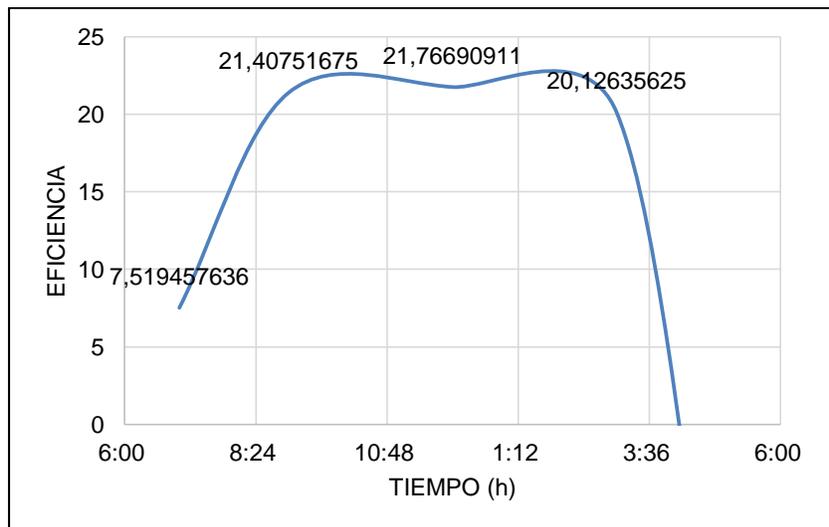


Figura 47. Eficiencia 50 % al Panel Solar Fotovoltaico en periodos distintos de 4 horas - Mes de noviembre 2015
Fuente: Autor

4.2 Resultados de la simulación dinámica del sistema pila de combustible.

Las características de la pila de combustible tomado para la simulación dinámica son las siguientes: la temperatura de operación de la pila de combustible es de 338 Kelvin que en grados Celsius es aproximadamente 25 °C, con una corriente eléctrica proporcionada por el panel solar fotovoltaico.

4.2.1 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.

A continuación, se muestra la simulación dinámica de 50 por ciento de panel solar fotovoltaico y 50 por ciento pila de combustible, como parámetros iniciales se tomaron datos de fábrica como temperatura de 25 °C, la tensión y la corriente provienen del sistema de paneles solares fotovoltaicos y otros parámetros adicionales, con la aplicación de las ecuaciones 9 hasta la ecuación 22 se obtuvo los resultados presentados en las siguientes figuras:

En la figura 48 se puede observar como resultado la tensión para complementar el 50 por ciento para la carga que en su punto máximo se obtuvo una tensión de 18,03 voltios con variación del tiempo.

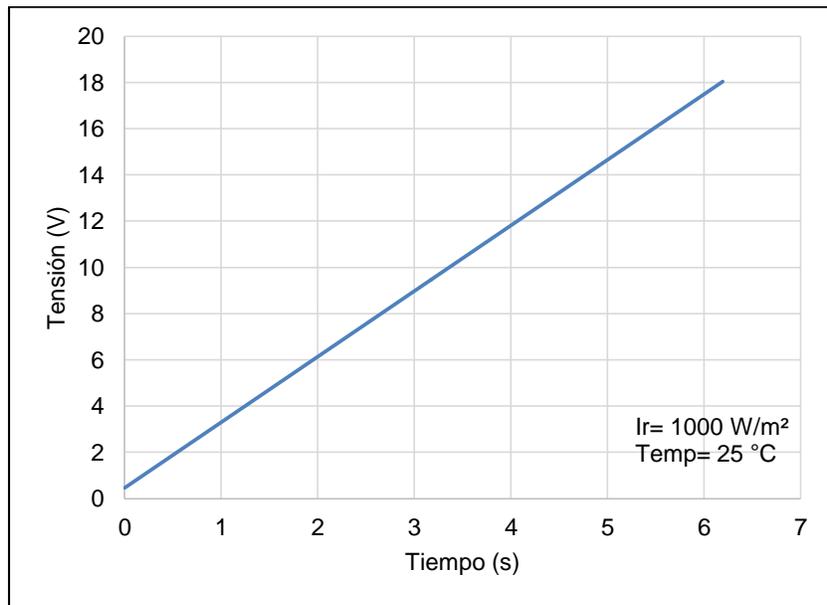


Figura 48. Tensión de Pila de Combustible con relación al tiempo
Fuente: Autor

A diferencia del panel solar fotovoltaico, la potencia de pila de combustible tiene una estrecha relación con el voltaje generando como potencia máxima 175,18 Watts. En la figura 49 se muestra la potencia generada en un lapso de tiempo.

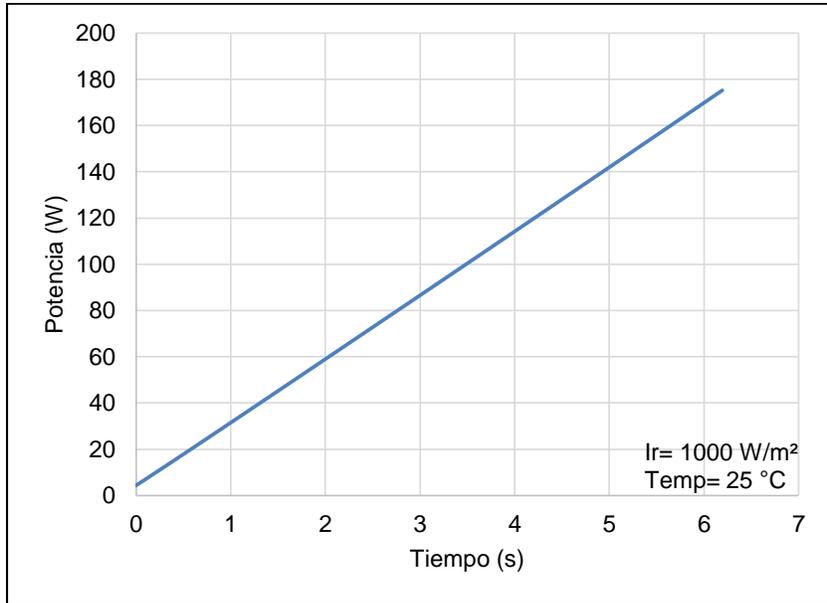


Figura 49. Potencia de Pila de combustible con relación al tiempo
Fuente: Autor

La eficiencia en la pila de combustible se observa en la figura 50, alcanzando los 42,9 por ciento en un tiempo determinado.

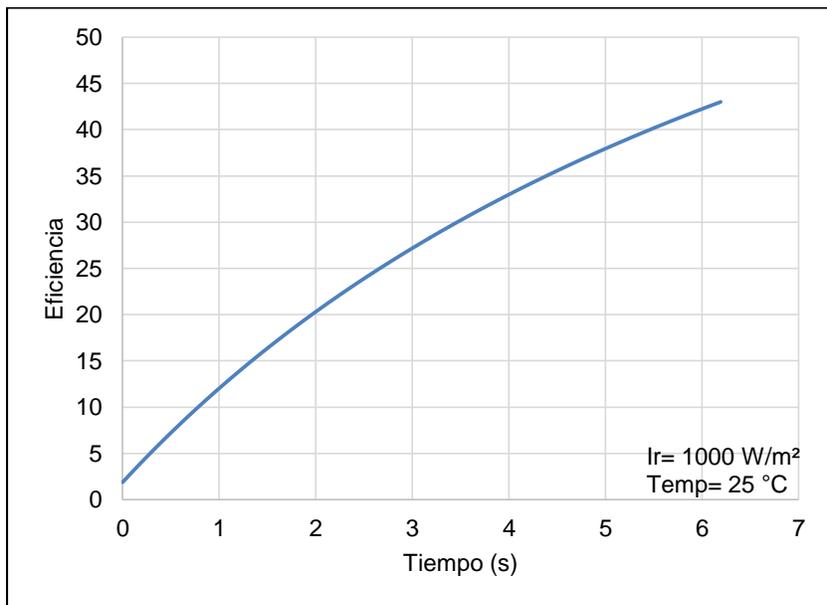


Figura 50. Eficiencia de Pila de Combustible con relación al tiempo
Fuente: Autor

En la figura 51 se puede observar la masa de hidrogeno que a su inicio está en los 1,61 Kilogramos y va disminuyendo con el tiempo hasta llegar a 0,07 Kilogramos.

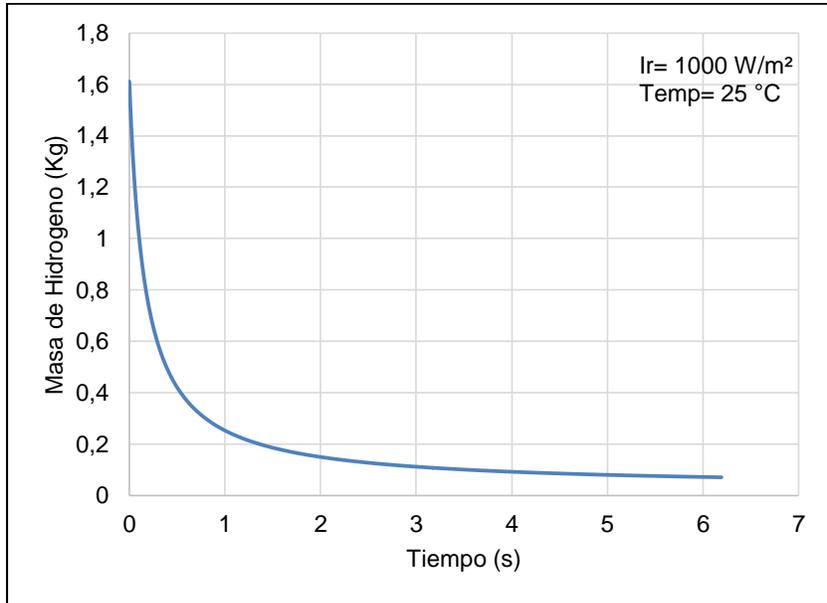


Figura 51. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible con relación al tiempo
Fuente: Autor

La relación entre la potencia y la tensión del sistema de pila de combustible se muestra en la figura 52, dando como punto máximo de tensión 18,03 voltios y una potencia de 175,18 Watts.

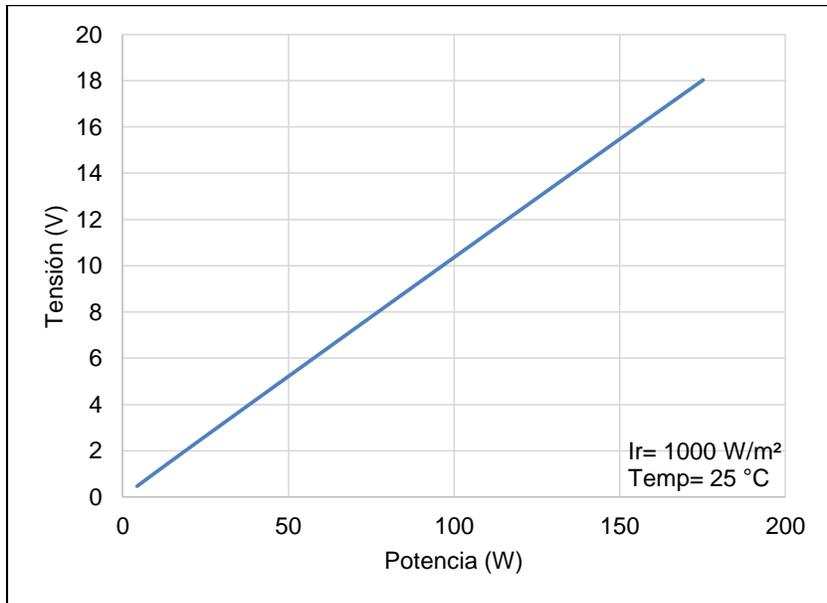


Figura 52. Potencia VS Tensión de Pila de Combustible
Fuente: Autor

Así como también la relación entre la eficiencia del sistema de pila de combustible y la potencia del sistema que se ve reflejada en la figura 53, dando como resultado una eficiencia máxima de 42,98 por ciento a una potencia de 175,18 Watts.

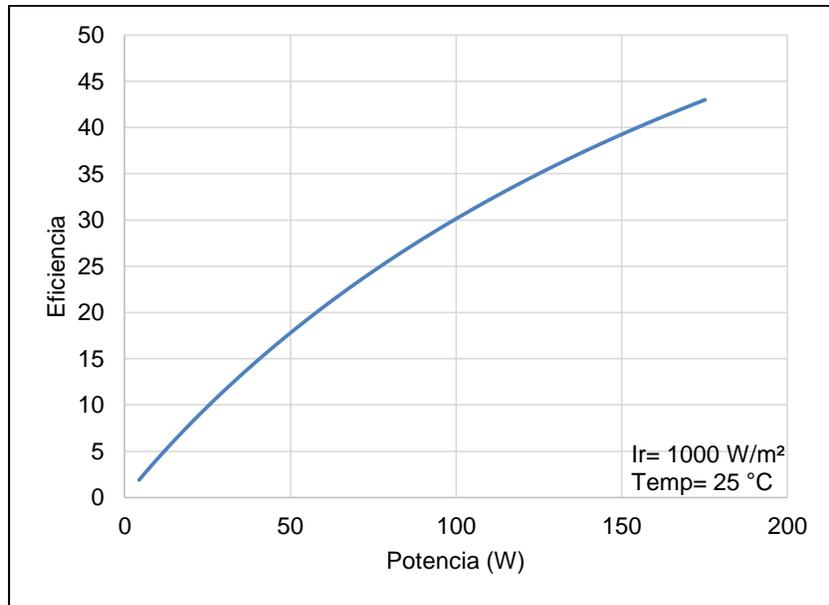


Figura 53. Potencia VS Eficiencia de Pila de Combustible
Fuente: Autor

La masa de hidrogeno va a ir en disminución mientras se aumenta la potencia del sistema de pila de combustible, es por ello que al principio la masa de hidrogeno va a ser 4,46 Kilogramos (Kg) a una potencia de 1,56 Watts (W) y con el transcurso del tiempo el sistema va tener una potencia de 175,18 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 0.07 Kilogramos (Kg). Ver figura 54

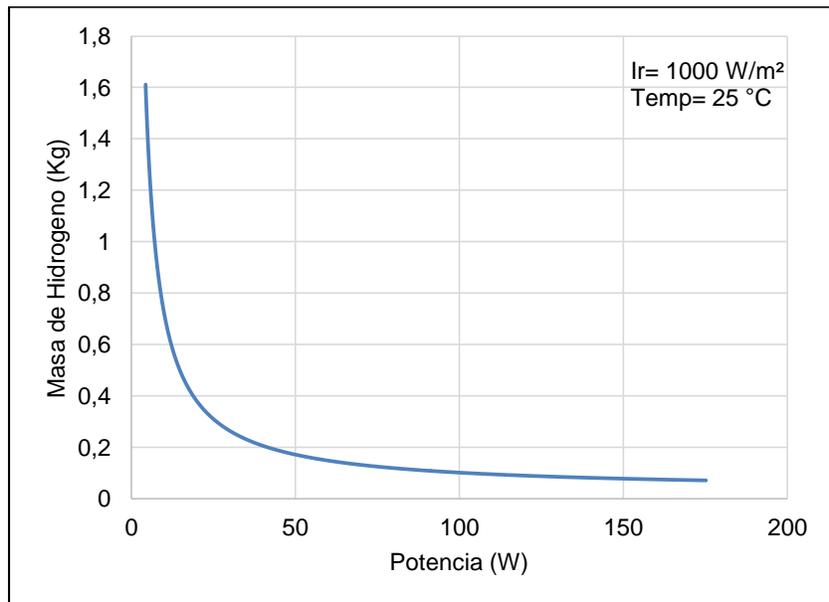


Figura 54. Potencia VS Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible
Fuente: Autor

4.2.2 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.

Para el proceso de análisis y posterior conclusión se tomaron las siguientes condiciones: 50 por ciento de panel solar fotovoltaico con un 50 por ciento de pila de combustible y 70 por ciento de panel solar fotovoltaico con un 30 por ciento de pila de combustible.

4.2.2.1 Condición del 50 por ciento de panel solar y 50 por ciento de pila de combustible.

Las figuras desde la 55 hasta la 62 se muestran las gráficas realizadas en la simulación dinámica del sistema de pila de combustible con las condiciones de 1000 W/m², 750 W/m² y 500 W/m² con el porcentaje del 50 por ciento en el panel solar fotovoltaico y el restante 50 por ciento a la pila de combustible.

La tensión de cada una de las condiciones es diferente como se observa en la figura 55, siendo la irradiación de 1000 W/m² la de mayor cantidad de tensión, por ende, mayor tensión mayor potencia de generación en el sistema de pila de combustible.

Los resultados de la simulación dinámica de tensión con el 50% de utilización del sistema de pila de combustible en las diferentes condiciones son las siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m² se obtuvo una tensión de 18,02 voltios en un tiempo de 6,19 segundos,
- Con una radiación solar de 750 W/m² se obtuvo una tensión de 18,07 voltios en un tiempo de 8,41 segundos,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m² se obtuvo una tensión de 13,11 voltios en un tiempo de 18,30 segundos.

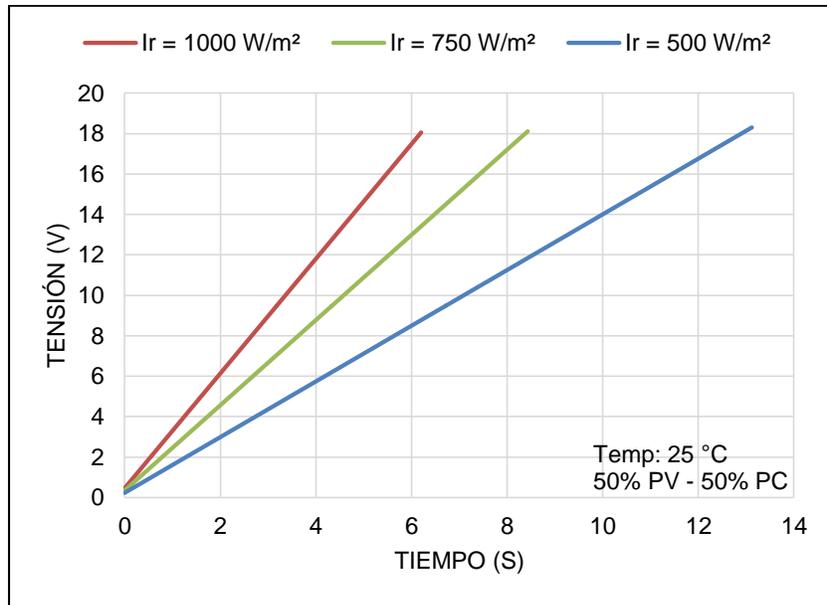


Figura 55. Tensión de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

Los resultados de la simulación dinámica del sistema de pila de combustible para la obtención de la potencia de generación eléctrica son los siguientes:

- Con una irradiación de 1000 W/m² con el 50% de la utilización del sistema de pila de combustible es de 175,28 Watts,
- Con una irradiación media de 750 W/m² se obtiene una potencia de 131,43 Watts,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m² se obtiene una potencia de 88,14 Watts. Ver figura 56.

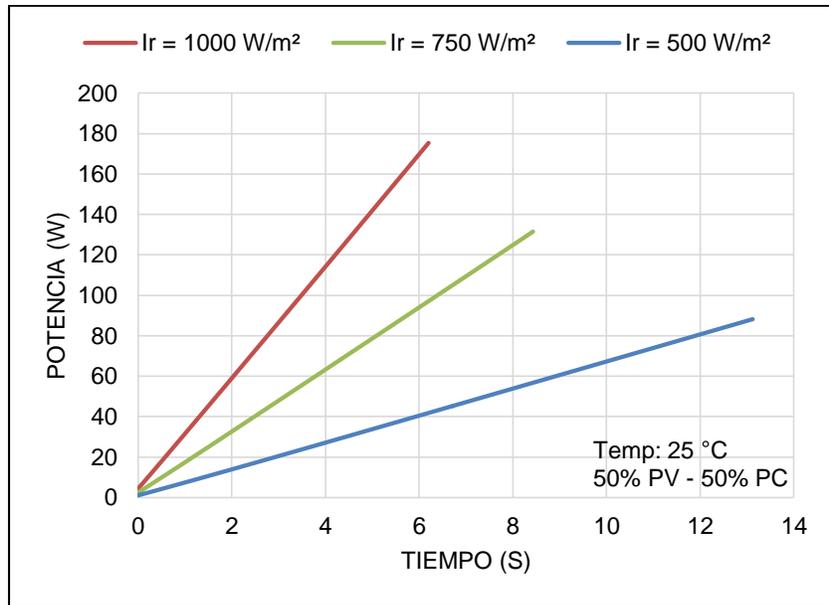


Figura 56. Potencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En esta condición de 50 por ciento de utilización de pila de combustible, se puede observar en la figura 57 que la condición de 1000 W/m² tiene una potencia de 175,41 Watts a una tensión de 18,05 voltios, la condición de 750 W/m² tiene una potencia de 131,33 Watts a una tensión de 18,08 voltios y la condición de 550 W/m² tiene una potencia de 88 Watts a una tensión de 18,26 voltios.

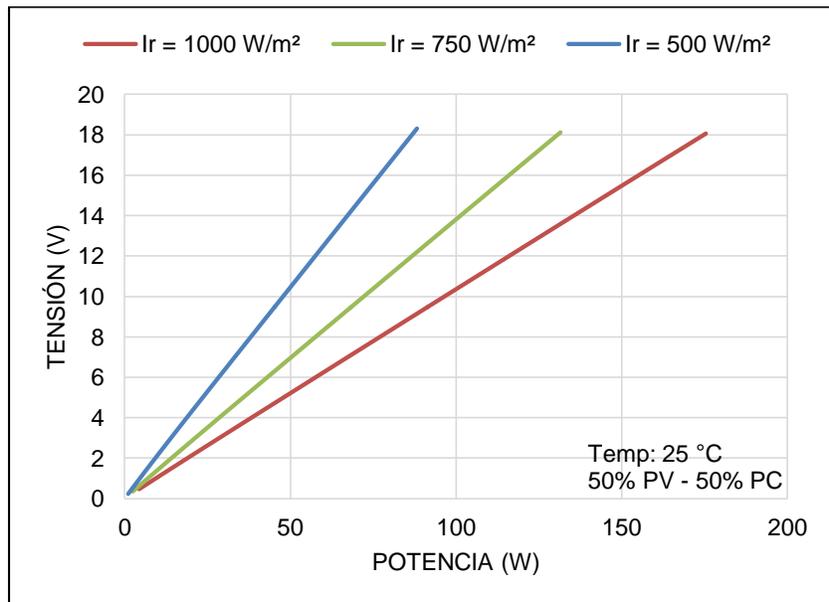


Figura 57. Tensión vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En la figura 58 se puede observar la eficiencia de la pila de combustible con los siguientes resultados:

- Con la condición de radiación de 1000 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 42,99 por ciento a los 6,19 segundos,
- Con la condición de radiación de 750 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 43,05 por ciento a los 8,41 segundos,
- Con la condición de radiación de 500 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 43,31 por ciento a los 13,08 segundos.

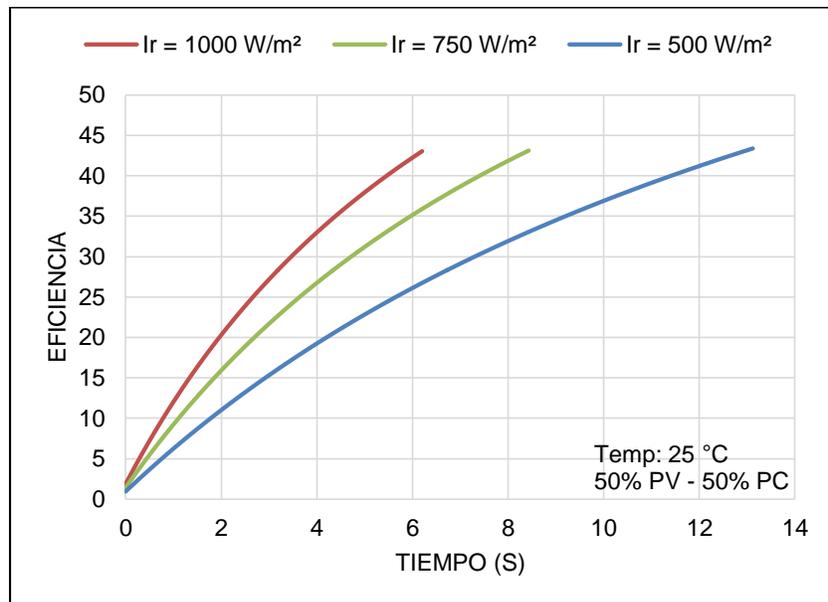


Figura 58. Eficiencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En la Figura 59, se puede observar que conforme se eleva la potencia del sistema de pila de combustible la eficiencia del sistema se incrementa de igual manera, generando con una radiación de 1000 W/m^2 una potencia eléctrica de 175,41 Watts obteniendo una eficiencia de 43,03 por ciento, a los 750 W/m^2 se obtiene una generación de potencia eléctrica de 131,33 Watts obteniendo una eficiencia de 43,07 por ciento, y con 500 W/m^2 se obtiene una generación de potencia eléctrica de 88 Watts obteniendo una eficiencia de 43,31 por ciento.

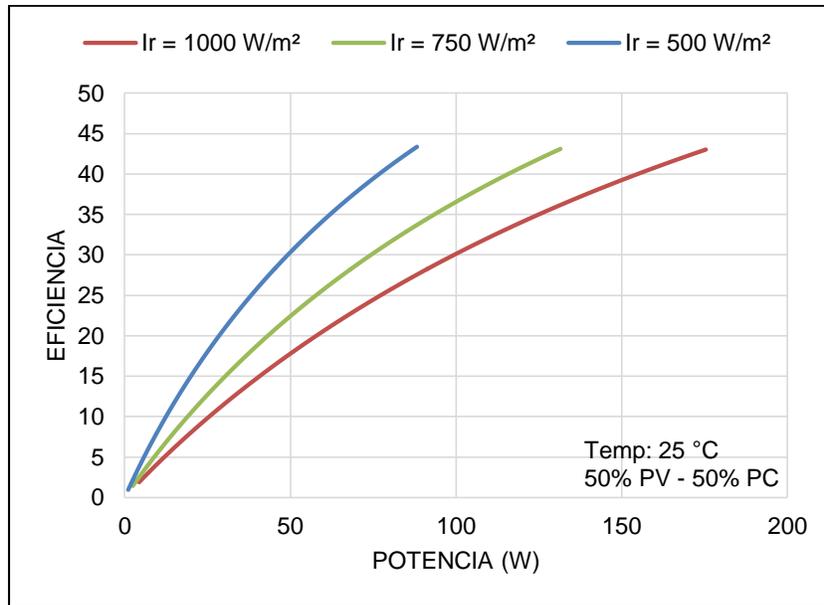


Figura 59. Potencia vs Eficiencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En la figura 60 se puede observar que con una radiación solar de 500 W/m^2 se generara 3,19 Kilogramos (Kg) de masa de hidrogeno, con 750 W/m^2 se produce 1,97 Kilogramos (Kg) y con los 1000 W/m^2 se tiene una producción de hidrogeno de 1,56 Kilogramos (Kg).

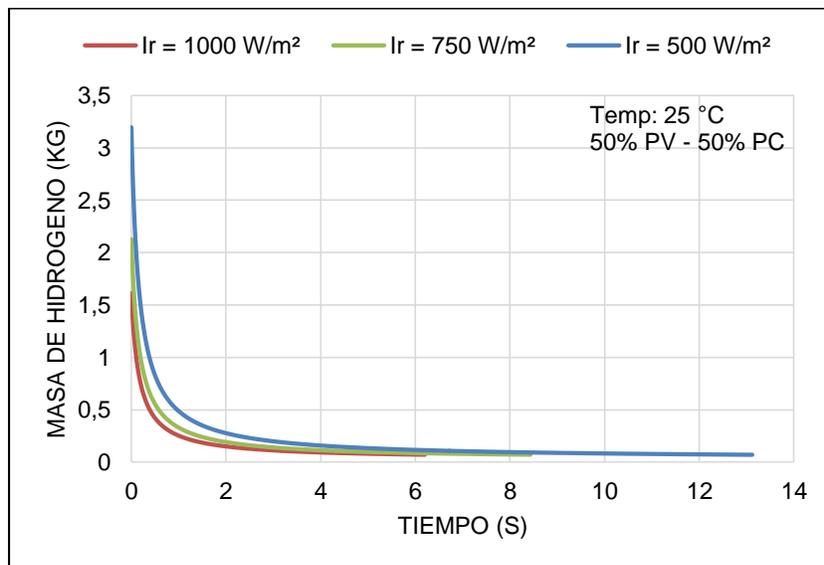


Figura 60. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En la figura 61 se puede apreciar que con una radiación solar de 500 W/m^2 se generara 3,19 Kilogramos (Kg) de masa de hidrogeno con una generación de potencia eléctrica de 88,14 Watts (W), con 750 W/m^2 se produce 1,97 Kilogramos (Kg) con una

generación de potencia eléctrica de 131,43 Watts (W) y con los 1000 W/m² se tiene una producción de hidrogeno de 1,56 Kilogramos (Kg) con una generación de potencia eléctrica de 175,28 Watts (W).

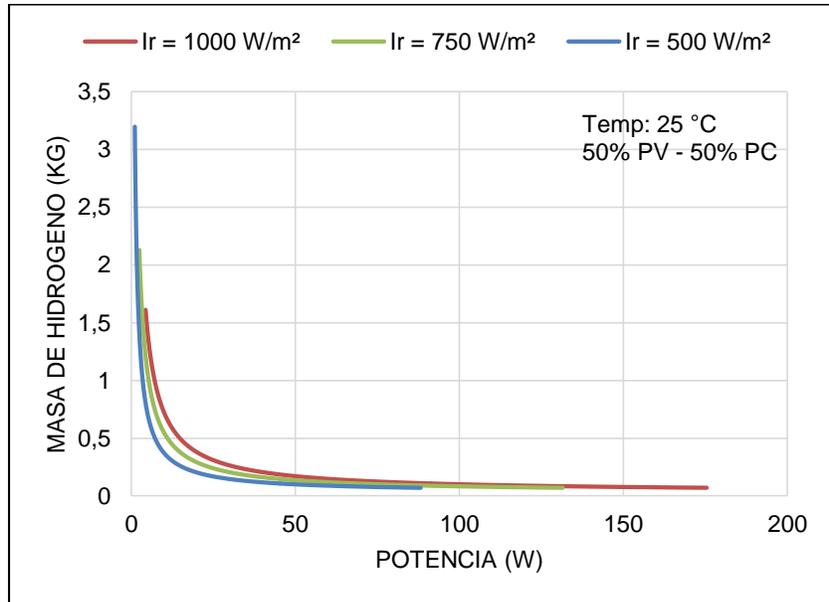


Figura 61. Masa de Hidrogeno vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

En la figura 62, se puede apreciar que dependiendo de la potencia que se necesite producir la presión de salida va a ser mayor, a los 1000 W/m² se tiene una presión de 4,75 bars, en los 750 W/m² se tiene una presión de 3,45 bars y con los 500 W/m² se tiene una presión de 2,39 bars.

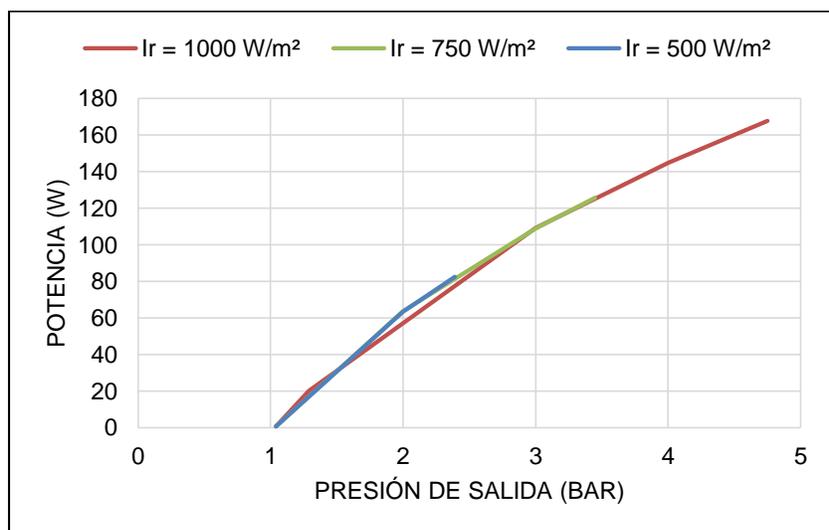


Figura 62. Presión de Salida vs Potencia de Pila de Combustible al 50 %
Fuente: Autor

4.2.2.2 Condición del 70 por ciento de panel solar y 30 por ciento de pila de combustible.

Las figuras desde la 63 hasta la 70 se muestran las gráficas realizadas en la simulación dinámica del sistema de pila de combustible con las condiciones de 1000 W/m^2 , 750 W/m^2 y 500 W/m^2 con el porcentaje del 70 por ciento en el panel solar fotovoltaico y el restante 30 por ciento a la pila de combustible.

La tensión de cada una de las condiciones es diferente como se observa en la figura 63, siendo la irradiación de 1000 W/m^2 la de mayor cantidad de tensión, por ende, mayor tensión mayor potencia de generación en el sistema de pila de combustible.

Los resultados de la simulación dinámica de tensión con el 30% de utilización del sistema de pila de combustible en las diferentes condiciones son las siguientes:

- Con una radiación solar de 1000 W/m^2 se obtuvo una tensión de 10,78 voltios en un tiempo de 4,36 segundos,
- Con una radiación solar de 750 W/m^2 se obtuvo una tensión de 10,82 voltios en un tiempo de 5,94 segundos,
- Con la radiación solar menor de 500 W/m^2 se obtuvo una tensión de 10,88 voltios en un tiempo de 9,23 segundos.

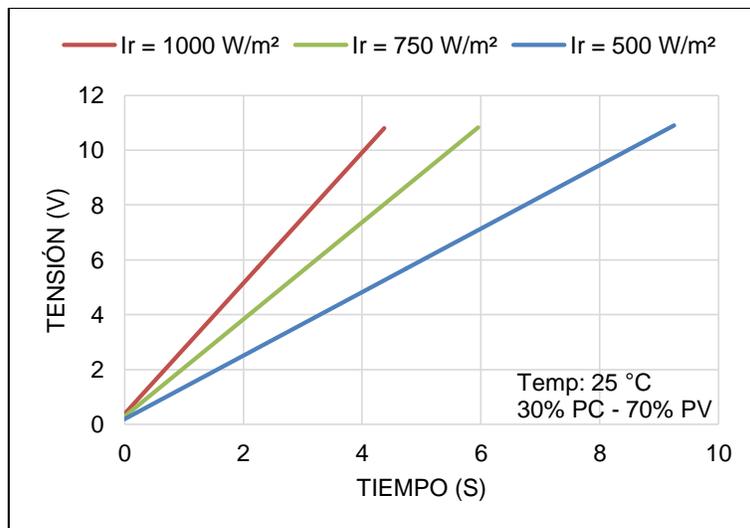


Figura 63. Tensión al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

Los resultados de la simulación dinámica del sistema de pila de combustible para la obtención de la potencia de generación eléctrica son los siguientes:

- Con una irradiación de 1000 W/m^2 con el 30% de la utilización del sistema de pila de combustible es de 146,6 Watts,
- Con una irradiación media de 750 W/m^2 se obtiene una potencia de 109,82 Watts,
- Con menor cantidad de irradiación solar como lo es 500 W/m^2 se obtiene una potencia de 73,49 Watts. Ver figura 64.

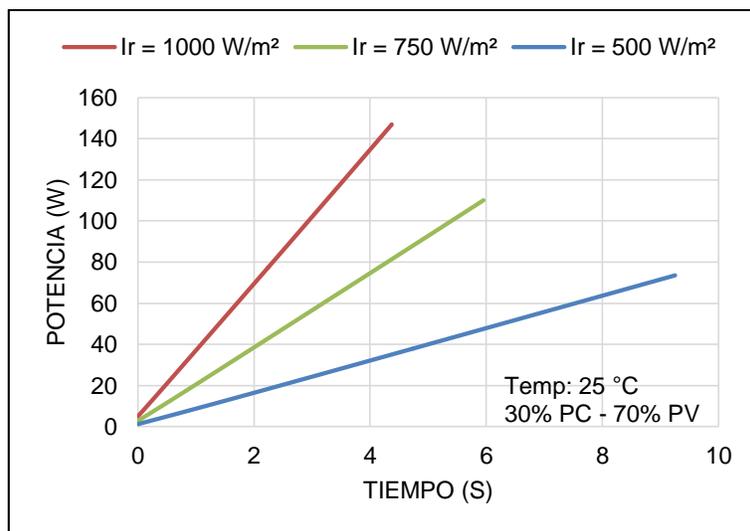


Figura 64. Potencia al 30 % de la Pila de Combustible

Fuente: Autor

En esta condición de 30 por ciento de utilización de pila de combustible, se puede observar en la figura 65 que:

- La condición de radiación solar de 1000 W/m^2 tiene una potencia de 146,68 Watts a una tensión de 10,78 voltios,
- Con la condición de radiación solar de 750 W/m^2 tiene una potencia de 109,82 Watts a una tensión de 10,82 voltios
- Con la condición de radiación solar de 500 W/m^2 tiene una potencia de 73,49 Watts a una tensión de 10,88 voltios.

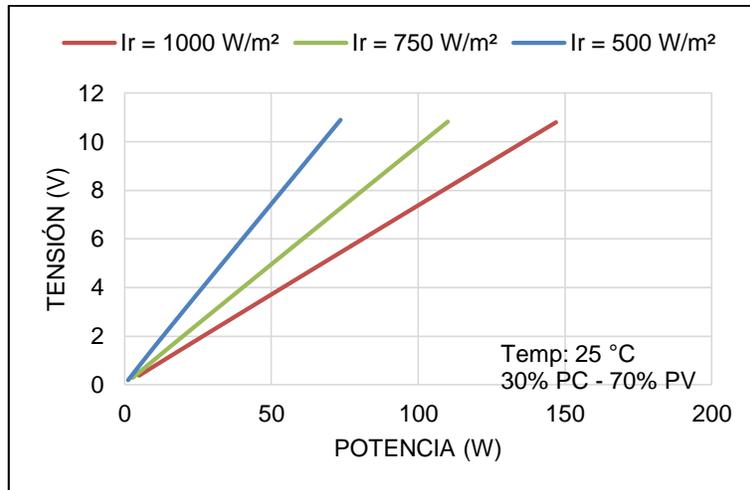


Figura 65. Tensión vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

En la figura 66 se puede observar la eficiencia de la pila de combustible con los siguientes resultados:

- Con la condición de radiación solar de 1000 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 42,81 por ciento a los 4,36 segundos,
- Con la condición de radiación solar de 750 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 43 por ciento a los 5,94 segundos,
- Con la condición de radiación solar de 500 W/m^2 se obtuvo una eficiencia de 43,15 por ciento a los 9,23 segundos.

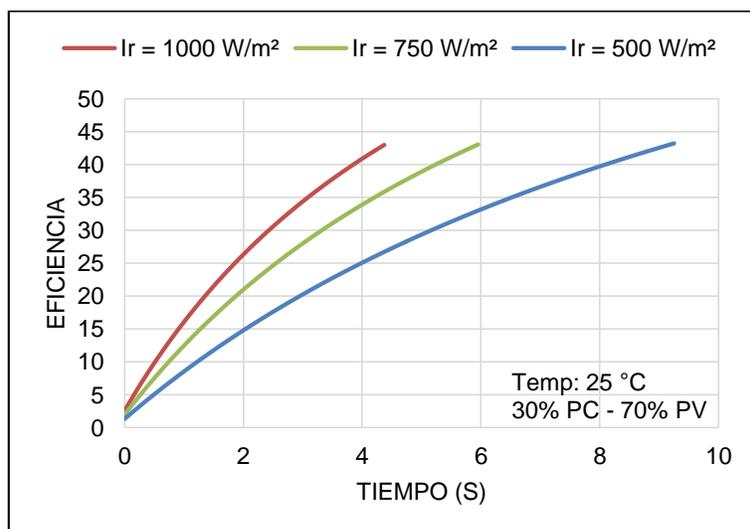


Figura 66. Eficiencia al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

En la Figura 67, se puede observar que conforme se eleva la potencia del sistema de pila de combustible la eficiencia del sistema se incrementa de igual manera, generando con una radiación de 1000 W/m² una potencia eléctrica de 146,68 Watts obteniendo una eficiencia de 42,94 por ciento, a los 750 W/m² se obtiene una generación de potencia eléctrica de 109,82 Watts obteniendo una eficiencia de 43 por ciento, y con 500 W/m² se obtiene una generación de potencia eléctrica de 73,49 Watts obteniendo una eficiencia de 43,15 por ciento.

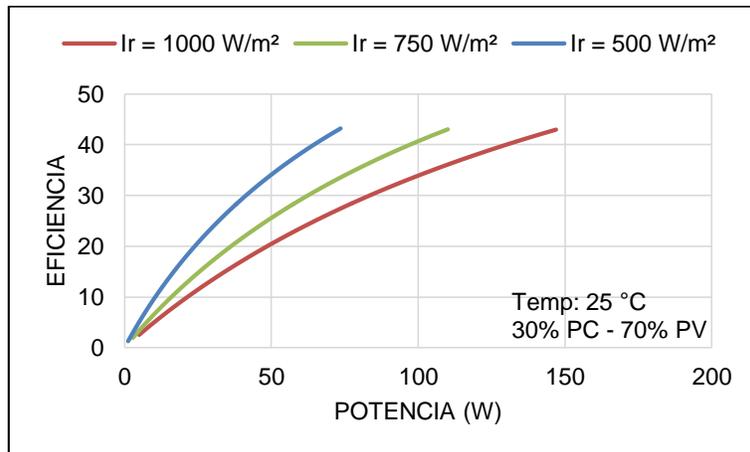


Figura 67. Potencia vs Eficiencia al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

En la figura 68 se puede observar que con una radiación solar de 500 W/m² se generara 2,31 Kilogramos (Kg) de masa de hidrogeno, con 750 W/m² se produce 1,55 Kilogramos (Kg) y con los 1000 W/m² se tiene una producción de hidrogeno de 1,16 Kilogramos (Kg).

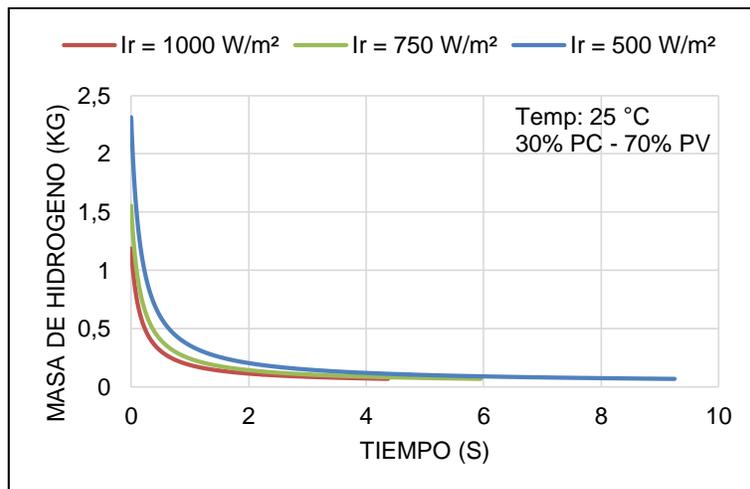


Figura 68. Masa de Hidrogeno al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

En la figura 69 se puede apreciar que con una radiación solar de 500 W/m² se generara 2,31 Kilogramos (Kg) de masa de hidrogeno con una generación de potencia eléctrica de 73,49 Watts (W), con 750 W/m² se produce 1,55 Kilogramos (Kg) con una generación de potencia eléctrica de 109,82 Watts (W) y con los 1000 W/m² se tiene una producción de hidrogeno de 1,16 Kilogramos (Kg) con una generación de potencia eléctrica de 146,68 Watts (W).

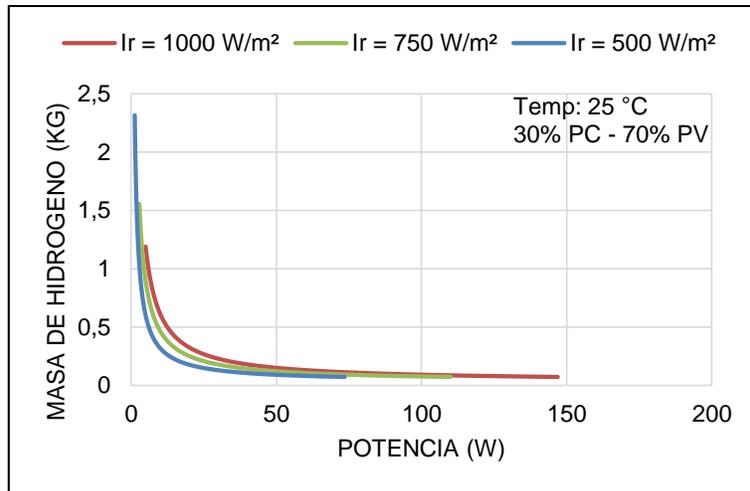


Figura 69. Masa de Hidrogeno vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

En la figura 70, se puede apreciar que dependiendo de la potencia que se necesite producir la presión de salida va a ser mayor, a los 1000 W/m² se tiene una presión de 3,87 bars, en los 750 W/m² se tiene una presión de 2,89 bars y con los 500 W/m² se tiene una presión de 2,12 bars.

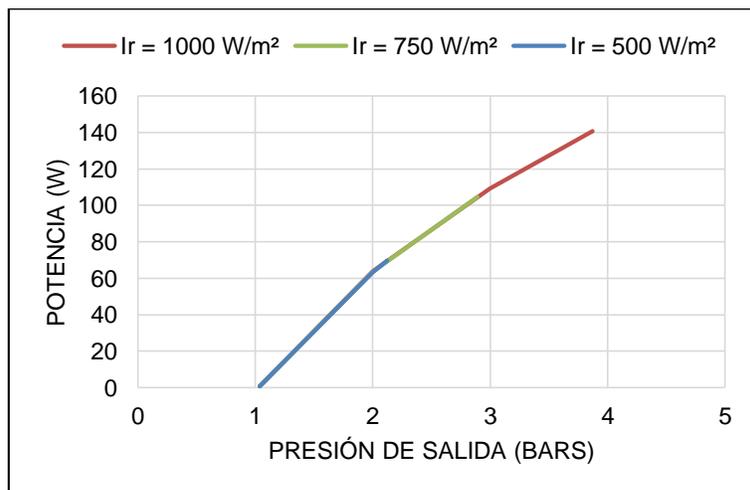


Figura 70. Masa de Hidrogeno vs Potencia al 30 % de la Pila de Combustible
Fuente: Autor

4.2.3 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.

Para el proceso de simulación dinámica del sistema híbrido de pila de combustible y panel solar fotovoltaico se tomaron los datos de radiación solar y temperatura de mayor, media y menor cantidad de los doce meses registrados por el sistema de estación meteorológica USB HOBO U30, siendo los meses de septiembre 2015, enero 2016 y mayo 2016 presentados para el análisis.

A continuación, se muestran los resultados en la tabla 7 de los tres meses con las tres condiciones establecidas de 50% pila de combustible (PC), 40% pila de combustible (PC) y 30% pila de combustible (PC) correspondiente a la tensión de la pila de combustible.

Tabla 7. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la tensión de la pila de combustible (V)

Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	18,15 V	14,46 V	10,77 V
Enero 2016	18,14 V	14,46 V	10,83 V
Mayo 2016	18,17 V	14,48 V	10,83 V

En la figura 71, el mes de enero 2016 es el de mayor radiación y con el 70 por ciento de la utilización de panel solar fotovoltaico y 30 por ciento de utilización de pila de combustible obteniendo una tensión en la pila de combustible de 18,14 en un menor tiempo, así como se puede observar los resultados de la simulación dinámica de cada uno de los meses y con sus respectivas condiciones.

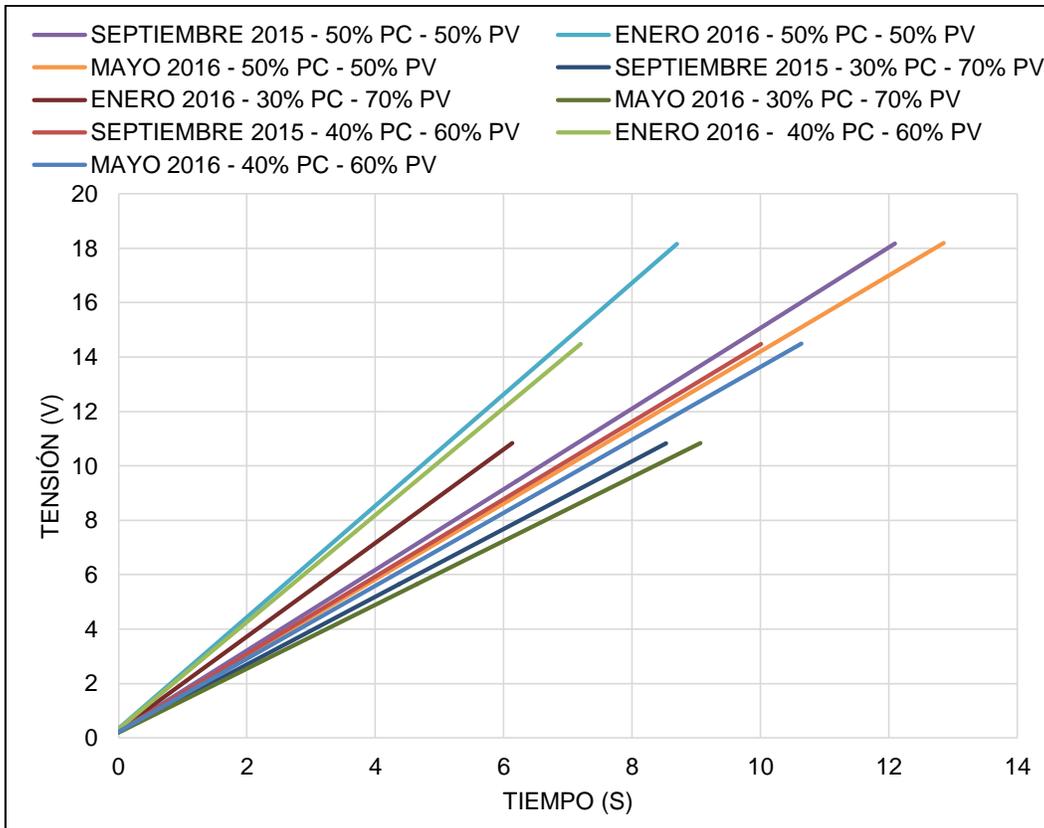


Figura 71. Tensión de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente
Fuente: Autor

La potencia del panel solar fotovoltaico se rige a la cantidad de corriente es por eso que el mes con mayor radiación va a producir más potencia de generación.

En la tabla 8 y la figura 72 se puede visualizar los resultados de la simulación dinámica de cada uno de los meses y sus diversas condiciones.

Tabla 8. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la potencia de la pila de combustible (W)

Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	95,31 W	91,20 W	79,3 W
Enero 2016	128,18 W	121,68 W	106,89 W
Mayo 2016	90,49 W	86,51 W	75,46 W

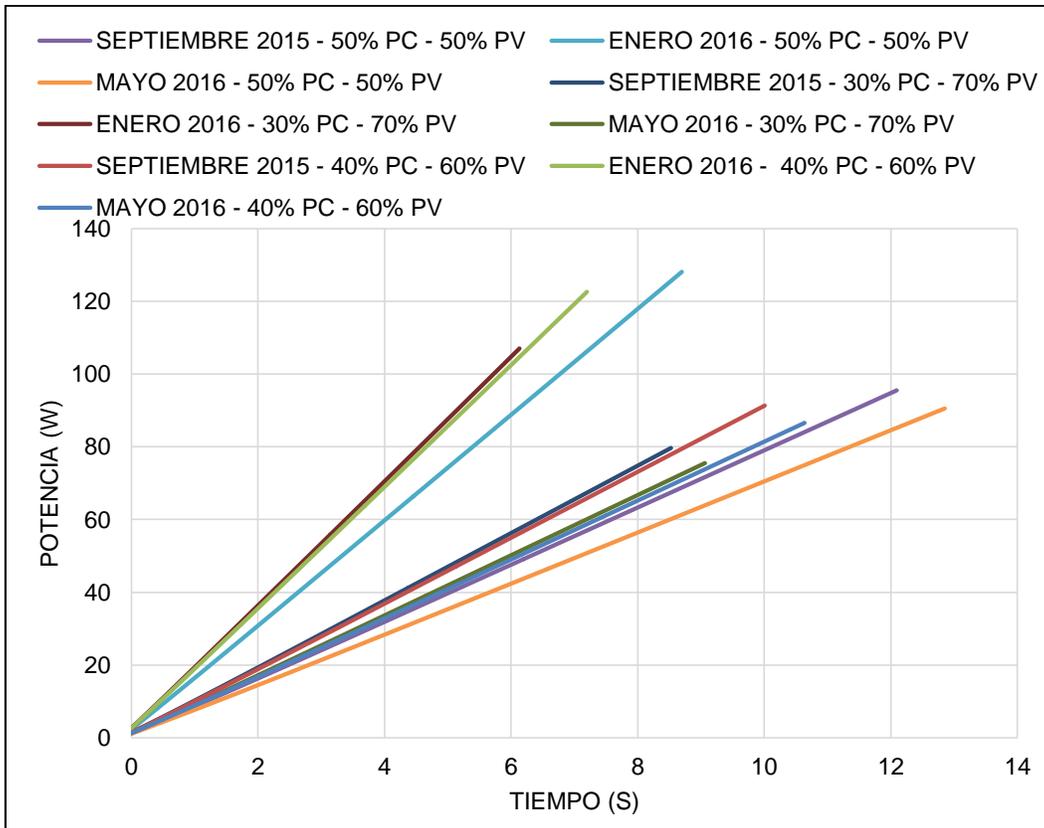


Figura 72. Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente
Fuente: Autor

En el sistema de pila de combustible la eficiencia va a ser la misma para todos los meses de simulación dinámica con las diferentes condiciones que son el 30, 40 y 50 por ciento de utilización del sistema de pila de combustible. En todas las condiciones la eficiencia de 44 por ciento, el cambio va a ser en el tiempo de llegada a la eficiencia tome del sistema. Ver figura 73.

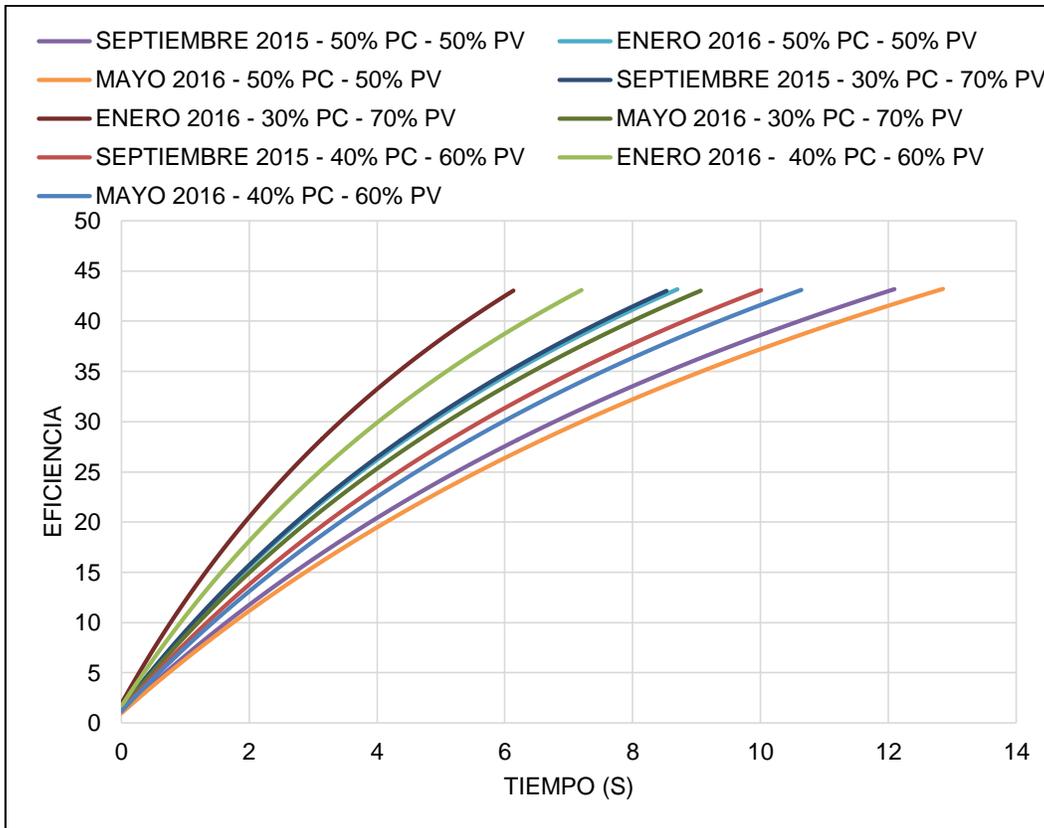


Figura 73. Eficiencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente
Fuente: Autor

En la Figura 74, se puede observar que conforme se eleva la potencia del sistema de pila de combustible la eficiencia del sistema se incrementa de igual manera, generándose así diferentes potencias y diferentes eficiencias con diferentes condiciones y diferentes meses, en la tabla 9 se muestra los resultados obtenidos en la simulación dinámica.

Tabla 9. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la eficiencia de la pila de combustible
Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	43,14 %	43,04 %	42,99 %
Enero 2016	43,17 %	43,04 %	43,02 %
Mayo 2016	43,17 %	43,07 %	43,03 %

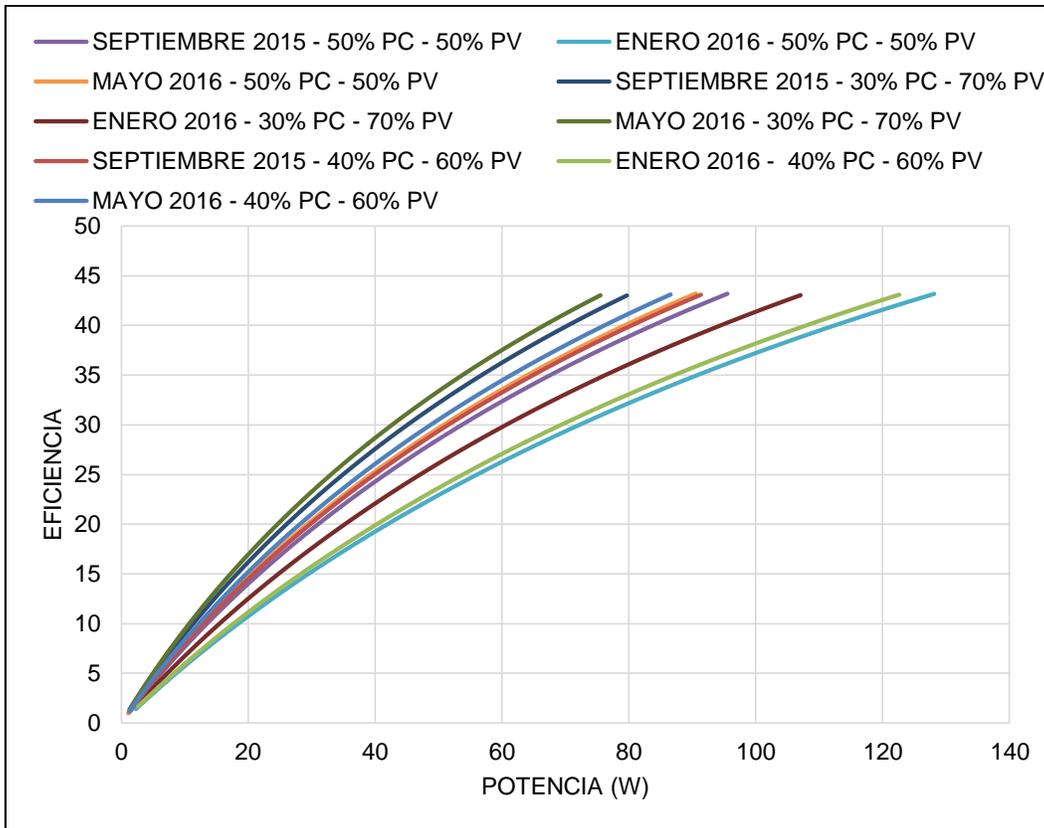


Figura 74. Eficiencia vs Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente
Fuente: Autor

En la figura 75, se muestra la masa de hidrogeno en cada uno de los tres meses y con las diferentes condiciones con respecto al tiempo, en la tabla 10 se puede ver los valores correspondientes a cada una de las condiciones.

Tabla 10. Resultados de la Simulación Dinámica Diferentes Meses y condiciones correspondientes a la eficiencia de la pila de combustible

Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	2,82 Kg	2,39 Kg	2,15 Kg
Enero 2016	2,10 Kg	1,8 Kg	1, 55 Kg
Mayo 2016	2,98 Kg	2,52 Kg	2,19 Kg

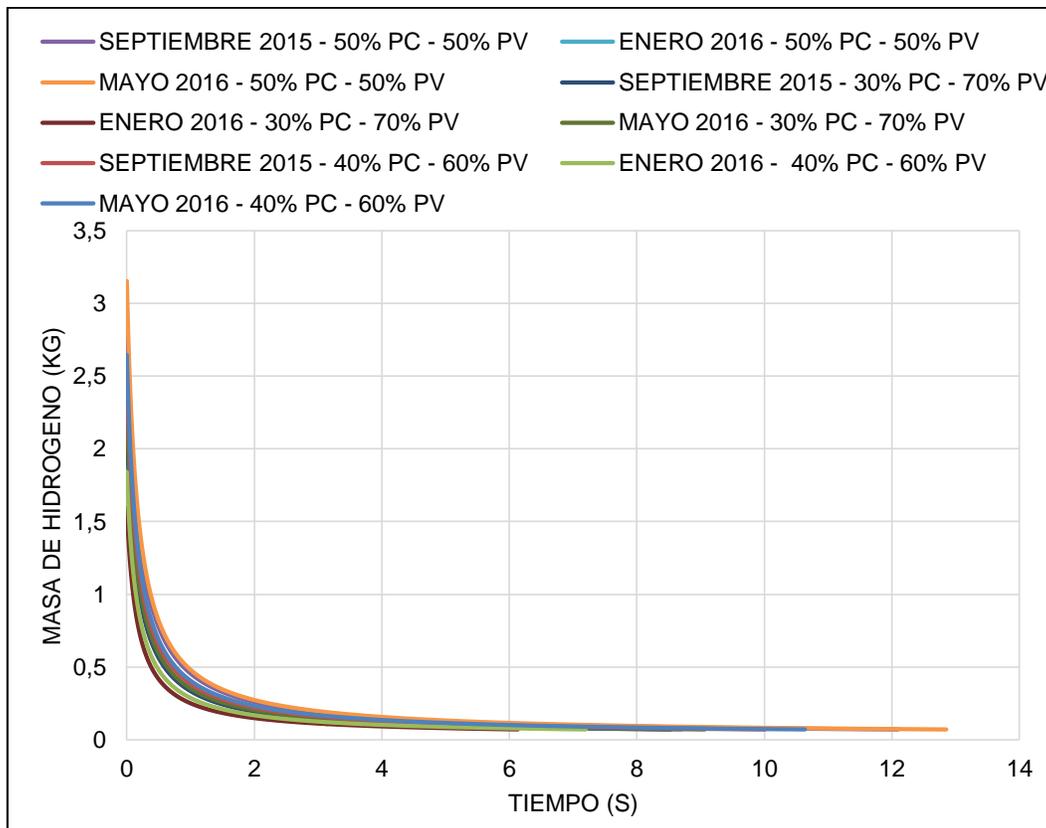


Figura 75. Masa de Hidrogeno de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente
Fuente: Autor

En la figura 76 se puede apreciar una gráfica de la producción de nada de hidrogeno con respecto a la potencia eléctrica generada por la pila de combustible en las tres condiciones climatológicas y con las tres condiciones de utilización.

- A 50 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 95,13 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,82 Kg en el mes de septiembre 2015,
- A 40 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 91,20 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,39 Kg en el mes de septiembre 2015,
- A 30 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 79,63 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,15 Kg en el mes de septiembre 2015,

- A 50 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 128,18 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,10 Kg en el mes de enero 2016,
- A 40 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 121,68 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 1,8 Kg en el mes de enero 2016,
- A 30 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 106,89 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 1,55 Kg en el mes de enero 2016,
- A 50 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 90,49 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,98 Kg en el mes de mayo 2016,
- A 40 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 86,51 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,52 Kg en el mes de Mayo 2016,
- A 30 por ciento de utilización de pila de combustible se genera una potencia de 75,46 Watts (W) con una masa de hidrogeno de 2,19 Kg en el mes de mayo 2016.

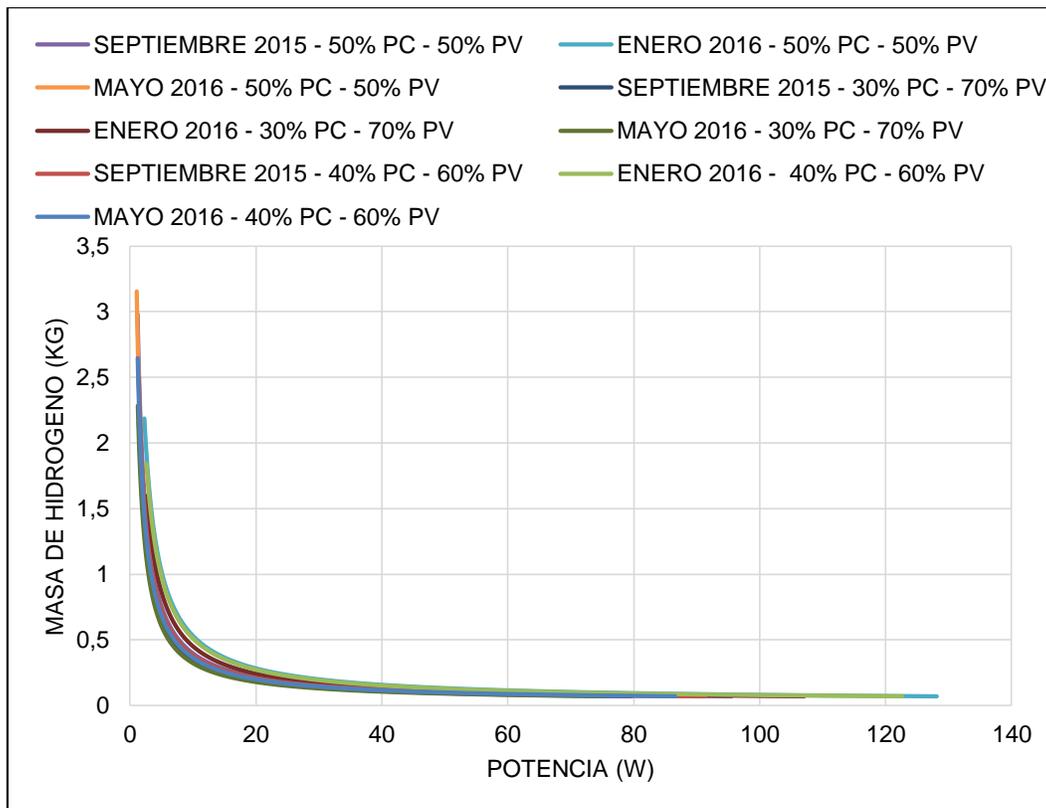


Figura 76. Masa de Hidrogeno vs Potencia de Pila de Combustible meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50%, 40%, 30% respectivamente

Fuente: Autor

4.3 Resultados de la simulación dinámica del sistema híbrido.

Un sistema híbrido consiste en la unión de dos o más sistemas de generación ya sean convencionales o no convencionales. Para la simulación dinámica se unió la potencia eléctrica del panel solar fotovoltaico y la potencia de la pila de combustible.

4.3.1 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición constante.

En la simulación dinámica la potencia total del sistema híbrido se refleja en la figura 77, que en su inicio parte desde los 170,72 Watts y en un determinado tiempo llega hasta la potencia de 348,46 Watts.

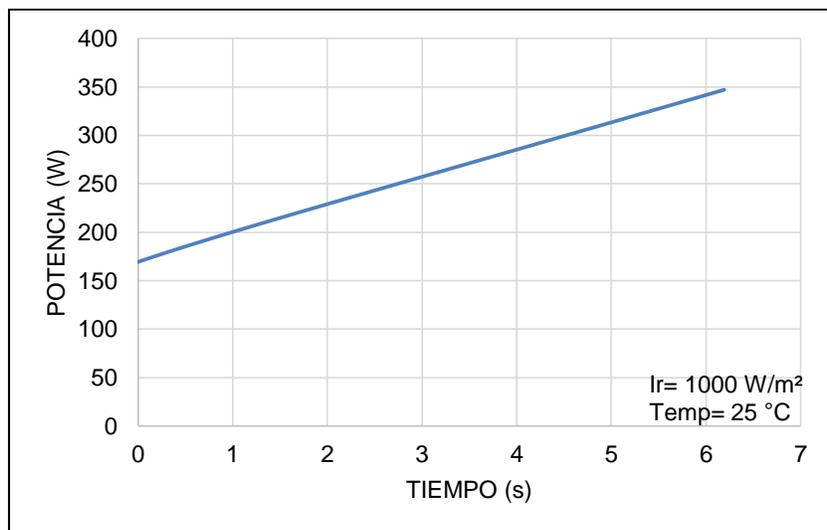


Figura 77. Potencia del Sistema Híbrido con relación al tiempo
Fuente: Autor

La eficiencia del sistema híbrido llega a los 34,96 por ciento con la unión de los sistemas de panel solar fotovoltaico y de pila de combustible, con la utilización del 50 por ciento del sistema. Ver figura 78.

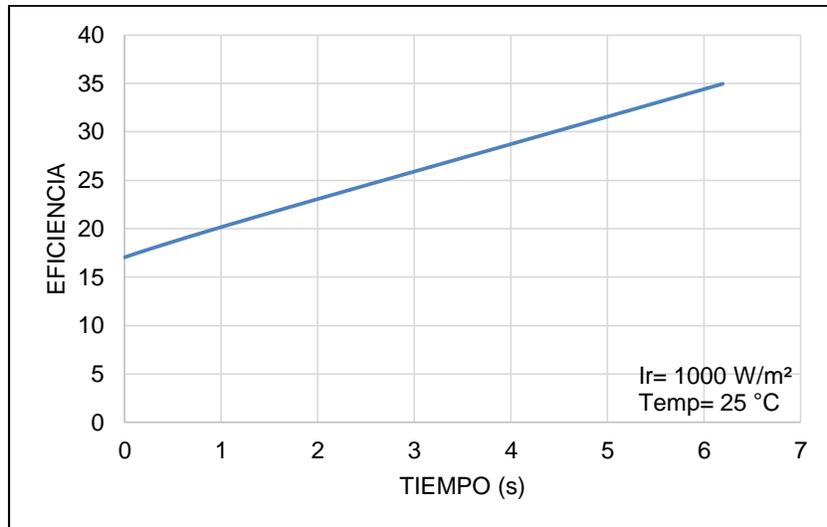


Figura 78. Eficiencia del Sistema Híbrido con relación al tiempo
Fuente: Autor

4.3.2 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables.

En la figura 79, la potencia total del sistema híbrido con la mayor cantidad de radiación solar que es 1000 W/m^2 con la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 50 por ciento de cada sistema se genera 34,96 Watts.

La potencia total del sistema híbrido con una radiación solar menor equivalente a 500 W/m^2 con la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 50 de cada sistema por ciento se genera 173,37 Watts.

Y con una radiación solar de 750 W/m^2 como la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 50 por ciento de cada sistema se generan 260,03 Watts.

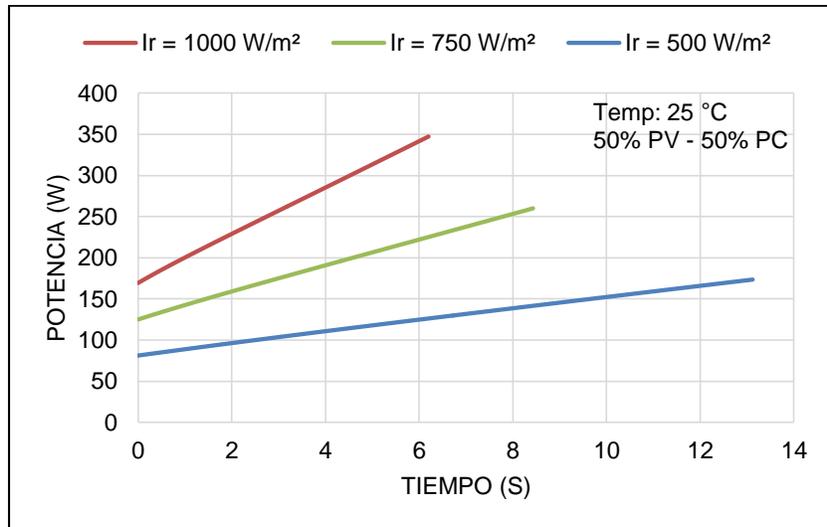


Figura 79. Potencia del Sistema Híbrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %
Fuente: Autor

La eficiencia del sistema híbrido en la condición de 1000 W/m² se obtiene 34,87 por ciento en la simulación dinámica, con la radiación de 750 W/m² una obtiene en la simulación una eficiencia de 34,83 por ciento y por último la radiación de 500 W/m² se obtiene una eficiencia de 34,89 por ciento. Ver figura 80.

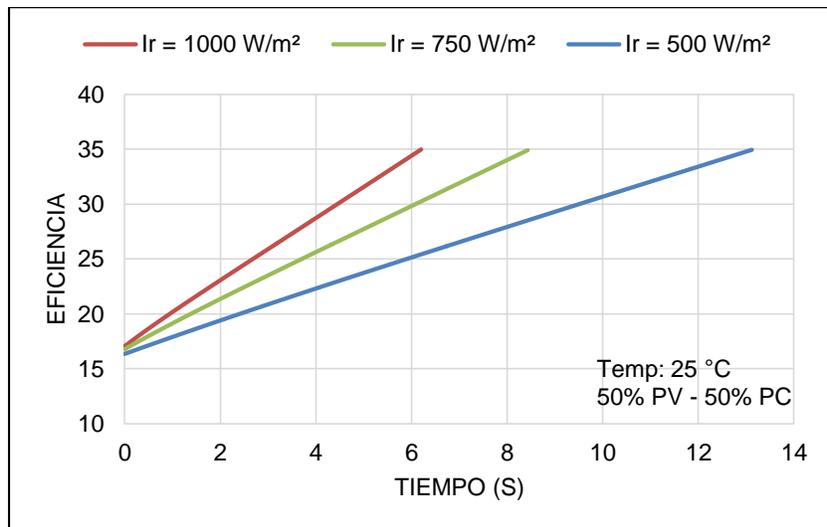


Figura 80. Eficiencia del Sistema Híbrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %
Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 81 cuando se produce mayor potencia se va a tener una mayor eficiencia en el sistema, en 1000 W/m² se tiene una eficiencia del 34,94 por ciento con una potencia de 346,96 Watts, con 750 W/m² se tiene una eficiencia del 34,82 por ciento con una potencia de 259,33 Watts y con 500 W/m² se tiene una eficiencia del 34,78 por ciento con una potencia de 172,68 Watts.

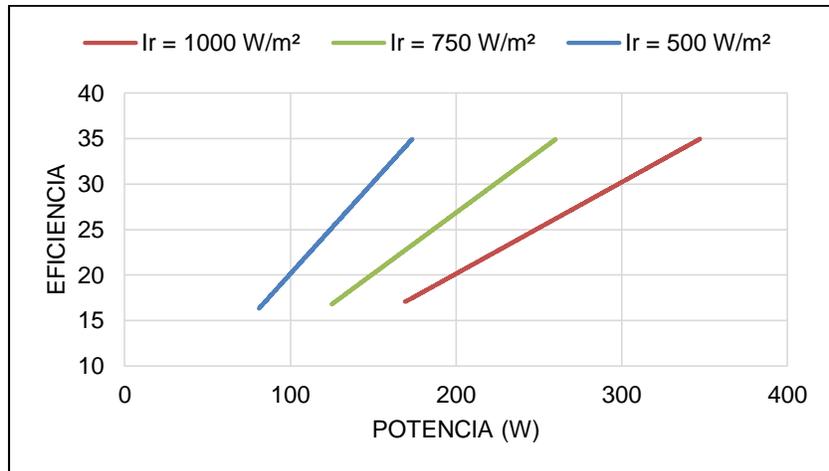


Figura 81. Eficiencia del Sistema Híbrido con relación al tiempo al 50 % - 50 %
Fuente: Autor

En la figura 82, la potencia total del sistema híbrido con la mayor cantidad de radiación solar equivalente a 1000 W/m² con la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 70 % PV y 30 % PC por ciento se genera 387,07 Watts.

La potencia total del sistema híbrido con una radiación solar menor equivalente a 500 W/m² con la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 70 % PV y 30 % PC genera 173,37 Watts.

Y con una radiación solar de 750 W/m² como la unión del sistema de paneles solares y el sistema de pila de combustible con el 70 % PV y 30 % PC por ciento generan 260,03 Watts.

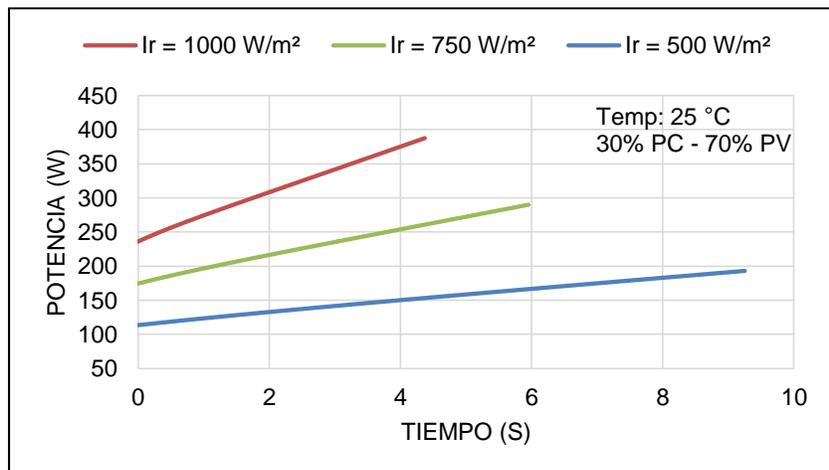


Figura 82. Potencia del Sistema Híbrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible
Fuente: Autor

La eficiencia del sistema híbrido con la utilización del 70 por ciento de panel solar fotovoltaico y el 30 por ciento de pila de combustible en las tres condiciones de radiación solar son las siguientes: en la condición de 1000 W/m² se obtiene en la simulación una eficiencia de 38,97 por ciento, con una radiación de 750 W/m² se obtiene en la simulación dinámica una eficiencia de 38,89 por ciento y por último con la radiación de 500 W/m² se obtiene una eficiencia de 38,85 por ciento. Ver figura 83.

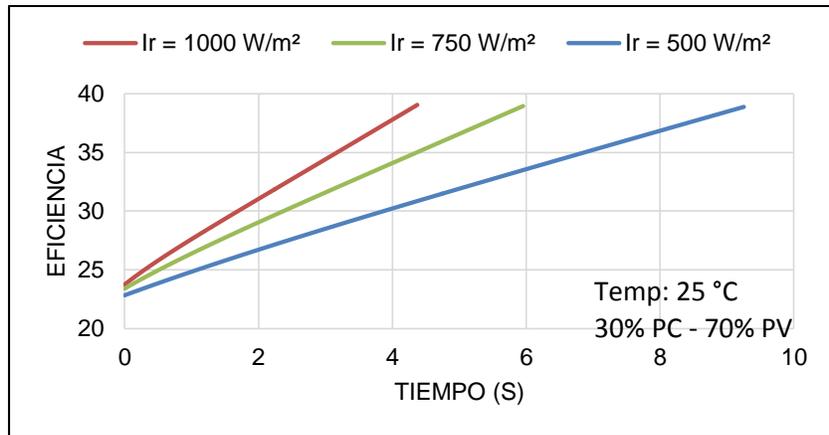


Figura 83. Eficiencia del Sistema Híbrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible
Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 84 cuando se produce mayor potencia se va a tener una mayor eficiencia en el sistema, en 1000 W/m² se tiene una eficiencia del 38,95 por ciento con una potencia de 386,84 Watts, con 750 W/m² se tiene una eficiencia del 38,94 por ciento con una potencia de 290 Watts y con 500 W/m² se tiene una eficiencia del 38,66 por ciento con una potencia de 191,94 Watts.

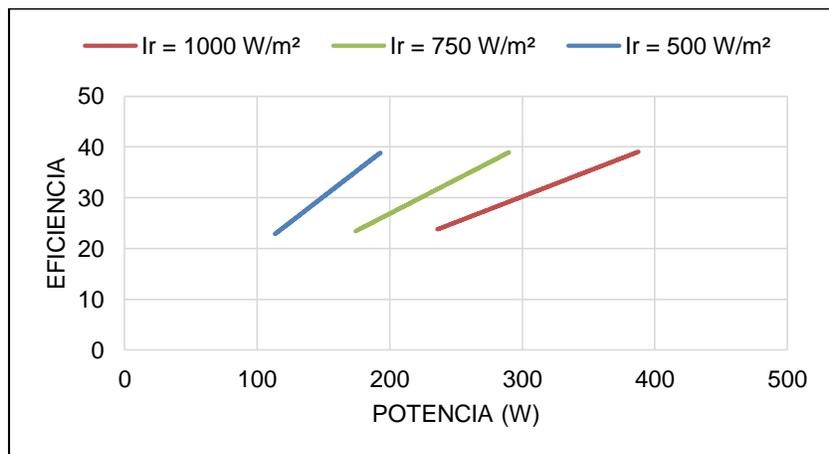


Figura 84. Eficiencia del Sistema Híbrido al 70 % Panel Solar Fotovoltaico y 30 % de Pila de Combustible
Fuente: Autor

4.3.3 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas y de porcentaje de utilización.

La potencia el sistema híbrido se basa en la unión de los sistemas de panel solar fotovoltaico y pila de combustible para obtener una potencia deseada. En la figura 85 se puede observar las potencias generadas con los meses de septiembre 2015, enero 2016 y Mayo 2016, así como también, con la variación de condiciones de utilización como es el 50 por ciento de panel solar fotovoltaico y 50 por ciento de pila de combustible, 60 por ciento de panel solar fotovoltaico y 40 por ciento de pila de combustible y 70 por ciento de panel solar fotovoltaico y 30 por ciento de pila de combustible.

A continuación, se puede observar en la tabla 11 los resultados de cada uno de los meses con sus correspondientes condiciones de utilización.

Tabla 11. Resultados De La Simulación Dinámica Diferentes Meses Y Condiciones Correspondientes A La Potencia Del Sistema Híbrido

Fuente: Autor

MES		50% PC 50% PV	40% PC 60% PV	30% PC 70% PV
Septiembre 2015	Potencia Inicial	87,39 W	104,82 W	122,10 W
	Potencia Final	188,50 W	202, 93 W	209,89 W
Enero 2016	Potencia Inicial	121,40 W	145,57 W	169,44 W
	Potencia Final	253,01 W	272,38 W	281,73 W
Mayo 2016	Potencia Inicial	82,32 W	98,75 W	115,29 W
	Potencia Final	178,52 W	192,24 W	198,87 W

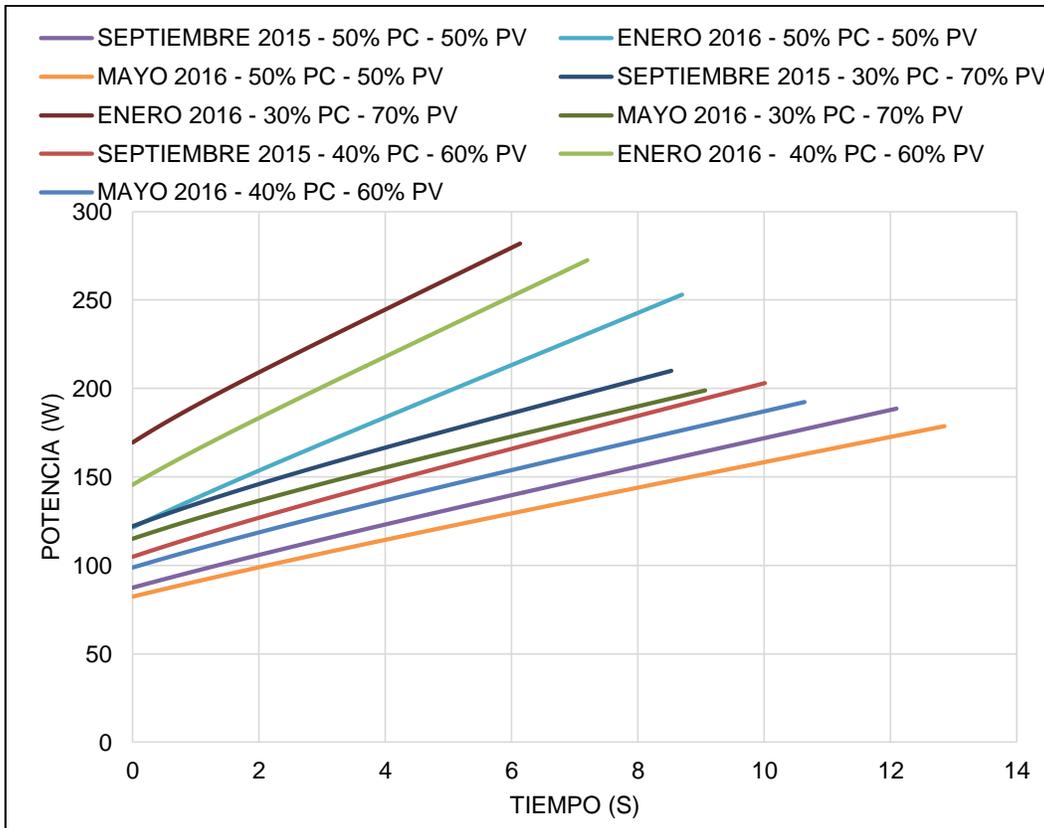


Figura 85. Potencia meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50% - 50%, 40% - 60%, 30% - 70% del Sistema Hibrido Pila de Combustible y Panel Solar Fotovoltaico
Fuente: Autor

En la tabla 12 se muestra los resultados de cada una de las eficiencias y en la figura 86 se observa la eficiencia generada en la simulación dinámica de cada mes y a cada condición.

Tabla 12. Resultados De La Simulación Dinámica Diferentes Meses Y Condiciones Correspondientes A La Eficiencia Del Sistema Hibrido

Fuente: Autor

MES	50 % PC 50% PV	40 % PC 60% PV	30 % PC 70% PV
Septiembre 2015	34,80 %	37,46 %	38,77 %
Enero 2016	34,94 %	37,64 %	38,93 %
Mayo 2016	34,80 %	37,44 %	38,73 %

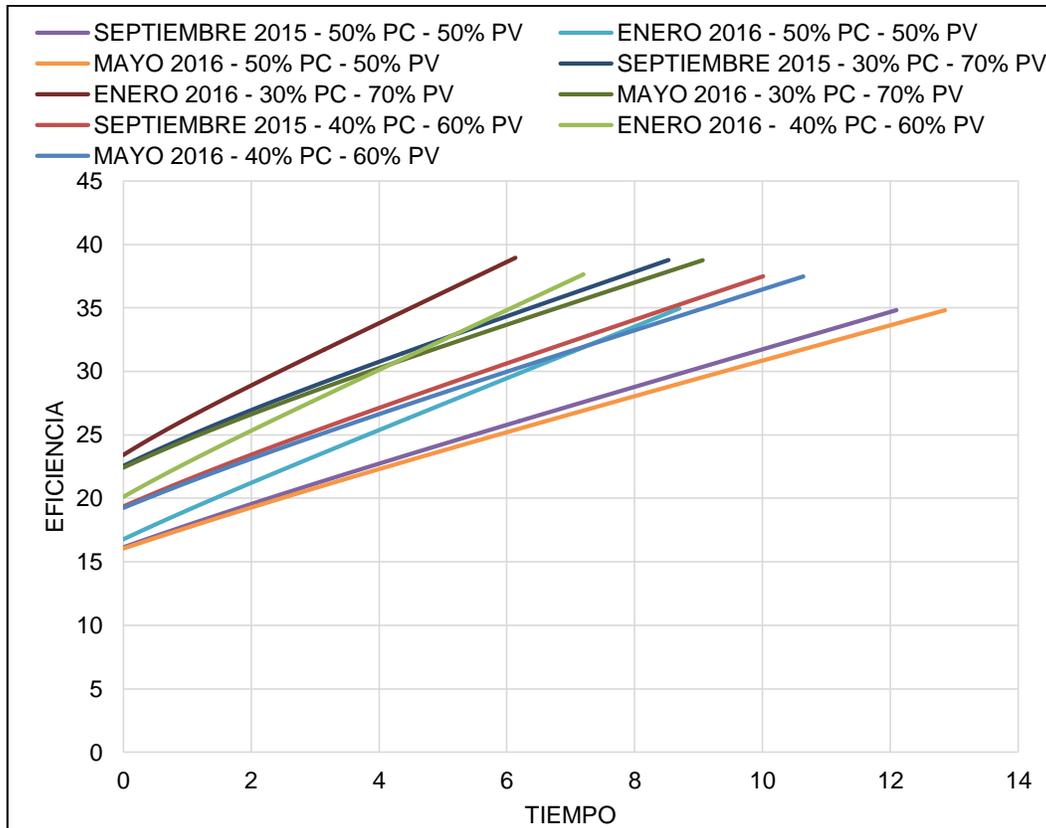


Figura 86. Potencia meses Septiembre 2015, Enero 2016, Mayo 2016 con el 50% - 50%, 40% - 60%, 30% - 70% de Pila de Combustible y Solar Fotovoltaico respectivamente
Fuente: Autor

4.3.4 Resultados de la simulación dinámica con características de fábrica y condición variables climáticas en distintos periodos de tiempo.

Para el proceso de simulación dinámica del sistema híbrido pila de combustible y panel solar fotovoltaico se tomó los datos correspondientes a distintas horas del día: 7 am, 9 am, 12 pm, 3 pm y 5 pm del promedio del mes de septiembre del 2015 y noviembre del 2015 con el 50 por ciento de utilización del panel solar fotovoltaico y el 50 por ciento de pila de combustible.

En el mes de septiembre del 2015, los resultados en la simulación dinámica del panel solar fotovoltaico son los expuestos en la tabla 13:

Tabla 13. Resultados de la Simulación Dinámica Septiembre 2015
Fuente: Autor

Hora	7 am	9 am	12 pm	3 pm	5 pm
Potencia (W)	0	127,10	170,74	97,71	0
Eficiencia (%)	0	9,40	13,66	7,45	0

En desde la figura 87 hasta la 88 se puede observar la curva generada durante las 5 horas tomadas del promedio del mes de Septiembre del 2015.

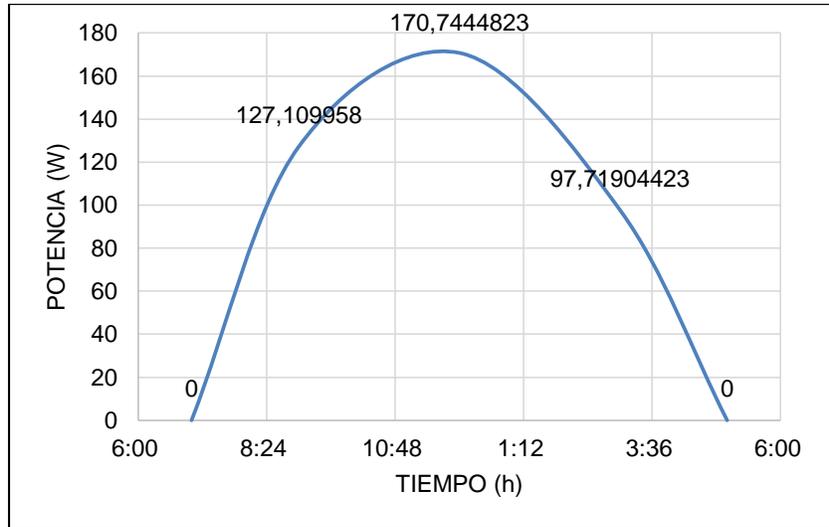


Figura 87. Potencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de septiembre 2015
Fuente: Autor

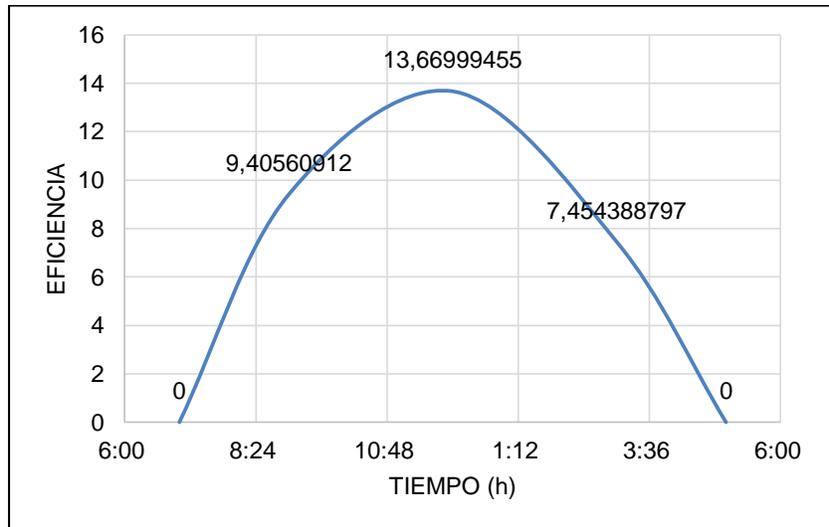


Figura 88. Eficiencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de septiembre 2015
Fuente: Autor

En el mes de noviembre del 2015, los resultados en la simulación dinámica del panel solar fotovoltaico son los expuestos en la tabla 14:

Tabla 14. Resultados de la Simulación Dinámica septiembre 2015

Fuente: Autor

Hora	7 am	9 am	12 pm	3 pm	5 pm
Potencia (W)	13,86	175,88	149,67	84,67	0
Eficiencia (%)	0,39	13,89	12,08	6,35	0

En desde la figura 89 hasta la 90 se puede observar la curva generada durante las 5 horas tomadas del promedio del mes de noviembre del 2015.

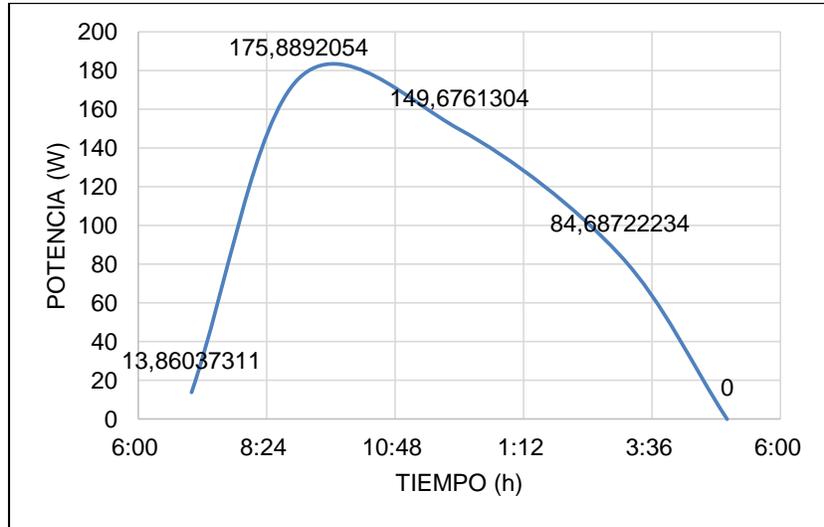


Figura 89. Potencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de noviembre 2015

Fuente: Autor

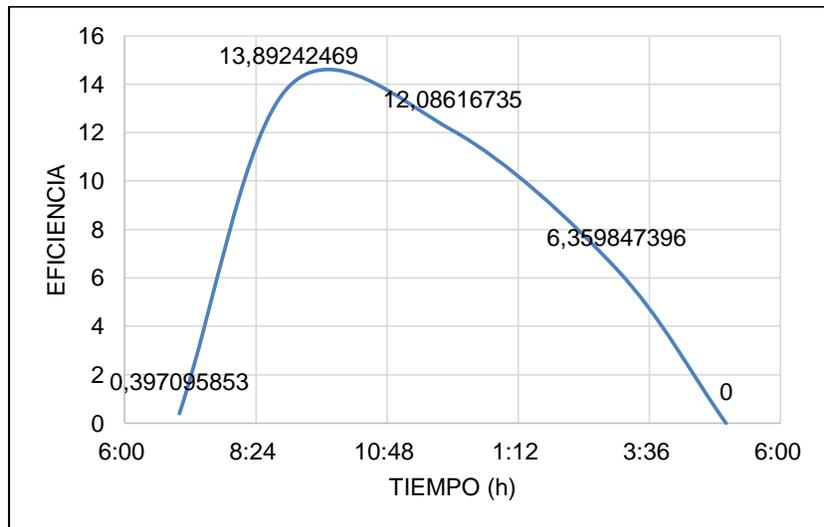


Figura 90. Eficiencia del Sistema Híbrido al 50 % Panel Solar Fotovoltaico y 50% de Pila de Combustible en periodos distintos de 5 horas - Mes de noviembre 2015

Fuente: Autor

4.4 Validación de resultados experimental con el sistema junior basic j101 del Centro De Investigación en Energías Renovables (Cer) de la Universidad Católica De Cuenca.

El sistema de experimentación del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca es un sistema básico de generación eléctrica de pila de combustible que usa un sistema de panel solar fotovoltaico para la electrolisis del agua. (Ver ilustración 19)

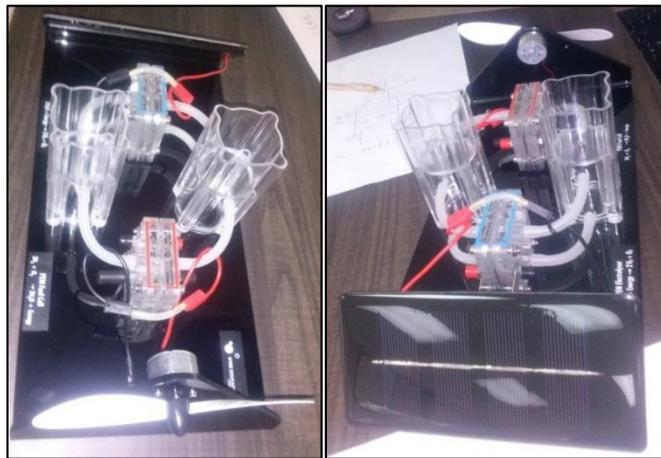


Ilustración 19. Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca

Fuente: Autor

El funcionamiento sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca es el siguiente:

- Antes de llenar de Agua Destilada el sistema, se tiene que comprobar que las tapas de los conectores inferiores de la pila de Combustible estén selladas.
- Una vez comprobado las tapas de los conectores, se llena los dos tanques de almacenamiento con el agua destilada hasta la marca existente en los respectivos tanques,
- Se procede a abrir las tapas a ambos lados de la pila de combustible, una detrás de la otra. Este proceso permite hacer escapar el aire de los tanques de almacenamiento. Se completará dicho proceso cuando el agua deje de caer,
- Concluido este proceso, se vuelve a sellar las tapas de la pila de combustible,

- Se conecta los cables provenientes del panel solar fotovoltaico al electrolizador, tomando siempre en cuenta la polaridad,
- Si la iluminación y radiación solar del panel solar fotovoltaico es el correcto el electrolizador comenzara a trabajar y así generar energía eléctrica la pila de combustible. (Ver figura 91)

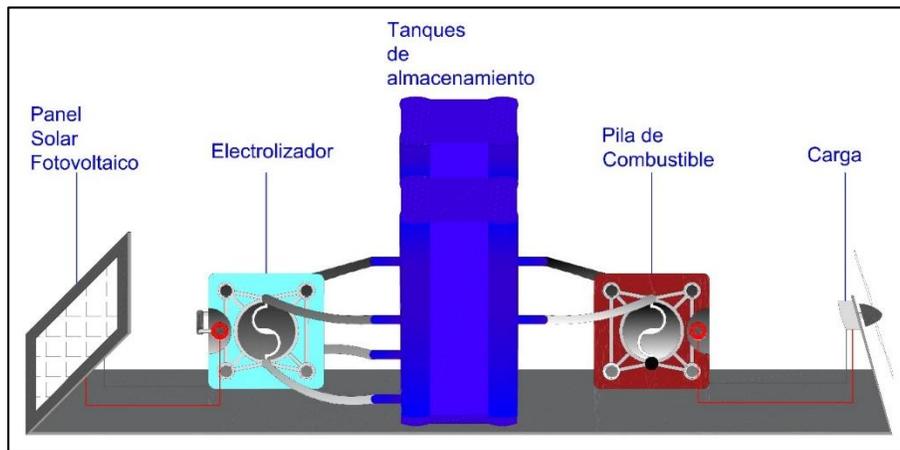


Figura 91. Diagrama de Componentes del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca

Fuente: Autor

El sistema Junior Basic J101 se encuentra alojado en una base acrílica de un área de 100 x 300 x 150 mm que se puede observar en la figura 91 y que consta de:

- Un electrolizador (Electrolyzer Cell 5) con un área de 4 cm², con una tasa de producción de hidrogeno de: 5 cm³/min de hidrogeno y 2,5 cm³/min de oxígeno. (Ver ilustración 20)



Ilustración 20. Electrolizador del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca

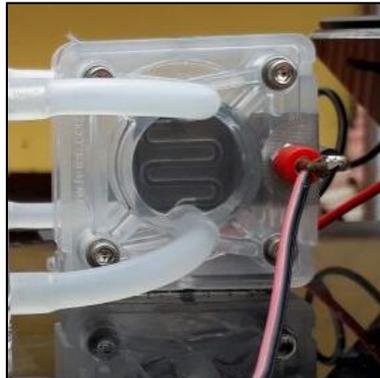
Fuente: Autor

- Dos tanques de almacenamiento de gas para hidrogeno y oxigeno con la capacidad de contener 30 cm³ de agua destilada. (Ver ilustración 21)



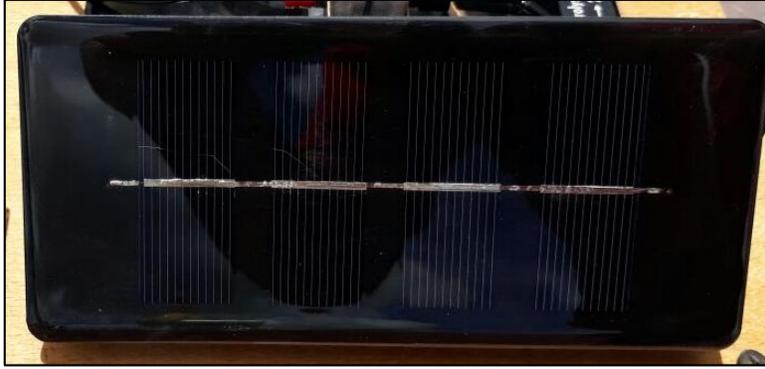
*Ilustración 21. Tanques de almacenamiento de gas del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca
Fuente: Autor*

- Una pila de combustible PEM H₂ / O₂ (PEM Fuel Cell H₂ / O₂) con un área de 4 cm², con una generación de 500 mW, con una tensión desde los 0,4 hasta los 0,96 V. (Ver ilustración 22)



*Ilustración 22. Pila de Combustible del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca
Fuente: Autor*

- Un panel solar fotovoltaico con un área de 90 cm² con una tensión de 2 V, 350 mA con una potencia de 500 mW que proporciona de electricidad para hacer funcionar el electrolizador PEM. (Ver ilustración 23)



*Ilustración 23. Panel Solar Fotovoltaico del Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca
Fuente: Autor*

4.4.1 Sistema para la recolección de datos del sistema Junior Basic J101 del CER.

Para la obtención de datos de voltaje y amperaje del sistema Junior Basic J101 se utilizaron los siguientes componentes y equipos:

- Un arduino mega 2560
- Un Shield de Ethernet
- Dos sensores de corriente Acs712
- Una Pantalla LCD de 6x12
- Un RELOJ RTC DS1307
- Un cristal de 32,768 KHz
- Resistencias
- Protoboad (Ver ilustración 24)



*Ilustración 24. Sistema Junior Basic J101 del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) de la Universidad Católica de Cuenca y Sistema de Medición y Recolección de Datos
Fuente: Autor*

Para la recolección del sistema Junior Basic J101, se utilizó como base de programación Arduino ID. (Ver ilustración 25)

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SENSORES_R_V_A-22-05-2017-2
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTC.h>
#include "RTClib.h"
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 3, 2, 1);
File logFile;
// RTC_DS1307 rtc:
RTC_DS1307 rtc;
int cont=0;
//DATOS VOLTAJE
int analogInput1 = A4;
float vout1 = 0.0;
float vin1 = 0.0;
float R11 = 33000.0; //
float R21 = 6800.0; //
int V1 = 0;
//
int analogInput2 = A5;
float vout2 = 0.0;
float vin2 = 0.0;
float R12 = 33000.0; //
float R22 = 6800.0; //
int V2 = 0;
//DATOS VOLTAJE
//DATOS POTENCIA
float p1 = 0;

```

*Ilustración 25. Pantalla del Programa Arduino IDE
Fuente: Autor*

Este sistema se basa en obtener la información mediante la utilización de los puertos digitales de la placa Arduino, una vez obtenida esa información se visualiza cada uno de los parámetros como es voltaje, amperaje y potencia tanto del panel solar fotovoltaico como de la pila de combustible en una pantalla LCD (Ver ilustración 26) y se procede a almacenar en una tarjeta micro SD con la hora y fecha de recolección de la misma, este proceso se repite cada minuto.

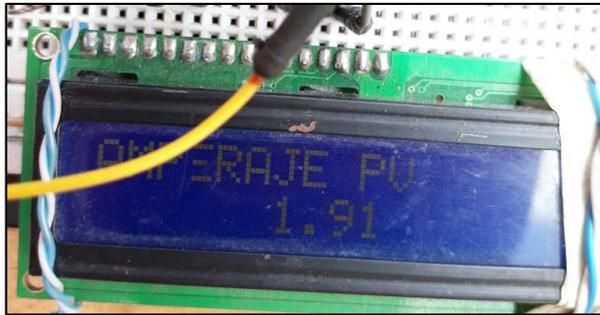


Ilustración 26. Visualización en Lcd de resultados
Fuente: Autor

4.4.2 Panel solar fotovoltaico del sistema Junior Basic J101 del CER.

4.4.2.1 Datos reales panel solar fotovoltaico del sistema Junior Basic J101 del CER.

Los datos recolectados con el sistema de medición para el panel solar fotovoltaico fueron tensión y corriente, y con el sistema de recolección de la estación meteorológica HOBO se obtuvo los valores de radiación solar y temperatura ambiente. En la figura 92 se puede apreciar la radiación solar promedio del mes de junio 2017 con su punto máximo a las 11 horas una irradiación de 677,59 W/m².

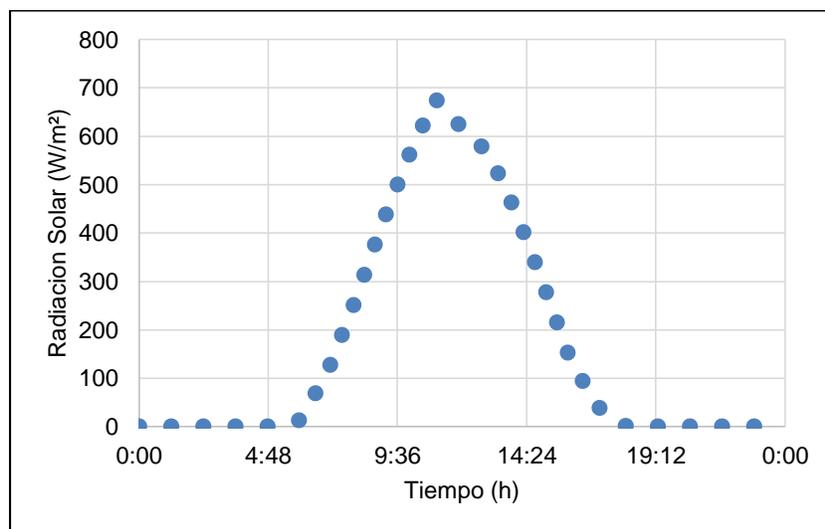


Figura 92. Radiación Solar Mensual – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La temperatura ambiente promedio del mes de Junio del 2017 se puede observar en la Figura 93, teniendo a las 13 horas una temperatura máxima de 20,61 °C.

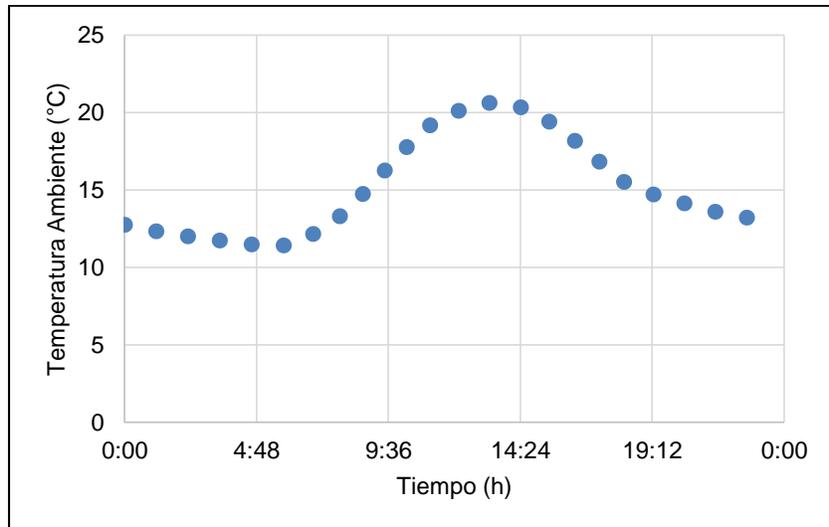


Figura 93. Temperatura Mensual – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La tensión del panel solar fotovoltaico se puede apreciar en la figura 94, teniendo una casi constante de 1,72 voltios aproximadamente desde las 9 horas hasta las 17 horas.

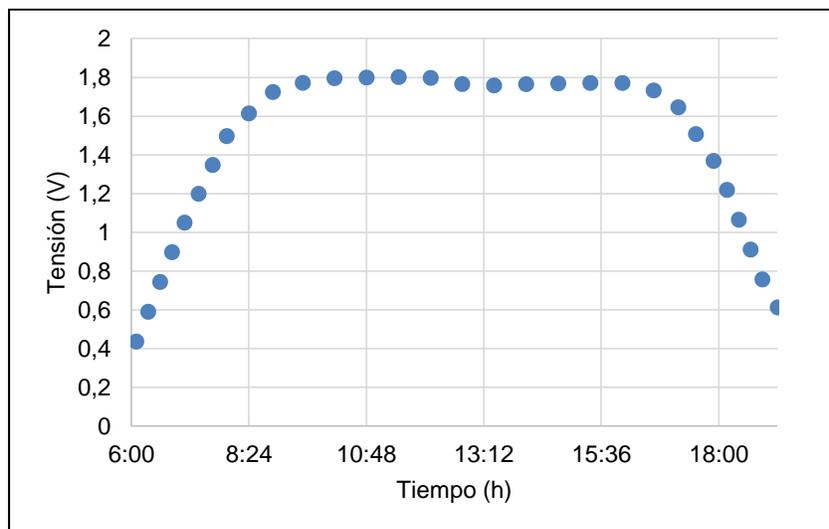


Figura 94. Tensión Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

En la figura 95 se puede apreciar que la corriente tiene variaciones que van desde 0,22 amperios hasta los 0,245 amperios durante todo el transcurso del día.

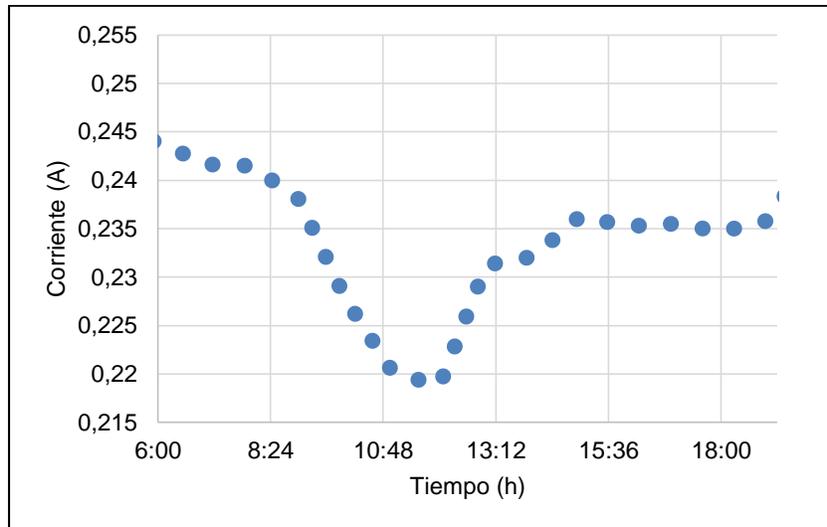


Figura 95. Corriente Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La potencia promedio del panel solar fotovoltaico en el mes de junio 2017 es de aproximadamente 0.416 Watts en su punto máximo que es a las 16 horas. (Ver figura 96)

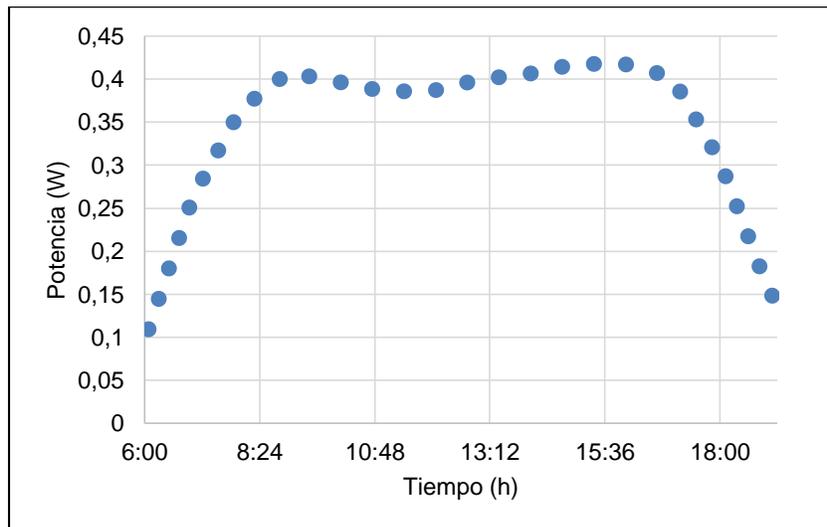


Figura 96. Potencia Real Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

4.4.2.2 Datos reales simulados panel solar fotovoltaico del sistema Junior Basic J101.

Para realizar la simulación dinámica se tomaron 4 horas del día del mes de junio 2017. En la Figura 97 se puede observar que la corriente máxima de la simulación dinámica es de 0,15 amperios a las 12 horas del mediodía.

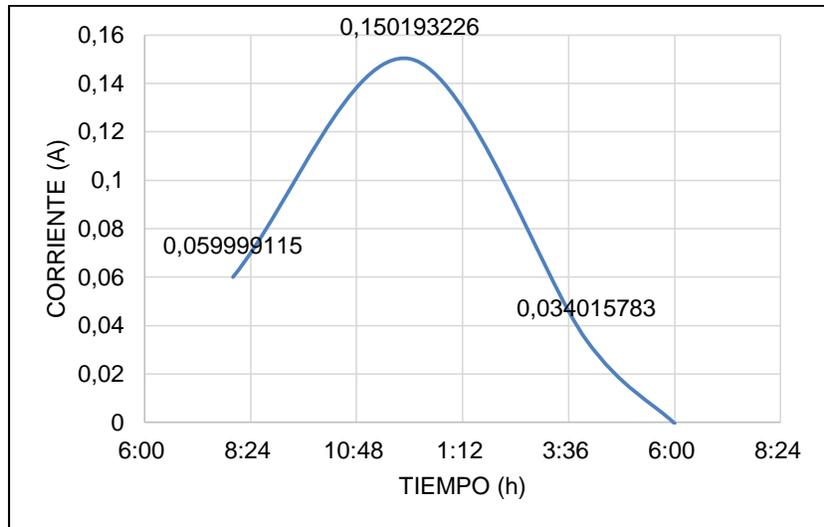


Figura 97. Corriente Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

El panel solar fotovoltaico depende básicamente de la corriente para tener una potencia elevada, es por eso que a las 12 del mediodía se obtuvo en la simulación dinámica una potencia de 0,300 Watts. (Ver figura 198)

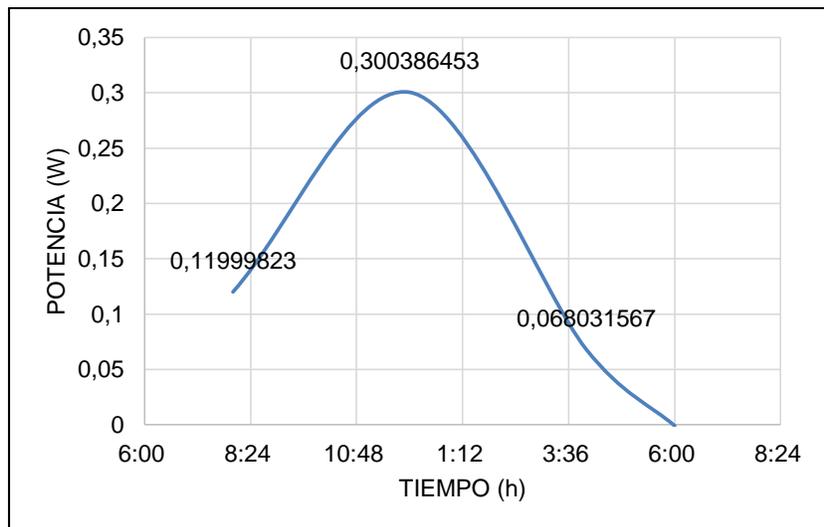


Figura 98. Potencia Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La eficiencia del panel solar fotovoltaico va estar comprendida desde los 7,14 por ciento hasta los 7,40 por ciento en los resultados de la simulación dinámica del sistema. (Ver figura 99)

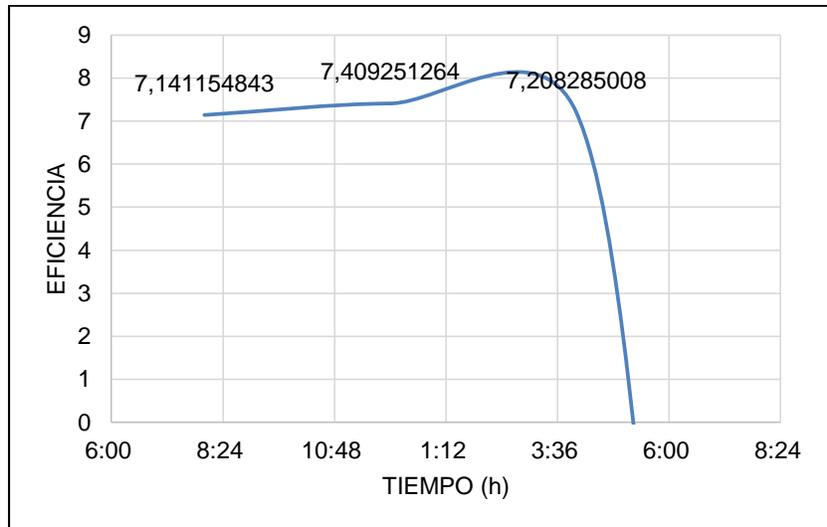


Figura 99. Eficiencia Real Simulada Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

4.4.2.3 Datos simulados teórico y experimental panel solar fotovoltaico del sistema Junior Basic J101.

Para el proceso de comparación de los datos teóricos que vienen en el sistema Junior Basic J101 con los datos de campo se utilizaron los siguientes datos.

Los datos que si utilizaron para la simulación teórica o numérica son:

- Radiación Solar de 617,07 W/m²,
- Temperatura Ambiente de 20,01 °C,
- Tensión de 2 Voltios del panel solar fotovoltaico.

Para la simulación experimental se tomaron los mismos valores de radiación solar, temperatura, el cambio se realizó en la tensión de 2 Voltios a 1,8 Voltios, teniendo como resultado de las dos simulaciones son coincidentes tanto en la temperatura, la corriente, potencia y eficiencia. (Ver Figura 100, 101, 102, 103)

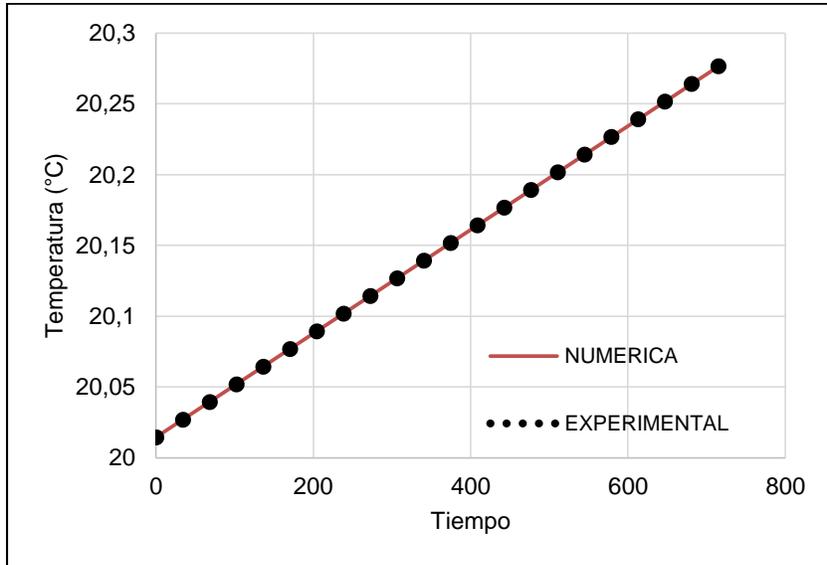


Figura 100. Resultado de la Corriente de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²
Fuente: Autor

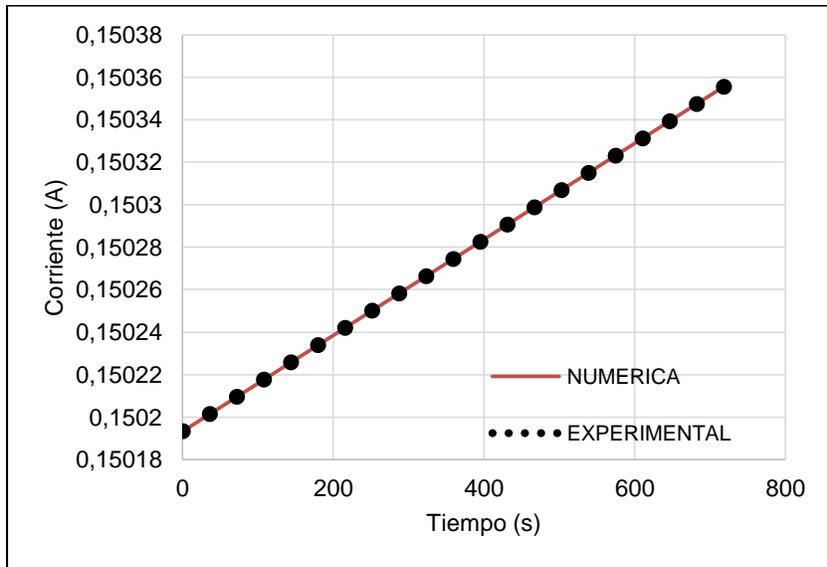


Figura 101. Resultado de la Corriente de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²
Fuente: Autor

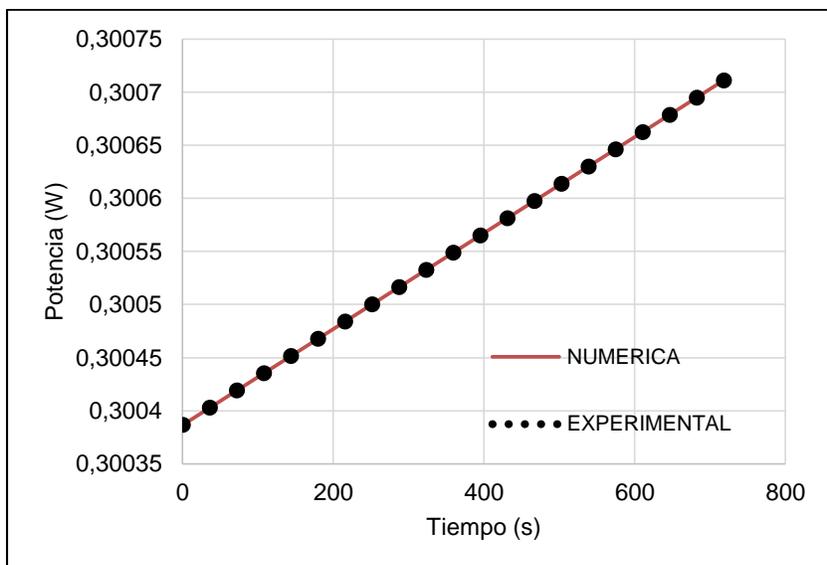


Figura 102. Resultado de la Potencia de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²

Fuente: Autor

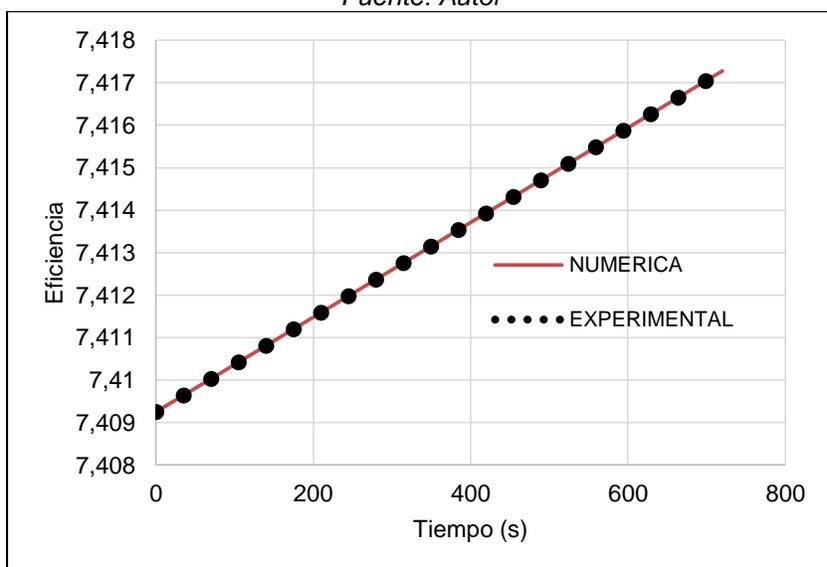


Figura 103. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica del Panel Solar Fotovoltaico del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²

Fuente: Autor

4.4.3 Pila de combustible del Sistema Junior Basic J101 del CER.

4.4.3.1 Datos reales pila de combustible del sistema Junior Basic J101 del CER.

Los datos recolectados con el sistema de medición para la pila de combustible fueron tensión y corriente. En la figura 104 se puede apreciar la gráfica de la tensión durante

el día desde las 6 horas hasta las 18 horas, creándose una casi constante aproximada de 0.85 voltios desde las 11 horas hasta las 17 horas.

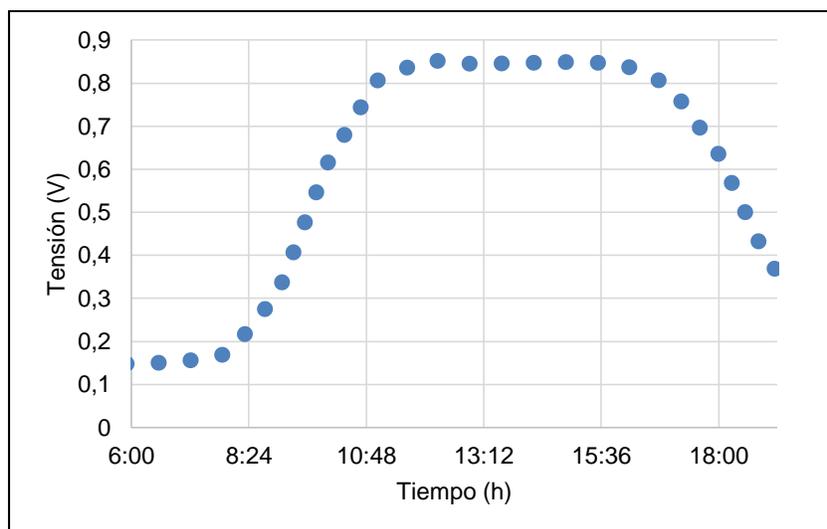


Figura 104. Tensión Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

En la figura 105 se puede observar que la corriente tiene pequeñas variaciones que van desde los 0,37 amperios hasta los 0,43 amperios durante todo el transcurso del día.

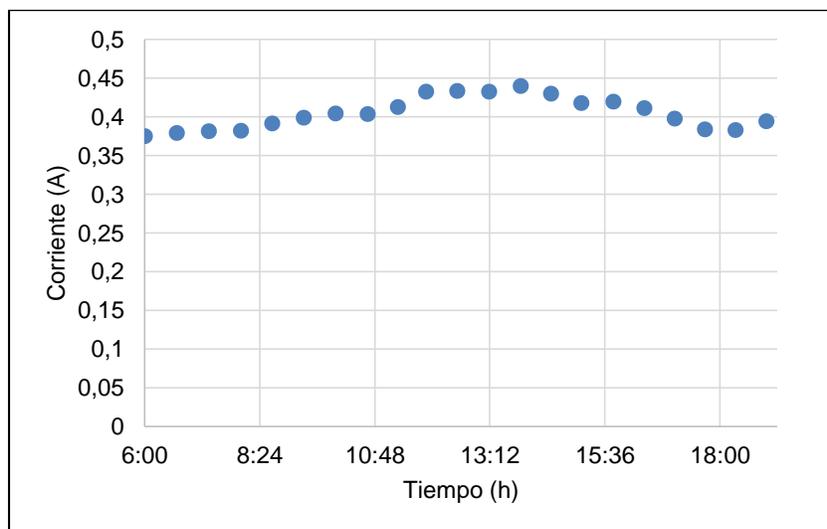


Figura 105. Corriente Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La potencia promedio de la pila de combustible en el mes de junio 2017 es de aproximadamente 0.400 Watts en su punto máximo que es a las 12 horas del mediodía. (Ver figura 106).

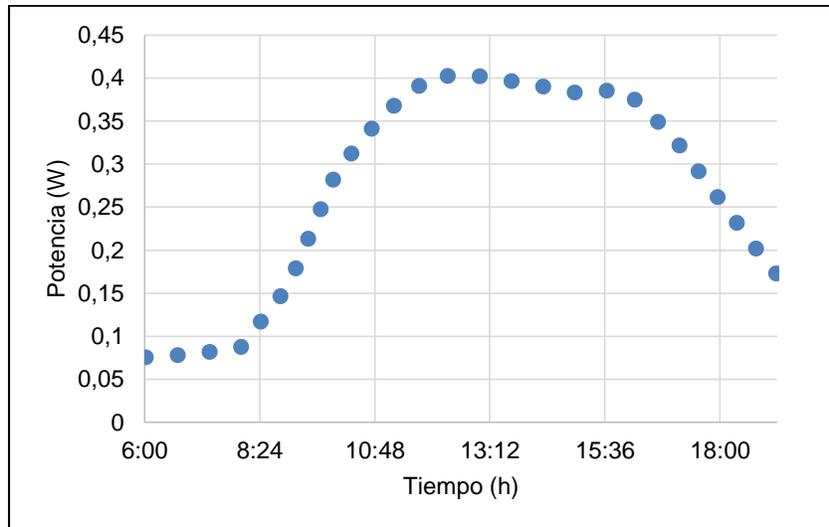


Figura 106. Potencia Real Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

4.4.3.2 Datos reales simulados pila de combustible del sistema Junior Basic J101.

Para realizar la simulación dinámica se tomaron 4 horas del día del mes de junio 2017. En la Figura 107 se puede observar que la tensión máxima de la simulación dinámica es de 1,27 Voltios a las 16 horas.

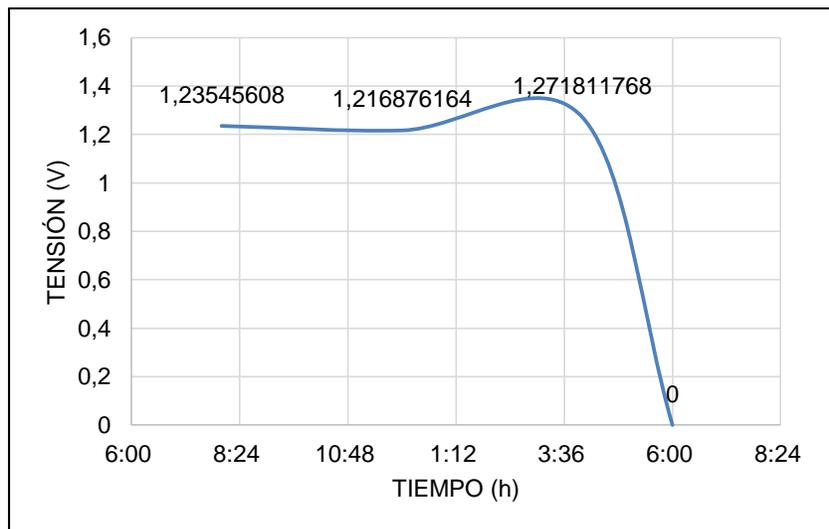


Figura 107. Tensión Real Simulada Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

La pila de combustible depende básicamente de la tensión para tener una potencia elevada, es por eso que a las 16 del mediodía se obtuvo en la simulación dinámica una potencia de 0,661 Watts. (Ver figura 108)

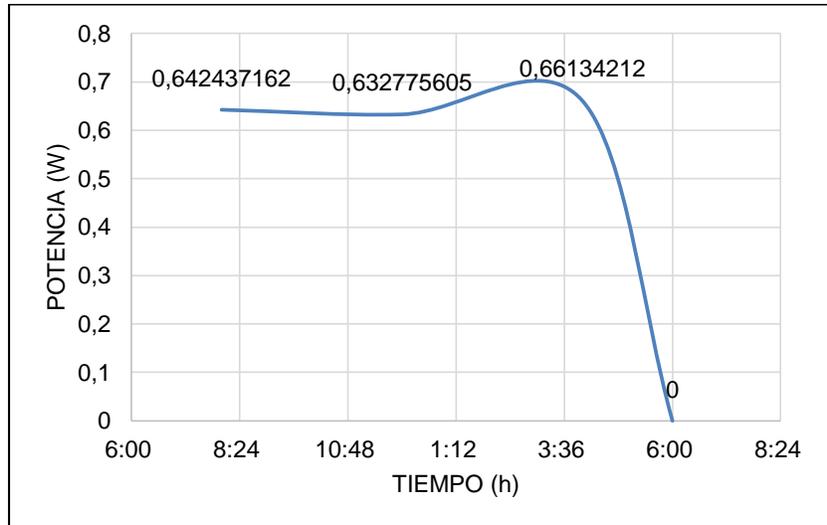


Figura 108. Potencia Real Simulada Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) en periodos diferentes de 4 horas– Mes de Junio 2017
Fuente: Autor

4.4.3.3 Datos simulados teórico y experimental pila de combustible del sistema Junior Basic J101.

Para el proceso de comparación de los datos teóricos que vienen en el sistema Junior Basic J101 con los datos de campo se utilizaron los siguientes datos para la pila de combustible.

Los datos que si utilizaron para la simulación teórica o numérica son:

- Radiación Solar de 617,07 W/m²,
- Temperatura Ambiente de 20,01 °C,
- Corriente de 0,52 amperios de la pila de combustible.

Para la simulación experimental se tomaron los mismos valores de radiación solar, temperatura, el cambio se realizó en la corriente de 0,52 amperios a 0,42 amperios, teniendo como resultado que la tensión teórica o numérica es de 1,17 voltios en un tiempo de 123 segundos a comparación de los 1,17 en un tiempo de 149 segundos. (Ver figura 109)

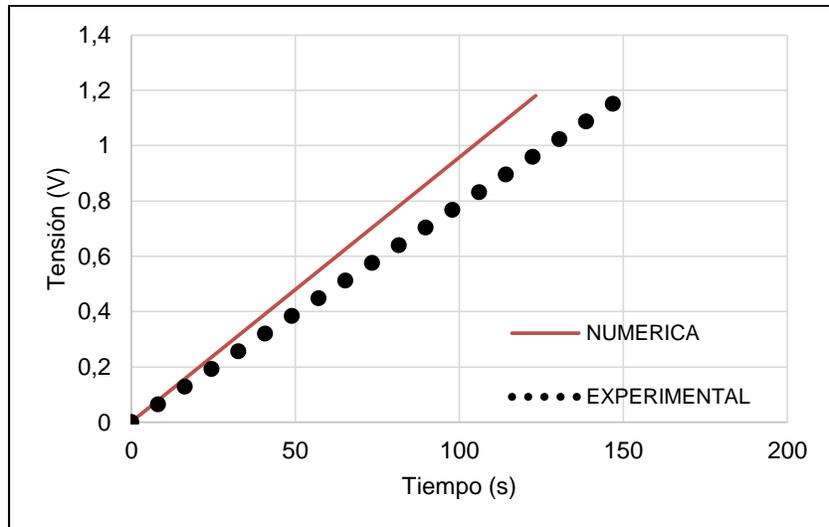


Figura 109. Resultado de la Tensión de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017 – 617,07 W/m²
Fuente: Autor

La figura 111 nos muestra la diferencia entre la potencia numérica o teórica y la experimental, teniendo como resultado en la numérica 0,61 Watts a comparación de los 0,49 Watts de la experimental.

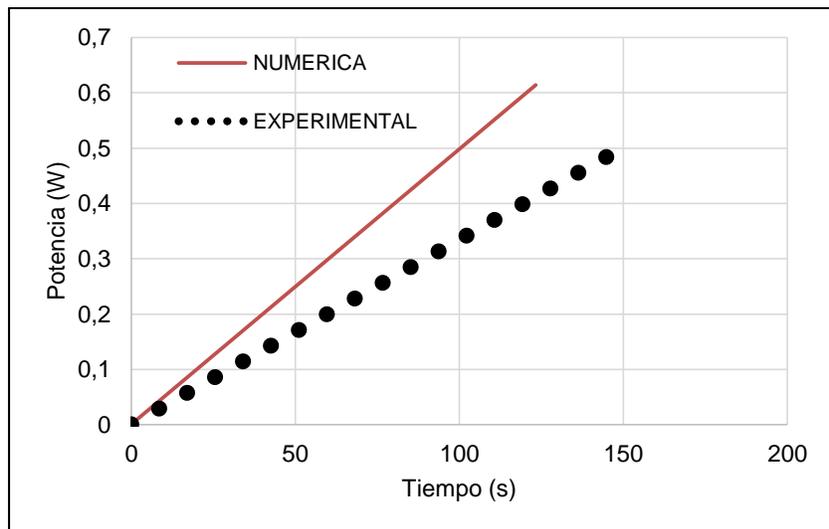


Figura 110. Resultado de la Potencia de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²
Fuente: Autor

Se puede ver los resultados de la comparación de la simulación numérica y la experimental en la figura 111, obteniendo un punto de encuentro entre las dos eficiencias en aproximadamente 50 segundos dando una eficiencia de 15.5 por ciento. La diferencia entre la tensión y la corriente de los datos experimentales de la numérica se debe a la precisión de los sensores corriente y tensión empleados para la medición en el sistema y

las pérdidas de energía transferida a la pila de combustible, es por eso que el margen de error es de 2 por ciento entre los dos.

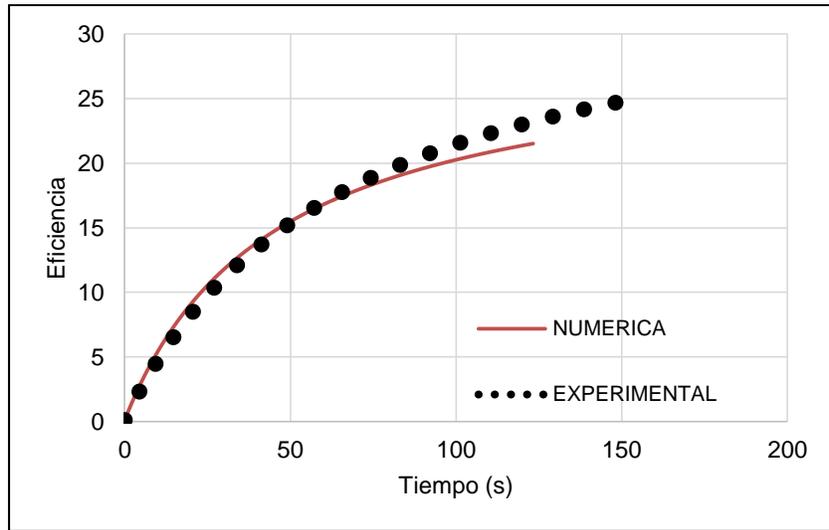


Figura 111. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica de la Pila de Combustible del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²
Fuente: Autor

4.4.4 Sistema híbrido del sistema Junior Basic J101 del CER.

Para la obtención de la eficiencia del sistema híbrido del sistema Junior Basic J101 del Centro de Energías Renovables se tomó los datos de Radiación Solar del panel solar fotovoltaico de 617,07 W/m² y la potencia de salida de la pila de combustible tanto numérica y experimental con la utilización de la ecuación 29.

Como se puede ver los resultados de la comparación de la simulación numérica y la experimental en la figura 112 del sistema híbrido, la eficiencia numérica tiene un 16 por ciento y con un valor de 14 por ciento la eficiencia experimental. La diferencia entre la tensión y la corriente de los datos experimentales de la numérica se debe a la precisión de los sensores de corriente y tensión empleados para la medición en el sistema y las pérdidas de energía transferida a la pila de combustible, es por eso que el margen de error es de 2 por ciento entre los dos.

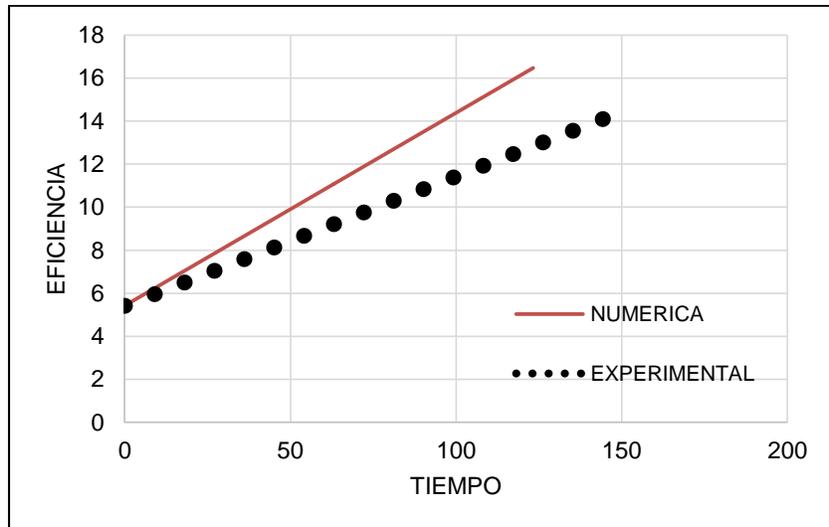


Figura 112. Resultado de la Eficiencia de la Simulación Dinámica del Sistema Híbrido del Centro de Investigación en Energías Renovables (CER) – Mes de Junio 2017– 617,07 W/m²
Fuente: Autor

CONCLUSIONES.

En este trabajo de investigación queda plasmado los datos obtenidos con la simulación dinámica de un sistema híbrido de panel solar fotovoltaico para una vivienda tipo de hasta 1200 Wh/día, basándose en diversas condiciones tanto meteorológicas como es la radiación solar, la temperatura del suelo, así como también, las condiciones de utilización del sistema que son parte fundamental para el funcionamiento tanto para el panel solar fotovoltaico como para la pila de combustible.

Con el modelo simulado presentado y validado en este trabajo de investigación, podemos utilizar para el diseño típico para zonas remotas como la amazonia para proveer hasta 1200 Wh/día.

Con los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la realización de este trabajo de investigación en función de múltiples pruebas tanto en materia teórica como numérica, se pudo obtener los resultados deseados.

Con las pruebas en condiciones de radiación solar de 1000 W/m², 750 W/m² y 500 W/m² se pudo notar que la radiación más alta es la más óptima, pero como el clima no es contante la radiación durante el día va a variar y por ende la generación del sistema híbrido va a ser variable de igual manera.

Con las pruebas con condiciones reales de radicación solar se pudo observar que no todos los meses del año tienen la misma radiación, es por eso que el sistema híbrido podría tener en ocasiones un poco de dificultades al momento de iniciarse con el panel solar fotovoltaico hasta llegar a una corriente optima de producción eléctrica, para luego dar paso a la generación de la pila de combustible.

En las condiciones con las radiaciones solares de los meses se tomaron meses dos meses para analizar su comportamiento en diversas del día, teniendo como resultado que al medio día entre las 11 hasta las 14 horas se generaría una mayor potencia de generación eléctrica.

Como última prueba se experimentó con un sistema básico de pila de combustible, con el cual se pudo observar el funcionamiento y la manera de operación del sistema, obteniendo datos satisfactorios.

Con todas estas condiciones se puede decir que el sistema híbrido tendría una ventaja ante un sistema simple de paneles solares que son usados en zonas remotas en nuestro país y alrededor el mundo entero.

RECOMENDACIONES.

En el trabajo de investigación planeado, se podría dar una alternativa para el diseño de sistemas en otras comunidades en zonas remotas para cualquier potencia.

Se puede dar como sugerencia usar la información proporcionada en este trabajo de investigación, para un posterior análisis y posible ejecución de pruebas en la comunidad antes mencionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abdullah, M., & Gan, Y. (2006). Feasibility study of a mini fuel cell to detect interference from a cellular phone. *Journal of Power Sources*, 311-318.
- AGRUPASUMA. (2017). AGRUPASUMA. Obtenido de <http://agrupasuma.com/profiles/blogs/generador-de-pila-de-combustible-de-hidrogeno-1>
- Alphaomega-Electronics. (2017). Alphaomega-Electronics. Obtenido de http://www.alphaomega-electronics.com/4233-thickbox_default/estacion-meteorologica-usb-10-canales-con-sensores
- Aly, A. E.-A. (2005). Modelling and simulation of a photovoltaic fuel cell hybrid system.
- Bossell, U. (2004). The birth of the fuel cell 1835-1845. *Power for the 21st Century*, 7.
- Desenchufados. (2017). Desenchufados. Obtenido de <http://desenchufados.net/recarga-el-iphone-20-veces-con-una-pila-de-combustible-de-hidrogeno/>
- Ecuador, S. M. (2017). INAMHI. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/la-institucion/>
- Energías Renovables. (2017). Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- Fargali, H., Fahmy, F., & Hassan, M. (s.f.). A simulation model for predictiong the performance of PV/Wind - Powered geothermal space heating system in Egypt. *The online Journal on Electronic and Electrical Engineering (OJEEE)*, 321-330.
- Gasquet, H. L. (2004). *Conversión de la luz solar en energía eléctrica - Manual teórico y practico sobre los sistemas fotovoltaicos*. Cuernavaca: Solartronic S.A.
- Grimes, P. (2000). Historical pathways for fuel cell . *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 1-10.

- Hibridos y Eléctricos. (2017). Hibridos y Eléctricos. Obtenido de <http://www.hibridosyelectricos.com/media/hibridos/images/2016/04/22/2016042222104154398.jpg>
- Hieu Nguyen, X., & Phuong Nguyen, M. (2015). Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays. *Environmental Systems Research*, 1-13.
- Howell, J., Bannerot, R., & Viet, G. (1982). *Solar-Thermal Energy System: Analysis and Design, Modeling of photovoltaic module and experimental determination of serial resistance*. McGraw-Hill Inc.
- Intelligent Energy launches first fuel cell motorbike. (2005). *Fuel Cells Bulletin*, 1.
- Khan, M., & Iqbal, M. (2003). Dynamic Modeling and Simulation of a Small Wind-Fuel Cell Hybrid Energy System. *The 28th Annual Conference of the Solar Energy*. Kingstin, Canada.
- Lee, J., Baek, S., Jung, J., Kang, H., Chung, J., & Suh, I. (2007). Development of 250 kW power conditioning system for molten carbonate fuel cell power generation system. *ICEMS-International Conference on Electrical Machines and System*, 354-358.
- Mahalakshmi, M. (2012). Modeling, simulation and sizing of Photovoltaic/Wind/Fuel Cell Hybrid Generation System. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 2356-2365.
- Najafizadegan, H., & Zarabadipour, H. (2012). Control of Voltaje in Proton Exchange Membrane Fuel Cell Using Model Reference Control Approach. *Internacional Journal of Electrochemical Science*, 6752-6761.
- Onset. (2017). Onset. Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/products/kits/u30-nrc-sys-c>
- Ortiz, E., Reyes Hernandez, A., & Febo, A. (2007). Understanding the history of fuel cell. *IEEE Conference on the History of Electric Power*, 117-122.
- Page, L., & Brin, S. (2017). Google Maps. Obtenido de <https://maps.google.de/>
- Ruiza, M., Fernández, T., Tamaro, E., & Durán, M. (2017). *Biografias y Vidas .com*. Obtenido de <https://www.biografiasyvidas.com/>
- Sai. (2016). Sai. Obtenido de http://sai.appice.es/mailling/2017_262/noticias/foto1_n1.jpg

- 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.
- Segura Manzano, F. (2009). Prototipo experimental de sistema hibrido basado en pila de combustible: diseño, modelado, implementacion y testeo. Huelva.
- Spiegel, R., & Preston, J. (2003). Technical assessment of fuel cell operation on anaerobic digester gas at the Yonkers, NY, wastewater treatment plant. Waste Managemen, 709-717.
- UNIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE CENTRO AMAZÓNICO ECUAT. (2013). Revisión Sistemas Fotovoltaicos Instalados en 2006. Pastaza.
- Voigt, C., Hoeller, S., & Kueter, U. (2016). Fuell Cell Technology for Classroom Instruction. Germany: H-TEC EDUCATION GmbH.
- Welch Public Schools. (2017). Welch Public Schools. Obtenido de <http://www.welchwildcats.net/JRSRWEB/TSA/4.gif>
- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagrama_de_pila_de_combustible_tipo_AFC.jpg
- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PEM_fuel_cell_diagram.jpg
- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DMFC.jpg>
- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MCFC.atc.jpg>
- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SOFC.atc.jpg>

- Wikimedia. (2017). Wikimedia. Obtenido de
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PAFC.atc.jpg>
- Wikipedia. (2017). Wikipedia. Obtenido de
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/Sch%C3%B6nbein.jpg>
- Wikipedia. (2017). Wikipedia. Obtenido de
https://es.wikipedia.org/wiki/William_Robert_Grove#/media/File:William_Robert_Grove_2.jpg
- Williamson, S., Emadi, A., & Shahidehpour, M. (2004). Distributed fuel cell generation in restructured power systems. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2079-2084.
- Yilmaza, P., Hakan Hocaoglu, M., & Konukmanc, A. (2008). A Pre-feasibility case study on integrated resource planning including renewable. Energy Policy, 1223-1232.

ANEXOS.

**Anexo 1: INFORME REVISIÓN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS
EN 2006**



**UNIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE
CENTRO AMAZÓNICO ECUATORIANO**

**Revisión Sistemas Fotovoltaicos Instalados en
2006**

Provincia Pastaza

Cantón Pastaza

Parroquia de Sarayaku

Cuenca del Río Bobonaza

Informe Salida a Terreno

19/11/2013 al 22 /11/2013

Índice

1	INTRODUCCIÓN	1
2	Antecedentes	1
3	DATOS DE LA SALIDA	2
3.1	Reuniones durante la estadía.....	2
4	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD.....	4
4.1	ORGANIZACIÓN	4
4.2	METODOLOGÍA	5
5	Estado de los sistemas.....	5
6	RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE	11
6.1	ATLAS SOLAR DEL ECUADOR	11
6.2	DATOS DE LA NASA.....	11
7	DIMENSIONADO DE SISTEMAS STANDARD CON PRESUPUESTO ASOCIADO	12
7.1	DIMENSIONAMIENTO CONDUCTORES.....	15
8	CONCLUSIONES.....	17

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe se enmarca dentro del proyecto “Unidad de Energía Renovable para el Centro Amazónico Ecuatoriano”, ejecutado por Ingeniería Sin Fronteras (Catalunya) (ISF-CAT) en el año 2013 y que pretendió, fortalecer la coordinación entre el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y la Empresa Eléctrica Regional Ambato (EEASA) para asegurar la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos aislados instalados en la Amazonía y mejorar las capacidades de la población en el ámbito de las energías renovables.

El proyecto pretende acompañar la tarea de las instituciones competentes fortaleciendo una unidad dedicada íntegramente a Energía Renovable en una de las zonas con los índices de electrificación rural más bajos del país. Se propone dotar a esta unidad de insumos y capacidad para alcanzar los siguientes objetivos:

- Proporcionar el asesoramiento técnico y la capacidad de conocimiento necesaria para asegurar una buena autogestión de los sistemas instalados con E.R.
- Dar un seguimiento y vigilancia adecuados a todas las instalaciones con E.R.
- Crear un censo/inventario de todas las instalaciones con generación de E.R en la zona e iniciar el censo específico de las comunidades con potencial para ser electrificadas con E.R.
- Disponer de las capacidades y los recursos necesarios para la identificación, diseño y ejecución de nuevos proyectos a desarrollar con E.R.

El martes 19 de noviembre de 2013, un equipo formado por tres técnicos de ISF-CAT y el Jefe del Área de Energía Renovable de la Empresa Eléctrica Ambato, se desplazaron a las 7 comunidades donde habita el Pueblo Originario Kichwa de Sarayaku-TAYJASARUTA con la intención de realizar un revisión técnica de equipos fotovoltaicos.

La Directiva de Sarayaku mostró un gran interés en disponer de la información actualizada de los sistemas y de capacitar a un equipo de personas de sus comunidades como técnicos comunitarios durante el año 2013. ISF – CAT, desde el proyecto, ofreció apoyo en estas dos temáticas.

El proceso de acuerdo entre las dos partes, se realizó en el mes de septiembre y octubre, durante los cuales se sucedieron hasta 4 reuniones para coordinar los preparativos para la visita entre ISF-CAT, EEASA y los representantes de la comunidad de Sarayaku, concretamente el Presidente José Gualinga y el dirigente del desarrollo comunitario Leonardo Cisneros. En estos encuentros, realizados en la sedes de Sarayaku y de ISF-CAT en la ciudad del Puyo, se concretaron fechas, y aportaciones entre otros compromisos menores.

2 Antecedentes

En el año 2006 la empresa eléctrica EEASA electrificó un total de 140 viviendas con arreglos fotovoltaicos a familias sin acceso a la energía de la Parroquia Sarayaku del cantón Pastaza. Se establecieron dos tipos de sistemas, uno denominado “Básico” de 100 Wp en corriente continua y otro “Estándar” de 200 Wp con servicio de corriente continua y corriente alterna. Se instalaron un total de 109 sistemas básicos (residenciales pequeños) y 31

sistemas Estándar (residenciales grandes y comunitarios). El proyecto fue financiado desde el programa PROMEC con fondos del Banco Mundial.

Por desacuerdos en aquel entonces entre EEASA y los dirigentes comunales en ese mismo año se dejó de hacer revisiones técnicas por parte de la empresa a los equipos. La mayoría de los sistemas pasaron desatendidos desde entonces. Solo un pequeño grupo realizó algunas reparaciones o compraron equipos como baterías y focos en DC.

3 DATOS DE LA SALIDA

Del equipo técnico se desplazaron el representante de ISF en Ecuador, dos voluntarios de esta misma organización y el Jefe del Área de Renovables de EEASA, un grupo de 5 habitantes de Sarayaku, de diferentes comunidades que acompañaron en todo momento a los técnicos, incidiendo a su vez a su misma capacitación.

Participantes

- *Diego Álvarez: Jefe Área Energías Renovables de la EEASA*
- *Facundo García: Representante de ISF-CAT en Ecuador*
- *Rubén Santiago: Voluntario proyecto de cooperación ISF-CAT*
- *Blanca Guerrero: Voluntaria proyecto de cooperación ISF-CAT*
- *Leonardo Cisneros: Dirigente en Desarrollo Comunitario Sarayaku*
- *Lenin Gualinga: Técnico Comunidad Chontayaku*
- *Silvia Guatatuca: Técnica Comunidad de Cushillo Bara*
- *Emiliano Gualinga: Técnico Comunidad Kali - Kali*
- *Jairo Santi: Técnico Comunitario Sarayaquillo.*

El desplazamiento se realizó entre el martes 19 y el viernes 22 de noviembre de 2013 y la llegada se efectuó por vía aérea, en avioneta desde el aerodromo de Shell (35 minutos)



El material y herramientas que se utilizaron fueron proporcionados por el mismo proyecto. También se trasladaron encuestas tipo para reportar fallas y demás material de oficina para la gestión.

La comunidad ofreció alojamiento en el centro administrativo, donde el equipo se alojó con carpas particulares. Los alimentos que abastecieron corrieron a cargo del proyecto, así como la contratación de un miembro de la comunidad cercano al alojamiento, quien cocinaba y preparaba los alimentos proporcionados.

3.1 Reuniones durante la estadía

El primer contacto con los dirigentes en terreno se llevó a cabo en el centro comunal de la parroquia de Sarayaku. Estuvieron presentes aproximadamente treinta personas además del responsable y los voluntarios de Ingeniería Sin Fronteras, y el ingeniero representante de la empresa eléctrica EEASA. Desde ISF-CAT se



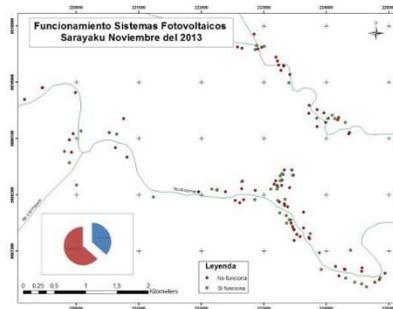
expuso el objetivo de la visita y se alistaron las diferentes actividades que se desarrollarían durante la estancia y después de esta.

- Visita y revisión técnica de todos los equipos en las viviendas,
- Solución las fallas in situ cuando fuera posible.
- Generación de informe con las recomendaciones para la puesta a punto de los sistemas y presupuesto referencial.

En esa misma reunión se organizaron los grupos definitivos de trabajo y la distribución de los itinerarios más convenientes para las 3 jornadas. Se dio cuenta también de detalles importantes, como que en el momento de la instalación realizada en 2006, la Parroquia de Sarayaku constaba de 5 comunidades: Centro pista, Shiwacocha, Kali-kali, Sarayakillo, Chontayaku. Debido al crecimiento poblacional, en 2013 se añadieron dos nuevas comunidades: Cushillo Barra y MawkaLlakta, quedando toda la parroquia dividida en 7 comunidades.

A la mitad de la estadía Se tuvo una pequeña reunión con los Curacas de las 7 comunidades y el presidente de la asociación que las aglutina a todas. Se informó a los dirigentes sobre el buen desarrollo de la actividad, y se expuso el alcance de la tarea hasta el momento.

Para finalizar la estancia en la Parroquia de Sarayaku, los responsables de la actividad Facundo García y Diego Álvarez expusieron los resultados de manera pública, con una representación gráfica de los datos obtenidos. En un mapa previo, se podía observar de manera visual la localización exacta de todas las viviendas chequeadas y su categoría de funcionamiento.



Se expuso un recordatorio de recomendaciones para los diferentes elementos de los sistemas, y así prevenir el desgaste excesivo y su mala utilización.

Finalmente, el equipo de ISF invitó y animó a algunos representantes de la comunidad a participar en las capacitaciones específicas que la organización realizaría un mes más tarde en la ciudad del Puyo, con la finalidad de familiarizar y capacitar técnicamente, y así disponer de personal técnico capaz de solucionar dudas y problemáticas de los sistemas de sus viviendas.

4 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

4.1 ORGANIZACIÓN

Para la realización de la actividad se consideró como mejor opción la división de los 4 miembros del equipo en grupos de 2 para visitar diferentes comunidades, y así poder trabajar paralelamente.

Día 1: 19-11-2013

- Grupo A: Kali-Kali(18 equipos)
- Grupo B: Shiwacocha, CentroPista (16 equipos)

Día 2: 20-11-2013

- Grupo A:Centro pista, Kali-Kali y Sarayakillo (30 equipos)
- Grupo B:Centro Pista, Cushillo Bara (20 equipos)

Día 3: 21-11-13

- Grupo A: Centro Pista, Chontayacu (10 equipos)
- Grupo B: Shiwacocha, Cushillo Bara, Mawkallacta, Chontayacu (23 equipos)

Día 4: 22-11-13

- Grupo A: Centro Pista (3 equipos)
- Grupo B: Centro pista, Cushillo Bara (3 equipos)



Como antecedente, se disponía de un listado de nombres en los que en 2006 se instalaron equipos fotovoltaicos (**Anexo A**).



4.2 METODOLOGÍA

Cada uno de los grupos fue acompañado por uno o varios miembros de la comunidad que guiaron la visita e identificaban con exactitud las viviendas que disponían de EERR. Además formaron parte de la actividad colaborando en las mediciones y chequeos de los equipos, y aprendiendo sobre el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos en su comunidad.

La actividad consistió en el desplazamiento, a pie o en canoa, hasta las diferentes instalaciones ubicadas en las casas, su georeferenciación y su revisión.

El chequeo de cada instalación incluyó como mínimo de los siguientes pasos.



- Observación estado físico de todos los elementos del sistema solar fotovoltaico y del funcionamiento o no del sistema en global.
- Medición de voltajes entradas – salidas en el regulador para comprobar el funcionamiento del mismo.
- Medición de voltajes en circuito abierto del panel o paneles.
- Medición de voltajes baterías sin cargas conectadas.
- Medición de caídas de tensión en baterías con cargas conectadas
- Anotación de los datos destacables, mediciones y necesidades de cada sistema.

5 Estado de los sistemas

Se chequearon 126 sistemas en las 7 comunidades, los restantes 14 para llegar a los 140 que se instalaron en 2006, se habían quemado o destruido por completo, o extrañamente desaparecido en alguna ocasión. Cabe recordar que los sistemas instalados eran casi en su totalidad Básico 1, es decir sin inversor incorporado.

De los 126 sistemas, 90, osea el 71,43%, no funcionan. La batería es el equipo que más fallos ha provocado, si no antes, finalmente por llegar al fin de su vida útil. Si bien aún el restante 28,57% de las instalaciones enciende, las baterías no soportan carga por mucho tiempo, por lo que el informe recomienda el remplazo del total de las baterías. El siguiente equipo que más fallas ha provocado han sido los focos fallando en el 76,46% de las casas. Siguen las luminarias con el 52.12%, reguladores con el 50.76% y los paneles solamente han fallado en el 15.87% de las viviendas.

El estado de los gabinetes, breakers y cables no era en general bueno, ya que la mayoría de equipos pasan a la intemperie. Se recomienda también la sustitución total para la restauración de los sistemas.

Seguidamente se presentan los resultados pormenorizado y en valores absolutos de equipos dañados por comunidades:

Tabla 1 Equipos por comunidades

Coordenadas WGS84 18S		Comunidad	Regulador	Baterías	Panel	Focos	Iluminarias
X	Y						
223274	9808265	Centro Pista	6	12	3	24	20
219930	9808883	Chontayacu	8	15	3	33	17
223437	9807752	Cushillo Bara	11	15	2	31	29
222965	9810561	KaliKali	16	26	6	70	58
222480	9809256	Mawka Llakta	3	15	0	33	14
224198	9809444	Sarayaquill	12	21	5	55	37
224568	9807037	Shiwacocha	8	18	1	43	22

Por último en este capítulo se presenta también el detalle de equipos dañados para cada beneficiario

Tabla 2 Equipos dañados por beneficiario

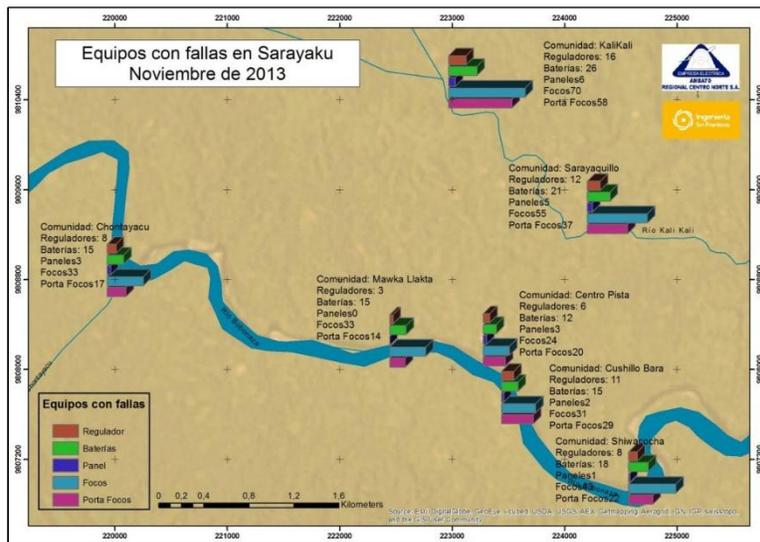
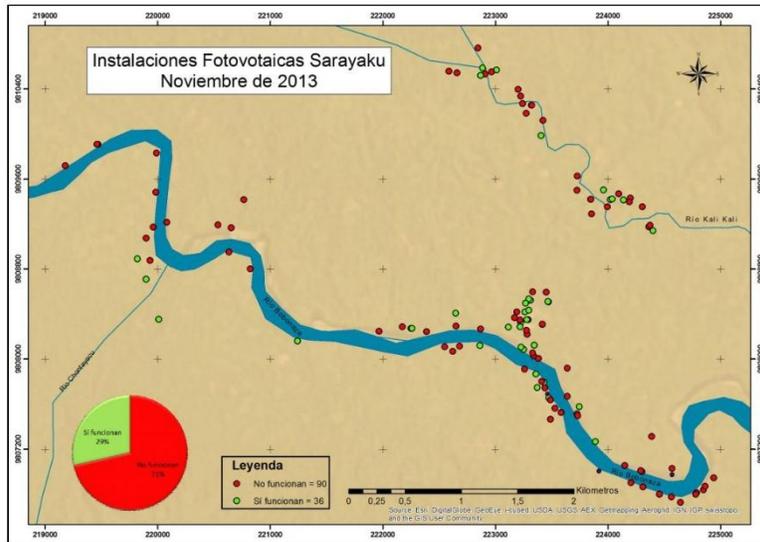
Num	Apellidos y Nombres	Funcio na	Regula dor	Bateria s	Panel	Focos	Iluminarias
Comunidad Centro Pista							
1	Aranda Santi Orlando	No		1		3	
2	Casa de la Caja Solidaria	No	1	1	1	3	3
3	Escuela Fray Simon Hurtado	No	1	1	1	3	3
4	Gualinga Gualinga Anibal	No	1	1	1	3	3
5	Gualinga Gualinga Franco	No		1		1	2
6	Gualinga Gualinga Genoveva	No	1	1		2	
7	Gualinga Gualinga Patricio	No		1		3	3
8	Casa Artesanal de la Mujer	No	1	1		1	2
9	Gualinga Santi Orlando	No		1		2	
10	Inmunda Cuji Alfredo	No	1	1		3	3
11	Viteri Gualinga Vinicio	Sí		1			1
12	Vivienda Maestros Universidad	Sí		1			
Subtotal Centro Pista			6	12	3	24	20
Comunidad Chontayaku							
13	Cuji Cuji Irene	Sí	1	1		1	
14	Cuji Dahua Abel	Sí		1			1
15	Cuji Gualinga Aura América	No	1	1			1
16	Cuji Malaver Albertina	No		1		2	
17	Escuela República de Brasil	No	1	1		3	3
18	Illanes Tanchina Onorio	No		1		3	
19	Inmunda Cuji Wilo	No		1		2	
20	Inmunda Guerra Basilio	No	1	1		3	3
21	Malaver Gayas Gustavo	No		1		3	
22	Malaver Gayas Hector	No	1	1	1	3	3
23	Malaver Gualinga Fredy	No	1	1		2	
24	Malaver Gualinga Ruben	No	1	1	1	3	3
25	Malaver Machoa Alberto	No	1	1	1	3	3
26	Malaver Machoa Alfredo	No		1		2	
27	Vargas Malaver Ventura	No		1		3	
Subtotal Chontayaku			8	15	3	33	17
Comunidad Cushillo Bara							
28	Escuela Tayac Huasi	No	1	1	1	3	3

Num	Apellidos y Nombres	Funcio na	Regula dor	Batería s	Panel	Focos	Iluminarias
29	Gualinga Aranda Cristobal	Sí		1			
30	Gualinga Cuji Atanasia	Sí	1	1		3	3
31	Gualinga Cuji Juan	No	1	1		3	
32	Gualinga Cuji Rosaura	No	1	1	1	3	3
33	Gualinga Gualinga Dionisio	No	1	1		3	3
34	Gualinga Gualinga Segundo	Sí		1			1
35	Gualinga Montalvo Jose	Sí	1	1			2
36	Gualinga Montalvo Patricia	No		1		1	3
37	Jaime Machoa Viteri	No	1	1		3	3
38	Manya Esilda Amelia	No	1	1		3	
39	Manya Gualinga Galo	No	1			3	
40	Manya Pedro Miguel	No	1	1		3	3
41	Santi Ashanga Rafael	Sí		1			1
42	Santi Cuji Basilio	No		1		3	3
43	Viteri Gualinga Franco	Sí	1	1			1
Subtotal Cushillo Bara			11	15	2	31	29
Comunidad Kali Kali							
44	Cisneros Malaver Victor	Sí		1		2	2
45	Cuji Gualinga Susana	No		1		3	3
46	Dahua Malaver Alberto	Sí	1	1	1	3	3
47	Dahua Vargas Dario	No	1	1	1	3	
48	Escuela Soldado Quiroz	No	1	1	1	3	
49	Gualinga Gualinga Arturo	No	1	1		3	3
50	Gualinga Gualinga Gregorio	No		1		3	
51	Gualinga Machoa Abdon	Sí	1	1		3	3
52	Gualinga Machoa Alonso	No	1	1	1	3	3
53	Gualinga Machoa Edgar	Sí		1		3	3
54	Gualinga Machoa Gonzalo	No	1	1		3	3
55	Gualinga Machoa Ponciano	No		1			3
56	Gualinga Machoa SaVino	No		1			3
57	Ikian Sunka Francisco	No	1			3	3
58	Machoa Ilianes Flavio	No	1	1	1	3	3
59	Machoa Chimbo Jacinto	No	1	1		3	3
60	Machoa Gualinga Ernesto	Sí		1		3	3
61	Machoa Gualinga Riccion	No	1	1	1	3	
62	Machoa Ilianes Anibal	No	1	1		3	3
63	Malaver Avelicia	Sí		1		2	2
64	Malaver Cuji Wilson	No	1	1		3	
65	Malaver Gualinga Belisario	No		1		3	3
66	Malaver Santi Jorge	No	1	1		3	
67	Mavaler Gualinga Wilmer	Sí	1	1		3	3
68	Santi Gualinga Medardo	Sí		1		2	2
69	Santi Gualinga Salvador	Sí		1		1	1
70	Santi Guerra Cristina	No	1	1		3	3
Subtotal Cushillo Bara			16	26	6	70	58
Comunidad Mawka Llakta							
71	Cisneros Malaver Cesar	No		1		3	3
72	Cisneros Malaver Napoleón	Sí		1		3	3
73	Cisneros Malaver Pedro	No	1	1		3	1
74	Dahua Cisneros Jhony	Sí		1		1	1
75	Dahua Inmunda Bolivar	Sí		1		2	
76	Dahua Inmunda Nelson	No		1		3	

Num	Apellidos y Nombres	Funcio na	Regula dor	Batería s	Panel	Focos	Iluminarias
77	Gualinga Malaver Camilo	No		1		3	3
78	Guerra Gualinga Camilo	No		1		3	
79	Guerra Inmunda Delasion	No	1	1		3	
80	Inmunda Elias	No		1		3	
81	Machoa Santo Jacobo	Sí		1			
82	Malaver Cuji Gaspar	Sí		1		1	1
83	Malaver Gualinga Alberto	No	1	1		3	
84	Malaver Gualinga Santiago	Sí		1		1	1
85	Santi Gualinga Mario	Sí		1		1	1
Subtotal Mawka Llakta			3	15	0	33	14
Comunidad Sarayakillo							
86	Aranda Canelos Acevedo	No	1	1	1	3	3
87	Aranda Canelos Victor	No				3	3
88	Aranda Cisneros Amador	No	1	1	1	3	
89	Aranda Vargas Ursula	No				3	
90	Canelos Santi Idiliano	No	1	1	1	3	3
91	Cuji Aranda Felipe	No	1	1	1	3	3
92	Cuji Aranda Martin	Sí		1		2	2
93	Escuela Santiago Gualinga	No	1	1		3	
94	Gualinga Aranda Basilio	No	1	1		3	
95	Gualinga Aranda Jordan	No		1		3	
96	Gualinga Aranda Reinaldo	Sí	1	1		3	3
97	Gualinga Cuji Eloisa	Sí		1		3	3
98	Gualinga Tapuy Franklin	No	1	1		3	
99	Jaime Canelos	No	1	1		3	3
100	Malaver Santi Silvio	Sí		1		2	2
101	Santi Aranda Gilberto	Sí		1		1	1
102	Santi Canelos Cecilia	No		1		3	3
103	Santi Gualinga Cesar	Sí		1		2	2
104	Santi Gualinga Jimmy	Sí		1			
105	Santi Gualinga Santa	No	1	1		3	3
106	Santi Guerra Jorge	No	1	1	1	3	3
107	Santi Machoa Cesar	Sí		1			
108	Santi Malaver Marcelo	No	1	1			
Subtotal Sarayakillo			12	21	5	55	37
Comunidad Shiwacocha							
109	Aranda Gualinga Carlos	No	1	1		2	2
110	Escuela Rio Bobonaza	No	1	1		3	
111	Gualinga Campos Luis	Sí		1		2	2
112	Gualinga Cisneros Octavio	No	1	1		1	
113	Gualinga Gualinga Custodio	No		1		2	
114	Gualinga Gualinga Marco	No		1		2	
115	Gualinga Malaver Baltazar	No	1	1		3	
116	Gualinga Santi Otoniel	No		1		2	3
117	Illanes Tapuy Cesar	No	1	1		3	
118	Malaver Gualinga Azucena	No		1		3	3
119	Malaver Gualinga Miguel	No		1		3	3
120	Neptali Cisneros Malaver	Sí		1		1	1
121	Santi Gualinga Isaac	No		1		3	3
122	Santi Gualinga Nestor	No		1		2	3
123	Santi Gualinga Salvador Abel	No	1	1	1	3	2
124	Santi Gualinga Ventura	No	1	1		3	

Revisión Técnica Sistemas Fotovoltaicos Instalados 2006
 Provincia Pastaza, Cantón Pastaza
 Parroquia Sarayaku
 Página 9 de 20

Num	Apellidos y Nombres	Funcio na	Regula dor	Batería s	Panel	Focos	Iluminarias
125	Santi Mayancha Romel	No	1	1		2	
126	Santi Vargas Marco	No		1		3	
Subtotal Shiwacocha			8	18	1	43	22
Total General			64	122	20	289	197



Material y presupuesto referencial general para reponer equipos.

Otro compromiso adquirido respecto de este informe fue el de proponer un presupuesto referencial para el restablecimiento de la energía en todas las casas. Este presupuesto, referencial, se propone sin valorar la mano de obra, ya que el previsible apoyo de las comunidades puede hacer variar en exceso ese monto. Los precios propuestos de equipos son medios, y de equipos con características similares a los ya instalados.

Se ha añadido un ítem llamado Kit de instalación, comprende:

- Gabinete Metálico con dos secciones de riel DIN
- Cable de conexión panel-regulador-batería 2X12AWG,
- Cable de instalaciones internas # 14AWG,
- Soporte para Panel (Estructura Metálica Galvanizada al caliente para soporte de panel FV soldado con una inclinación de 15° a un acople de tubo redondo con pernos de sujección, y un tubo de poste galvanizado de 2 m)
- Interruptor termomagnético de 10A,
- Terminales de conexión,
- Set de interruptores completo.
- Varilla copperweld con conector de puesta a tierra de 5/8" por 1,80 m.
- Protectores de caucho para terminales de batería.
- Fusibles y porta fusibles de 8A y 10A

El grado de deterioro de estos elementos en las viviendas era muy variable. Se recomienda la adquisición de al menos un kit para cada beneficiario, atendiendo a que actualmente los soportes para paneles están hechos con madera, siendo recomendable cambiarlos, y que si algunos materiales pequeños finalmente salen sobrantes podrán ser utilizados como repuestos.

Sigue la matriz con el presupuesto genera referencial:

Tabla 3 Presupuesto de equipos

PRECIO EQUIPOS NECESARIOS PARA COMUNIDADES DE LA PARROQUIA SARAYAKU			
EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [\$]	PRECIO GLOBAL [\$]
REGULADOR 12V/15A	64	\$ 65,00	\$ 4.160,00
BATERIAS 12V/105Ah	126	\$ 210,00	\$ 26.460,00
PANELES 12V/115Wp	20	\$ 136,00	\$ 2.720,00
FOCOS 10W/12V	289	\$ 18,00	\$ 5.202,00
LÁMPARAS 12V	197	\$ 15,00	\$ 2.955,00
KIT INSTALACIÓN	126	\$ 294,26	\$ 37.076,76
		SUBTOTAL	\$ 78.573,76
		IVA (12%)	\$ 9.428,85
		TOTAL	\$ 88.002,61

6 RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE

A continuación se presenta la radiación solar promedio anual para la ubicación de la Comunidad de *Sarayaku* obtenidas a través del Atlas Solar del Ecuador del CONELEC y de los datos obtenidos de la página web de la NASA.

6.1 ATLAS SOLAR DEL ECUADOR

En el Gráfico 1 se puede ver la radiación solar global promedio en la zona donde se localizan las comunidades de la parroquia *Sarayaku* (*punto rojo del gráfico*), de acuerdo al Atlas Solar del Ecuador obtenido del CONELEC la radiación tiene un valor de 3,75 kWh/m²/día.

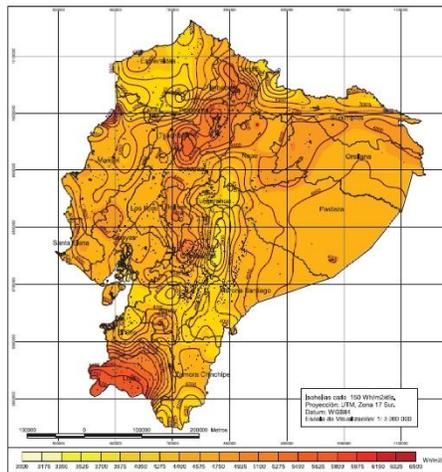


Gráfico Insolación Global Promedio-CONELEC

6.2 DATOS DE LA NASA

Tabla 4 Datos NASA

Mes	Radiación Solar Promedio [kWh/m ² /día]
Enero	3,68
Febrero	3,48
Marzo	3,44
Abril	3,63
Mayo	3,62
Junio	3,48
Julio	3,53
Agosto	3,81
Septiembre	4,07
Octubre	4,22
Noviembre	4,16
Diciembre	3,83
Anual	3,75

De acuerdo a los datos de la Nasa el valor de la radiación promedio es de 3,75 kWh/m2/día.

Para la elaboración del diseño del sistema fotovoltaico se tomara el valor de Hora Solar Pico, HSP de la Nasa (3,75 HSP), esto debido a que el valor de la NASA al ser menor nos asegura el suministro de la energía solar al sistema.

7 DIMENSIONADO DE SISTEMAS STANDARD CON PRESUPUESTO ASOCIADO

DEMANDA

Tabla 5 Demanda Energética

Equipos	Cantidad	Potencia [W]	Total Potencia [W]	Funcionamiento [horas/día]	Energía [Wh/día]
Luminarias	3	10	30	4	120

ENERGÍA REQUERIDA TOTAL

Con la información de la Tabla 5 se calcula la energía necesaria para abastecer la demanda de la vivienda estándar y se aproxima el 'Rendimiento Global' del sistema a 90%.

El voltaje del sistema será de 12Vdc por lo tanto se debe tener en cuenta al momento de realizar el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico y del banco de baterías.

$$\text{Rendimiento Global} = \eta_{temp} \cdot \eta_{cond} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{otros} \approx 90,90\%$$

Con los valores previos de demanda y rendimiento global del sistema se calcula la energía necesaria para abastecer a la escuela como sigue:

$$E_{carga} = 120,00 \text{ Wh/día}$$

$$E_{diseño} = \frac{E_{carga}}{\eta_{global}} = \frac{120}{0,909} = 132,0132 \text{ Wh/día}$$

$$I_{diseño} = \frac{E_{diseño}}{V_{sist}} = \frac{132,0132}{12} = 11,00 \text{ Ah/día}$$

Tabla 6 Demanda Energética

Consumo Total DC [Wh/día] =	120,00
Pérdidas Totales Rendimientos Equipos [Wh/día] =	12,00
Ediseño [Wh/día] =	132,00

BATERIAS

Se utilizarán baterías de ciclo profundo AGM de libre mantenimiento (selladas) con las características técnicas indicadas en la Tabla 7.

Tabla 7 Datos Técnicos Batería

Características Baterías	
Modelo	AGM
Capacidad (Ah)	105
Voltaje (V)	12
Profundidad de Descarga (PdD)	60%

Debido a que se necesita dar confiabilidad al sistema para los días en los cuales no haya radiación solar o esta sea mínima, se ha considerado 3 días de autonomía.

Número total de baterías:

$$N_{Bt} = \frac{I_{diseño} * DA}{C_{bat} * PdD} = \frac{11,00 * 3}{105 * 60\%} = 0,5238 \sim 1 \text{ batería}$$

Número de baterías en serie:

$$N_{Bs} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} = \frac{12}{12} = 1$$

Número de baterías en paralelo:

$$N_{Bp} = \frac{N_{Bt}}{N_{Bs}} = \frac{0,5238}{1} = 0,5238$$

Tabla 8 Calculo baterías

Cálculo Baterías	
Días Autonomía	3
Idiseño (Ah/día) = Ediseño/Vsist	11,00
Número Baterías en Paralelo: NBp=(Idiseño*DA)/(Cbat*PdD)	0,52
Número Baterías en Serie: NBs=Vsist/Vbat	1,00

PANEL FOTOVOLTAICO

Se dispone en el mercado de una gran variedad de paneles fotovoltaicos de diferentes fabricantes tales como BP Solar, Koncar, Sharp, Isototón, Siliken, Solarex, Panasonic, entre otros. Se debe propender a que la elección del panel sea hecha tomando en cuenta el costo-rendimiento efectivo del mismo.

En general, se procura adquirir paneles cuyo voltaje sea igual al del sistema (12, 24 ó 48 V); si esto no es posible, se han de acoplar en serie el número de paneles necesario para alcanzar dicho voltaje. A continuación se muestra en la tabla 8 las características técnicas del panel seleccionado.

Tabla 8 Panel Fotovoltaico

Características Panel Fotovoltaico	
Modelo	Policristalino
Wp (W)	115
Voc (V)	21,3
Isc (A)	7,62
Vmp (V)	17,1
Imp (A)	6,73

Se calcula el número de paneles totales como sigue:

$$N_{pt} = \frac{E_{diseño}}{W_p * HSP} = \frac{132,00}{115 * 3,75} = 0,30 \approx 1 \text{ panel}$$

El número de paneles en serie N_{ps} es el número entero inmediatamente superior al cociente entre el voltaje nominal del sistema (12 V) y el voltaje de funcionamiento del banco de baterías (12 V) y la cantidad de paneles en paralelo es el cociente entre los paneles totales y paneles en serie.

$$N_{ps} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} = \frac{12}{12} = 1$$

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} = \frac{0,30}{1} = 0,30$$

Tabla 8 Cálculo Paneles

Cálculo Paneles	
Horas Solar Promedio (HSP)	3,75
Ediseño (Wh/día)	132,00
Número Paneles Totales:	
$N_{pt} = E_{diseño} / (W_p * HSP)$	0,30
Número Paneles Serie:	
$N_{ps} = V_{sist} / V_{bat}$	1
Número Paneles Paralelo:	
$N_{pp} = N_{pt} / N_{ps}$	0,30

REGULADOR DE CARGA

El controlador debe ser escogido en base a los voltajes y corrientes esperados durante la operación del sistema fotovoltaico, pero también debe ser dimensionado para manejar condiciones de sobrecarga o pico provenientes de los módulos fotovoltaicos o las cargas conectadas al mismo. Los costos de reparación que pueden surgir de un controlador diseñado para manejar potencias menores serán muy probablemente mayores a haber elegido un controlador de capacidad mayor a la adecuada. Deben preverse los aumentos de las intensidades y las tensiones suministradas por los paneles fotovoltaicos en condiciones medioambientales determinadas, multiplicando los valores de los reguladores e inversores por 1,20 correspondiente a un factor de seguridad de 20%.

La capacidad nominal del regulador de carga es:

$$I_{Reg} = I_{sc} * N_{pp} * 1,20 = 7,62 * 1 * 1,20 = 9,144 \approx 10 A$$

$$V_{Reg} = 12 V$$

$$I_{reg} = I_{sc} * N_{pp} * 1,20 \quad 9,14$$

Las características del controlador de carga seleccionado se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Características del Regulador

Regulador Voltaje DC	
Tipo	PWM
Capacidad Nominal	15 A
Voltaje	12 V

7.1 DIMENSIONAMIENTO CONDUCTORES

CÁLCULO SECCIÓN CONDUCTOR

La sección se elige en función de la longitud del conductor, la corriente que circula por él y la resistividad del material del conductor, con el fin de minimizar las caídas de voltaje. Para eso se debe conocer la corriente que circula y la caída de voltaje máxima permitida.

Con la siguiente formula se puede determinar la sección del conductor en cada uno de los tramos del sistema fotovoltaico.

$$S = \frac{\rho * L * I * 2 * 10^6}{\Delta V} [mm^2]$$

Donde:

S = área de la sección transversal del conductor [mm^2]

I = corriente que circula por el conductor [A]

L = longitud del conductor [m]

ρ = resistividad del cobre ($1,742 \cdot 10^{-8} \Omega * m$)

ΔV = caída de voltaje [V]

La caída de voltaje admisible en el cable se calcula mediante la fórmula:

$$\Delta V = \Delta V(\%) * V_n$$

Donde:

V_n = voltaje nominal [V]

$\Delta V(\%)$ = porcentaje de caída voltaje permitida, ver Tabla 11

Descripción	Corriente Protección	Fusible DC	Breaker DC
Panel - Regulador	8	8	
Regulador - Batería	8	8	
Regulador - Carga DC	3		10

Tabla 1 Caída Voltaje Máximo Permitido

TRAMO	ΔV [%]	ΔV [V]
Panel - Regulador	3%	0,36
Regulador - Batería	1%	0,12
Regulador - Carga	3%	0,36

Tabla 122 Caída Voltaje Máximo Permitido

Descripción	Corriente [A]	Voltaje [V]	ΔV (%)	Longitud [m]	Sección mm ²	Sección AWG	Corriente Máxima [A]	Admite Corriente
Panel - Regulador	6,73	12	3,0%	5,00	3,26	12	25	ADMITE
Regulador - Batería	6,73	12	1,0%	1,50	2,93	12	25	ADMITE
Regulador - Carga DC	2,50	12	3,0%	6,00	1,45	14	20	ADMITE

CÁLCULO PROTECCIONES

PRESUPUESTO COMPLETO DE UNA INSTALACION NUEVA VIVIENDA ESTANDAR

Equipamiento	Características	Cantidad [Unidad]	Precio [US\$/Unidad]	Total [US\$]
Generador Fotovoltaico	Panel Policristalino 115Wp - 12V DC	1	136	136
Regulador	Regulador 15A - 12V DC	1	65	65
Batería	Batería 105Ah - 12V DC	1	110	110
Luminarias	Fluorescentes Compactas 10W - 12V DC	3	25	75
Kit de Instalación	Gabinete Metálico, cable de conexión panel-batería 2X12AWG, Cable de instalaciones internas # 14AWG, Soporte para Panel (Estructura Metálica Galvanizada al caliente para soporte de panel FV soldado con una inclinación de 15° a un acople de tubo redondo con pernos de sujeción, y un tubo de poste galvanizado de 2 m), Interruptor termomagnético de 10A, terminales de conexión, set de interruptores completo y varilla copperweld con conector de puesta a tierra de 5/8" por 1,80 m. Protectores de caucho para terminales de batería. Fusibles de 8A y 10A	1	294,26	294,255
SUBTOTAL				680,26
IVA (12%)				81,63
TOTAL				761,89

PRESUPUESTO GENERAL TOTAL VIVIENDAS COMUNIDADES SARAYAKU

Equipamiento	Características	Cantidad [Unidad]	Precio [US\$/Unidad]	Total [US\$]
Generador Fotovoltaico	Panel Policristalino 115Wp - 12V DC	118	136	16048
Regulador	Regulador 15A - 12V DC	118	65	7670
Batería	Batería 105Ah - 12V DC	118	110	12980
Luminarias	Fluorescentes Compactas 10W - 12V DC	354	25	8850
Kit de Instalación	Gabinete Metálico, cable de conexión panel-batería 2X12AWG, Cable de instalaciones internas # 14AWG, Soporte para Panel (Estructura Metálica Galvanizada al caliente para soporte de panel FV soldado con una inclinación de 15° a un acople de tubo redondo con pernos de sujeción, y un tubo de poste galvanizado de 2 m), Interruptor termomagnético de 10A, terminales de conexión, set de interruptores completo y varilla copperweld con conector de puesta a tierra de 5/8" por 1,80 m. Protectores de caucho para terminales de batería. Fusibles de 8A y 10A	118	294,26	34722,09
SUBTOTAL				80.270,09
IVA (12%)				9.632,41
TOTAL				89.902,50

8 CONCLUSIONES

A lo largo de la información recogida en el estudio realizado, se han podido observar ciertas características comunes por lo que respecta al funcionamiento de las placas fotovoltaicas particulares.

En la mayoría de los casos en sistemas que se encuentran no operativos, no se ha realizado mantenimiento, o este ha sido mínimo. Se han encontrado placas completamente oscuras por la suciedad, con lo que no estaban aprovechando el máximo de energía posible.

Por otro lado, en algunos casos se ha observado también malas conexiones en los sistemas, realizados por los mismos usuarios, dado a que algún elemento se les había estropeado, e intentando reparar o buscar una forma alternativa de su debido uso, se realizó un uso indebido de los mismos, empeorando el estado de los diferentes elementos como las baterías por malas conexiones y desconocimiento.

En cambio, como dato positivo a remarcar, se puede definir que todos aquellos sistemas a los que se les han dado cuidados básicos de limpieza y mantenimiento, buen aislamiento,

cuidados mínimos, se encontraban en funcionamiento y buen estado, siendo utilizados prácticamente en su totalidad.

Estos datos remarcan la importancia del conocimiento básico de usuarios a la hora de ser beneficiarios de uno de estos sistemas, de lo contrario, el trabajo de abastecimiento realizado puede resultar frustrado en cuanto a resultados satisfactorios a largo plazo.

Asimismo, hay que destacar que se han encontrado muchas baterías que han sido desconectadas y que actualmente se encuentran abandonadas en las diferentes viviendas. Siendo un peligro para el medio ambiente de toda la comunidad.

Es indispensable que la empresa eléctrica coordine y traiga con las comunidades para dar el seguimiento y asesoramiento tanto en lo técnico como en la gestión para el cobro de la tarifa con lo cual se dispondrá de recursos para el pago de los técnicos propios de la comunidad encargados del mantenimiento de los sistemas. Está demostrado que sin esto los proyectos fracasan como es el caso de Sarayaku.



Anexo 2: ENCUESTAS REALIZADAS POR EL MEER-EMPRESA ELECTRICA AMBATO CON COLABORADORES DE UCACUE

Formato de encuesta realizada



Ministerio
de Electricidad
y Energía Renovable

Levantamiento de información para comunidades Mawka Llakta y Chontayaku.
Septiembre del 2016

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	DATOS DE LA ENCUESTA																																		
PROVINCIA <u>Pastaza</u> CANTÓN <u>Pastaza</u> PARROQUIA <u>Sarayaku</u> COMUNIDAD <u>Mawka Llakta</u>	ENCUESTADOR NOMBRES <u>Celia Ríos</u> APELLIDOS <u>Marín</u>																																		
Número de Vivienda en la comunidad <u>18</u> PROVISIÓN ENERGÉTICA DE LA ZONA Cod <u>1</u> 1. Empresa Eléctrica Ambato 2. Empresa Eléctrica Centro Sur 3. Empresa Eléctrica Regional Sur.	RESULTADO DE LA ENCUESTA <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="6">MÓDULOS</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Completa (EFECTIVA)</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Parcialmente completa</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rechazo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		MÓDULOS						1	2	3	4	5	6	Completa (EFECTIVA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Parcialmente completa							Rechazo						
	MÓDULOS																																		
	1	2	3	4	5	6																													
Completa (EFECTIVA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓																													
Parcialmente completa																																			
Rechazo																																			
INFORMACIÓN GPS (WGS84-UTM) ID PUNTO ALTURA <u>3912</u> mts <u>18</u> <u>116W</u> X <u>222100</u> Y <u>9808303</u>	Fecha: <u>07/09/16</u> Hora inicio: _____ Hora fin: _____ día/mes/año 24H/min 24H/min																																		
IDENTIFICACIÓN PROPIETARIO DE LA VIVIENDA Y ENCUESTADO PROPIETARIO DE LA VIVIENDA NOMBRES <u>Marín</u> APELLIDOS <u>Malaver Catapacha</u>	AREA DE SUPERVISIÓN ENCUESTADOR <u>Adriana Marín</u> SUPERVISOR <u>RT</u> REVISOR <u>RT</u>																																		
TELÉFONO DEL PROPIETARIO CELULAR _____ CONVENCIONAL _____ CORREO ELECTRONICO: _____	SUPERVISIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Visita Conjunta <input type="checkbox"/> Re-entrevista <input type="checkbox"/> Revisión del cuestionario																																		
PERSONA ENCUESTADA NOMBRES <u>Dorwin</u> APELLIDOS <u>Malaver Catapacha</u>																																			
PARENTESCO CON EL JEFE DEL HOGAR Cod <u>1</u> 1. Jefe/a del hogar 2. Cónyuge o Conviviente 3. Hijo o hija (solteros, casados de mayor a menor) 4. Yerno o nuera 5. Nieto o nieta 6. Padres o suegros 7. Otro pariente 8. Otro no pariente 9. Empleado(a) Doméstico(a) 10. Miembro del hogar colectivo																																			
ID INFORMANTE (CÉDULA) <u>1610061671800</u>																																			

MODULO I
 AREA: ...
 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN BENEFICIARIA
 1.1. Demográficas y Educativas (Características de Individuos / Nivel de Educación / Idioma)

No.	NOMBRES Y APELLIDOS	1.1.1 Pregunta Parentesco con el jefe de hogar	1.1.2 Pregunta Sexo	1.1.3 Pregunta Etnia	1.1.4 Pregunta ¿Cuántos años cumplidos tiene?	1.1.5 Pregunta ¿Hace cuántos años vive usted en la comunidad?	1.1.6 Pregunta ¿Qué idioma habla?	1.1.7 Pregunta ¿Sabe leer y escribir?	1.1.8 Pregunta ¿Asiste actualmente a un centro de educación?	1.1.9 Pregunta ¿Cuál fue el último nivel de estudios aprobado?	1.1.10 Pregunta ¿Hace cuántos años finalizó los estudios?
		Código	Código	Código	Años	Años	Especifique	Código	Código	Nivel	Años
01	Postwin Malaver Celapucha	1	2	7	26	26	Kichwa	2	1	4	7
02	Luz Santi Aranda	1	1	7	25	25	Kichwa	2	2	4	7
03	Nived Malaver Santi	2	1	7	6	6	Kichwa	2	1	5 años	
04	Wiviana Malaver Santi	2	1	7	4	4	Kichwa	3	1	5 años	
05	Sicumar Malaver Santi	2	1	7	3	3			1	5 años	
06	Adilgas Malaver Santi	1	1	7	14 años	14 años			1	5 años	
07											
08											
09											
10											

Códigos para pregunta 1.1.1
 0. Ninguno
 1. Papá / Madre
 2. Hijo / Hija
 3. Hermano / Hermana
 4. Abuelo / Abuela
 5. Tío / Tía
 6. Sobrino / Sobrino
 7. Primo / Prima
 8. Cuñado / Cuñada
 9. Verno / Nuera
 10. Nieto / Nieta

ESTE INDICADOR SE LLENARÁ ENFERMENTE CON INFORMACIÓN QUE PROVEA EL/A JEF/E DE HOGAR:

Códigos para pregunta 1.1.9
 0. Ninguno
 1. Centro de Alfabetización / Educación Básica Adultos
 2. Centro de Desarrollo Infantil
 3. Primaria / Escuela
 4. Educación Básica / Secundaria
 5. Colegio
 6. Técnico

CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN REFERIDA
12. Situación Ocupacional y Gastos

12.1 Pregunta	12.2 Pregunta	12.3 Pregunta	12.4 Pregunta	12.5 Pregunta	12.6 Pregunta	12.7 Pregunta	12.8 Pregunta	12.9 Pregunta	12.10 Pregunta	12.11 Pregunta	12.12 Pregunta	12.13 Pregunta	12.14 Pregunta	12.15 Pregunta	12.16 Pregunta
¿Recibe mensualme nte dinero de familiares de afuera de la comunidad? 1.- SI -> 2.- No -> >Vaya a 4	¿Cuánto dinero recibe por familiares afuera de la comunidad? Número	¿Recibe el dinero de desarrollo humano? 1.- SI -> 2.- No ->	¿Cuánto recibe por desarrollo humano? Número	¿Cuánto dinero recibe por desarrollo humano? Número											
Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares	Código	Dólares
2		2		6m		6m	35	Compras	3	6	2				
2		2		6m		6m	35	11	3	6	2				
2		2		6m		6m		11	1						
2		2		6m		6m		11	1						
2		2		6m		6m		11	1						
2		2		6m		6m		11	1						

1. No especificado
2. Remolcar o Poner
3. Trabaja en el hogar sin pago
4. Remolcar o Poner
5. Trabaja en el hogar sin pago
6. Remolcar o Poner
7. Trabaja en el hogar sin pago
8. Remolcar o Poner
9. Otra especificada

MODULO I
ÁREA: I.4. TIERRA, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN BENEFICIADA
I.4. Tierra, producción y comercialización

I.1.4.1 Pregunta: ¿Cuáles son las fuentes de producción principales de su hogar? Se recomienda enumerarlas en orden de aporte, caso contrario se dará a todas las velocidades la misma importancia

Variable: Vocación Productiva

Cod
 1. AGRICULTURA
 2. GANADERÍA Y CRÍANZA DE ANIMALES
 3. ARTESANÍA
 Otro
 Especifique _____

1. La de mayor aporte
 2. La segunda de mayor aporte
 3. La tercera de mayor aporte
 4. La cuarta de mayor aporte

I.1.4.2 Pregunta: ¿Durante los últimos 12 meses usted o su familia cultivan tierras o parcelas?

Variable: Posee tierras

Cultiva tierras 1. Si
 2. No (pase a la próxima variable)

Pregunta: ¿Las tierras que cultiva pertenecen a algún miembro del hogar?

1. Si
 2. No (base a la próxima variable)

I.1.4.3 Pregunta: Identifique los usos que usted y su familia le dan a la tierra que poseen

Variable: Uso de la Tierra

Detalle
 1. Producción Agrícola
 2. Producción Pecuaria
 3. Otro
 Especifique _____

I.1.4.4 Pregunta: ¿Son comercializados los productos que se producen en sus tierras?

Variable: Productos Comercializados

Comercializa productos 1. Si
 2. No (pase a la próxima variable)

1. Mercado dentro de la comunidad
 2. Mercado fuera de la comunidad
 3. Mercados lejanos y distantes
 4. Comercialización

I.1.4.5 Pregunta: ¿En dónde comercializa estos productos?

No.	Producto	Lugar(Cod)	Frecuencia producción al	Cantidad	Unidad	Precio
1.	Yuca	1	1 MES	1	cajones	10
2.	Mátamo	1	1 MES	5	cajones	3 dolares
3.	Cebolla					
4.	Hortalizas					
5.	Papa					
6.	Otro:					
7.	Otro:					
8.	Otro:					
9.	Otro:					
10.	Otro:					

I.1.4.6 Pregunta: ¿Durante los últimos 12 meses ha criado animales en su hogar?

Variable: Producción de cárnico

Cria Animales 1. Si
 2. No (pase a la próxima variable)

1. En casa
 2. Cerca del hogar
 3. Cerca de la comunidad
 4. Lejos

I.1.4.7 Pregunta: ¿Qué productos cárnicos y pesqueros se generan para el hogar y cuál es su destino?

Variable: Destino de cárnico

No.	Producto	Destino(Cod)	Frecuencia al año	Cantidad	Unidad	Precio
1.	Res					
2.	Porcino					
3.	Ave					
4.	Pescado					
5.	Otro:					
6.	Otro:					
7.	Otro:					
8.	Otro:					
9.	Otro:					
10.	Otro:					

I.1.4.8 Pregunta: ¿Algún miembro del hogar realizan actividades artesanales?

Variable: Artesanías

Comercializa las artesanías 1. Si
 2. No (pase a la próxima variable)

1. Mercado dentro de la comunidad
 2. Mercado fuera de la comunidad
 3. Mercados lejanos y distantes
 4. Comercialización

I.1.4.9 Pregunta: ¿En dónde ha comercializado estos productos en los últimos 12 meses?

No.	Producto	Lugar(Cod)	Frecuencia al año	Cantidad	Unidad	Precio
1.	Figuras de cerámica					
2.	Accesorios de vestir					
3.	Prendas textiles					
4.	Otro:					
5.	Otro:					
6.	Otro:					
7.	Otro:					
8.	Otro:					
9.	Otro:					
10.	Otro:					

CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR

II.1.- Salud (Morbilidad, Enfermedades frecuentes, Existencia de atención médica)

II.2.1 Pregunta	II.2.2 Pregunta		II.2.3 Pregunta	II.2.4 Pregunta	II.2.5 Pregunta						II.2.6 Pregunta	II.2.7 Pregunta	II.2.8 Pregunta	II.2.9 Pregunta		
	¿Cuántas veces al año va al médico?	1.- entre 1 y 3 2.- más de 3			¿Cuánto le cuesta ir al médico?	Número	Durante los últimos 12 meses, ¿se ha quemado por combustibles (velas, keros, gasolina, etc.)?	1.- Si 2.- No	Diarrea	Mordedura de Serpiente					Resfriado Gripe	Fiebre
	1	2	Dólares	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Código
NOMBRES Y APELLIDOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

II MODULO II		CARACTERÍSTICAS DEL HOGAR												
II.1 AREA:		II.1.- Alimentación (Hábitos de nutrición y Desarrollo de Pesca, Caza y Recolección).												
Pregunta II.1. Cuanto dinero representa sus gastos mensuales: dólares														
II.1.2 Pregunta Durante los últimos 7 días, ¿se consumieron dentro del hogar... (ITEM)? 1. Si 2. No (Pase a siguiente ítem)			II.1.3 Pregunta ¿Qué cantidad consumieron en su hogar en los últimos 7 días? 1. Libras 2. Gramos 3. Litros 4. Unidades		II.1.4 Pregunta De esa cantidad que consumieron, ¿qué cantidad tuvieron que comprar? 1. Libras 2. Gramos 3. Litros 4. Unidades		II.1.5 Pregunta ¿Cuánto costó la cantidad que tuvieron que comprar?		II.1.6 Pregunta De la cantidad que no tuvieron que comprar, ¿qué cantidad provino de: 1. Autoconsumo 2. Salario o especie 3. Regalos			II.1.7 Pregunta: ¿Qué otros productos agrícolas, cárnicos y pesqueros se consumen en su hogar? Variable: Consumo doméstico de otros		
No.	ALIMENTO	1	2	Cantidad	Cód.	Cantidad	Cód.	Precio	Cantidad	Cód.	No.	Producto	Cantidad	Cód.
01	Carne de Sajino	X		10	1						01			
02	Guatusa	X		8	1						02			
03	Guanta	X		15	1						03			
04	Camote		X								04			
05	Papa China	X		10	1						05			
06	Yuca	X		20	1						06			
07	Bagre		X								07			
08	Insectos										08			
09	Frutas										09			
10	Cebolla										10			
11	Col													
12	Cebada													
13	Arveja													
14	Verde	X		20	1									
15	Habas													
16	Mellocos													
17	Oca													
18	Trigo													
19	Caña													
20	Chonta													
21	Pescaditos	X		5	1									
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

III. MODULO III		CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	
III.1. ÁREA:		III.1. Infraestructura (Vivienda / Tierras / Otros inmuebles)	
<p>III.1.1 Pregunta: ¿Cuál es la principal vía de acceso a su comunidad?</p> <p>Variable: Vía de acceso</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 1. Camino, sendero <input checked="" type="checkbox"/> 2. Río / lago <input type="checkbox"/> 3. Otro Especifique _____</p>	<p>III.1.2 Pregunta: Explique ¿Cómo llega a su vivienda desde el centro comunitario principal y cuánto tarda?</p> <p><u>3 minutos</u></p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<p>III.1.3 Pregunta: Marque con una "x" con los servicios que cuenta su vivienda:</p> <p>Variable: Servicios básicos</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Energía Eléctrica Tipo de Suministro eléctrico: _____ <input checked="" type="checkbox"/> 2. Agua entubada <input type="checkbox"/> 3. Tratamiento de agua y desechos <input type="checkbox"/> 4. Servicio higiénico <input type="checkbox"/> 5. Otro _____</p> <p>↓ Especifique _____</p> <p><input type="checkbox"/> 4.1 Pozo séptico (recibe y trata el agua) <input type="checkbox"/> 4.2 Pozo ciego (recipiente de aguas residuales) <input type="checkbox"/> 4.3 Letrina <input checked="" type="checkbox"/> 4.4 A campo abierto</p>			
<p>III.1.5 Pregunta: ¿Cuál es el material predominante del techo de la vivienda?</p> <p>Variable: Material techo</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Hormigón (losa, cemento) <input checked="" type="checkbox"/> 2. Asbesto (eternit, euralit) <input type="checkbox"/> 3. Zinc <input type="checkbox"/> 4. Teja <input type="checkbox"/> 5. Palma, paja u hoja <input type="checkbox"/> 6. Otro Especifique _____</p>	<p>III.1.6 Pregunta: ¿Cuál es el material predominante de las paredes de la vivienda?</p> <p>Variable: Material paredes</p> <p><input type="checkbox"/> 1. Hormigón <input type="checkbox"/> 2. Ladrillo o bloque <input type="checkbox"/> 3. Adobe o tapia <input checked="" type="checkbox"/> 4. Madera <input type="checkbox"/> 5. Caña revestida o bahareque <input type="checkbox"/> 6. Caña no revestida <input type="checkbox"/> 7. Otro Especifique _____</p>		
<p>III.1.7 Pregunta: ¿Cuál es el material predominante del piso de la vivienda?</p> <p>Variable: Material piso</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 1. Tabla sin tratar <input type="checkbox"/> 2. Cerámica, baldosa, vinyl o mármol <input type="checkbox"/> 3. Cemento o ladrillo <input type="checkbox"/> 4. Caña <input type="checkbox"/> 5. Tierra <input type="checkbox"/> 6. Otro _____</p>	<p>III.1.8 Pregunta: Sin contar la cocina, el baño, ¿Cuántos ambientes o habitaciones tiene la vivienda incluyendo sala y comedor?</p> <p>Variable: Espacios de a vivienda</p> <p>Número de Espacios de la vivienda <u>3</u></p>		
<p>III.1.9 Pregunta: Del total de ambientes en la vivienda, ¿cuántos son exclusivos para dormir?</p> <p>Variable: Dormitorios de la vivienda</p> <p>Número de dormitorios en la vivienda <u>2</u></p>	<p>III.1.10 Pregunta: ¿Dispone espacio para cocinar en su vivienda?</p> <p>Variable: Espacio para cocinar</p> <p>Dispone de cocina <input checked="" type="checkbox"/> 1. Si <input type="checkbox"/> 2. No</p>		
<p>III.1.11 Pregunta: ¿Utiliza algún espacio de la vivienda para actividades productivas o negocios?</p> <p>Variable: Espacio para producción</p> <p>Dispone de espacio para su negocio <input type="checkbox"/> 1. Si <input checked="" type="checkbox"/> 2. No</p>	<p>III.1.12 Pregunta: ¿Cuántas personas viven en su vivienda tomando en cuenta los últimos 6 meses?</p> <p>Variable: Habitantes de su vivienda</p> <p>Número de habitantes en la vivienda <u>3</u></p>		

III.2.5 Pregunta: ¿Conoce UD del sistema solar fotovoltaico?

- 1. Si
- 2. No (pase a la pregunta IV. 2.10)

De ser Si su respuesta, señale sus ventajas y desventajas que UD considera:

III.2.6 Pregunta: ¿Está de acuerdo con que el sistema solar fotovoltaico sea manejado por los miembros de la comunidad?

Señale su razón

- 1. Si
- 2. No

De ser no su respuesta, especifique otra alternativa:

III.2.7 Pregunta: ¿Aportan o pagan los miembros de su comunidad por algún servicio comunitario?

- 1. Si
 - 2. No
- De ser Si su respuesta, ¿Tienes problemas de morosidad?

Explique las razones

III.2.8 Pregunta: Enliste los principales 5 principales rubros que gasta la comunidad en servicios comunitarios

	Costo mes (dólares)
1.- _____	_____ dólares
2.- _____	_____ dólares
3.- _____	_____ dólares
4.- _____	_____ dólares
5.- _____	_____ dólares

III.2.9 Pregunta: ¿Usualmente quien o quienes administran los recursos del hogar?

- Padre de familia 1.
- Madre de familia 2.
- Hijos 3.
- Otros 4. Especifique: _____

III.2.10 Pregunta: ¿Cree UD que los miembros de su comunidad estarían dispuestos a pagar para contar con servicio eléctrico?

Señale su razón

- 1. Si
 - 2. No
- ¿Cuánto? A 9,50
- ¿Por qué? _____

III.2.11 Pregunta: ¿Cree UD que los miembros de su comunidad estarían dispuestos a colaborar con las labores de O&M de los Sistemas Solares?

Señale su razón

- 1. Si
 - 2. No
- ¿Por qué? _____

V.1 MODULO V
AREA

UTILIZACION DE FUENTES DE ENERGIA
Consumo y utilización del auto

DEMANDA ELÉCTRICA							SITUACION ACTUAL				
DETALLE	CANTIDAD	POTENCIA	HORAS DE USO	DIAS DE USO A LA SEMANA	FUENTE EN:	USO	UNIDAD	CUANTO CONSUME AL MES	CUANTO LE CUESTA (POR UNIDAD)	TOTAL	DONDE LO CONSIGUE
FOCOS	4	15w	4	7	VELAS	Auto	\$				
RADIO	1		2-3	7	DIESEL	Chimbozo		26 dólares	1,45	240	Puyo
TELEVISOR					GASOLINA						
DVD					PILAS	LUZ	2	5 pesos	Paquete	9 dólares	Puyo
CARGADOR DE PILAS	1	9w	2	7	GAS						
REFRIGERADORA					BATERIAS						
COCINA					LEÑA						
TELÉFONO	1		2	7	KEROSENE						

1. ¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR MENSUALMENTE POR OTRO SERVICIO DE ELECTRICIDAD? USD 150

2. ¿DE TENER ENERGÍA ELÉCTRICA, QUÉ OTROS USOS LE DARÍA? (DETALLE)
luz para trabajo y estudio
Radio

3. ¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR POR EL SERVICIO DE ELECTRICIDAD EN ESTOS CENTROS COMUNITARIOS?
150 dólares

4. ¿CREE QUE LOS SERVICIOS COMUNITARIOS DEBEN TENER LUZ ELÉCTRICA?
Si

5. ¿ESTARÍA DISPUESTO JUSTO A COLABORAR CON LAS LABORES DE OSM PREVENTIVAS DE LOS SPY?
1. SI NO
2. NO ¿POR QUÉ?

1. ¿DISPONE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO? DESDE CUANDO? FUE INSTALADO POR EESA? NO

2. FUNCIONA EL SISTEMA??

SI

CUANTO ABASTECE?

NO

CUANDO Y PORQUE DEJO DE FUNCIONAR?

3. QUE USO LE DAN O LE DABAN A LA ENERGÍA?

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

	MARCA	MODELO	ESTADO	DATOS
INVERSOR				
REGULADOR				
PANEL				
BATERÍA				

Resultados de las Encuestas realizadas

IDENTIFICACION PROPIETARIO DE LA VIVIENDA

Levantamiento de Información para comunidades Mawka Llakta

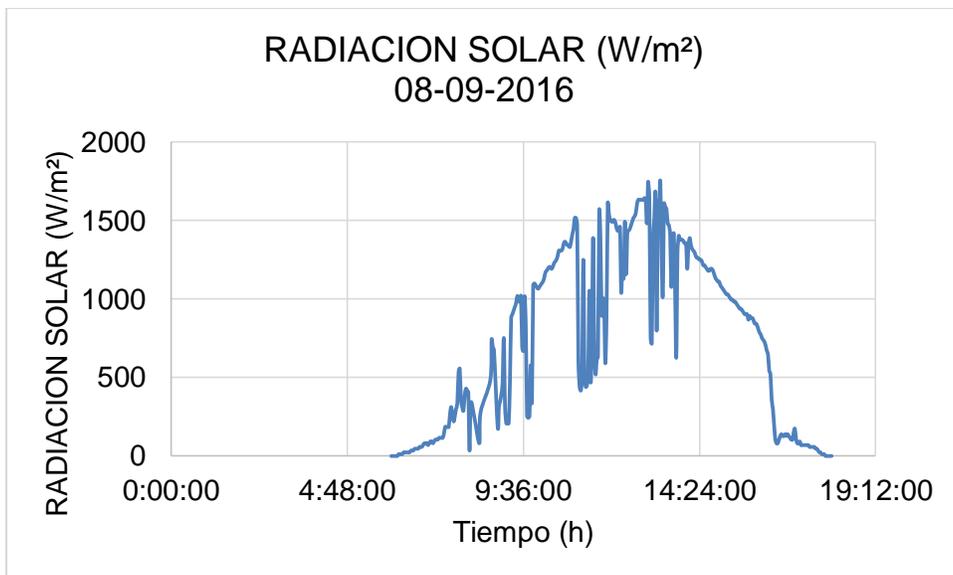
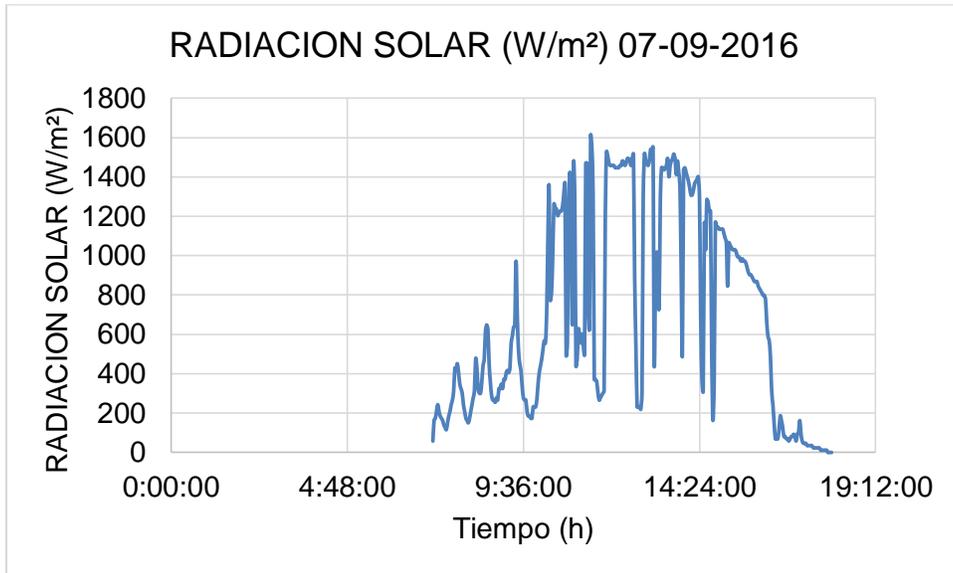
NUMERO	PROVINCIA	CANTÓN	PARROQUIA	COMUNIDAD	Información GPS (WGS84 UTM)			IDENTIFICACION PROPIETARIO DE LA VIVIENDA
					X	Y	ALTURA	
1	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222359	9808259	386	MALAVAR CISNEROS PEDRO
2	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	221890	9802271	353	CISNEROS ROMEL
3	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222649	9808292	360	MALAVAR JULIAN
4	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222998	9808366	382	MALAVAR SANTIAGO
5	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222894	9808263	342	GUALINGA FERMIN BENANCIO
6	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222240	9808262	355	DAHUA JHONY
7	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta				GUALINGA YASACAMA LAURANO DIONICIO
8	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222679	9808393	379	MACHOA SANTI OSCAR SEGUNDO
9	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta				CANELOS SANTI LIVINO
10	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta				MACHOA JAIME
11	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta				MACHOA GUALINGA JHONATAN
12	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222784	9808037	314	CISNEROS MALAVAR GABRIEL
13	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222583	9808305	367	MALAVAR JOSÉ
14	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222638	9808392	368	MACHOA SANTI MARCO
15	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222546	9808121	358	INMUNDA SANTI ELIAS
16	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222427	9808065	352	GUALINGA CUJJI ISIDRO
17	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222708	9808303	392	MALAVAR CALAPUCHA DARWIN
18	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222251	9808285	372	CISNEROS MALAVAR VIRGINEA LEONOR
19	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222591	9808475	403	MACHOA GUALINGA JULIO CESAR
20	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222676	9808121		MALAVAR MARIANELA
21	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222446	9808254	360	CISNEROS DAHUA ROMAN
22	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222231	9808035	351	VARGAS ARANDA ESTEBAN POLICARPIO
23	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222401	9808265	351	CISNEROS WILIAM
24	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222877	98088124	354	CISNEROS LEONARDO
25	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	MAWKALLACTA	222153	9808282	357	DAHUA FROILAN
26	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	221346	9808162	350	SANTI GUALINGA MARIO
27	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222404	9808242	350	MACHADO SANTI MARIA CLEOFE
28	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222663	9808410	398	MACHOA SANTI DIONICIA JOSE
29	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222626	9808070	320	URSULA GUALINGA CUJJI
30	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222769	9808047	313	CISNEROS LEONARDO
31	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	221669	9808281	351	CISNEROS DAHUA HERNAN NORBERTO
32	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	221834	9808273	360	SANTI ARANDA LUCIANO CAMILO
33	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222527	9808384	361	SANTI FRANCISCO
34	PASTAZA	PASTAZA	SARAYAKU	Mawka Llakta	222874	9808272	339	GUALINGA MALAVAR EFRAIN MOLINA

ACCION PROPIETARIO DE LA VIVIENDA		ACCESO A LA COMUNIDAD				MATERIAL DEL TECHO DE LA VIVIENDA	
N° CEDULA ENCUESTADO	APELLIDOS Y NOMBRES ENCUESTADO	CAMINO / SENDEROS	RIO / LAGO	OTROS	ZINC	MA, PAJA U HI	HORMIGON
	MALVER CISNEROS PEDRO						
	CISNEROS ROMEL						
	MALVER JULIAN						
	MALVER SANTIAGO						
	DAHUA JHONY						
1600065799	GUALINGA YASACAMA LAURANO DIONICIO		1	1		1	
1600284440	MACHOA SANTI OSCAR SEGUNDO			1			1
1706719224	CANELOS SANTI LIVINO		1				1
1600155582	MACHOA JAIME	1	1		1		
1600403155	MACHOA GUALINGA JHONATAN	1	1				1
1600029811	CISNEROS MALVER NAPOLEON		1		1		
1600902512	MALVER JOSE		1	1			
1600141426	MACHOA SANTI MARCO	1	1		1		1
1600299554	INMUNDA SANTI ELIAS		1	1	1		
1600029837	GUALINGA CUJI ISIDRO		1				1
1600667800	MALVER CALAPUCHA DARWIN	1	1		1		
1600024787	CISNEROS MALVER VIRGINEA LEONOR		1		1		1
1600927881	ARANDA GUALINGA PAOLA BRIGITTE	1	1		1		
1600482031	MALVER MARIANELA		1		1		1
1600142291	DALIA DAHUA		1				1
	VARGAS ARANDA ESTEBAN POLICARPIO	1	1		1		1
1600620440	CISNEROS WILLIAM	1	1		1		1
1600029811	CISNEROS NAPOLEON		1	1			1
NO	DAHUA FROILAN		1				1
1600265043	SANTI GUALINGA MARIO		1	1	1		1
1600141780	MACHADO SANTI MARIA CLEOFE		1		1		1
1600284457	MACHOA SANTI DIONICIA JOSE	1	1				1
	MALVER MARANELA		1	1	1		1
1600278913	CISNEROS LEONARDO	1	1				1
1600426348	CISNEROS DAHUA HERNAN NORBERTO	1	1		1		1
1650064064	SANTI ARANDA LUCIANO CAMILO	1	1	1	1		1
1600667883	SANTI FRANCISCO		1	1	1		1
1600304545	GUALINGA MALVER EFRAIN MOLINA	1	1	1	1		1

PERSONAS QUE VIVEN EN LA VIVIENDA	PROVISIÓN DE ENERGÉTICA DE LA ZONA	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO		LOS MIEMBROS DE LA COMUNIDAD	
		SI	NO	SI	NO
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO				
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO	1		1	
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
1	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
3	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
1	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
5	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
8	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
1	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
3	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
2	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
5	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
9	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
3	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
5	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
3	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
8	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
6	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
5	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
2	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
8	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
4	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
5	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1
9	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO		1		1

UNIDAD ESTARIAN DISPUESTOS A PAGAR POR CONTAR CON EL SERVICIO DE LA COMUNIDAD ESTARIA DISPUESTOS A COLABORAR CON LABORES		SI	NO
COSTO			
\$ 0,00			
\$ 0,00			
\$ 0,00			
\$ 0,00			
\$ 0,00			
\$ 0,00			
\$ 1,50	1		
\$ 8,00	1		
\$ 1,00	1		
\$ 0,00			1
\$ 2,00	1		
\$ 5,00	1		
\$ 0,00	1		
\$ 0,00			1
\$ 0,00	1		
\$ 0,00			
\$ 2,50	1		
\$ 3,00	1		
\$ 5,00	1		
\$ 0,00	1		
\$ 0,00			1
\$ 0,00			
\$ 0,00	1		
\$ 10,00	1		
\$ 9,00	1		
\$ 10,00	1		
\$ 5,00	1		
\$ 10,00	1		
\$ 5,00	1		
\$ 3,00	1		
\$ 1,00	1		
\$ 0,00	1		

Anexo 3: DATOS DE LA RADIACIÓN DE LA AMAZONIA (07/09/2016-08/09/2016)



Anexo 4: 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 • 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

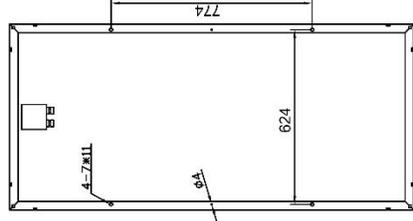
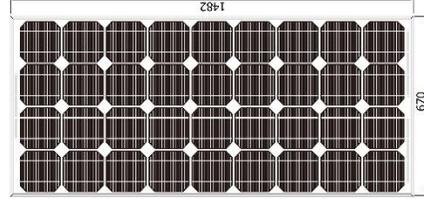
Solar radiation shield for temperature & RH sensor: see specifications

Anexo 5: CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

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	Cixi Renhe, TOP
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium



Electrical Data	
Maximum Power	$P_{MPP\ STC}$ 120 W 130 W 140 W
Power Tolerance	Δ_{STC} ± 2% ± 2% ± 2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP\ STC}$ 17.7 V 17.8 V 17.8 V
Maximum Power Current	$I_{MPP\ STC}$ 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	η_{STC} 12.10% 13.10% 14.10%
Maximum System Voltage	U_{DC} 1000 V 1000 V 1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m²; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C; Wind 0 m/s

Temperature Coefficients	
Power Coefficient	$\alpha_k (P_{MPP})$ -0.45 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_k (U_{OC})$ -0.35 %/K
Current Coefficient	$\phi_k (I_{SC})$ 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

Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:beibanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China

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

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



Anexo 6: CARACTERISTICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA

Model	WWS10A-24	WWS10A-48
Rated Battery Voltage	24V	48V
Rated Wind Turbine Maximum Power	1000W	
Rated Wind Turbine Maximum Input current	60A	
Rated Wind Turbine Maximum instantaneous Input current	1500W	
Unload Voltage (factory default)	28V	56V
Unload Current (factory default)	25A	
PV maximum charge Current	10A	
Control Mode	PWM	
Display Mode	LCD	
Display Parameters	Battery Voltage, Wind Turbine Voltage, PV Voltage, Wind Turbine Current, PV Current, Wind Turbine Power, PV Power .Etc	
Range of working Temperature & Humidity	-20~+55°C/35~85%RH (Without Condensation)	
Quiescent Current	30±2 mA (100mA if the interface is RS485)	
Protection Type	Solar cells reverse charging, solar cells anti-reverse, battery over charge, battery over-discharge, battery anti-reverse, Overloading, lightning protecting, wind turbine current limiting, wind turbine automatic brake and manual brake.	

Anexo 7: CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA SOLAR

UCG 100-12
12V 100AH
Deep Cycle

Ultracell[®]
Quality in Every Language

UCG100-12



Physical Specification

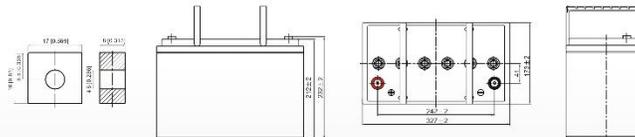
Part Number:	UCG100-12
Length:	328 ± 2 mm
Width:	173 ± 2 mm
Container Height:	212 ± 2 mm
Total Height (with terminal):	235 ± 2 mm
Approx Weight:	Approx 31kg

Specifications

	Normal Voltage	12V
	Normal Capacity (10HR)	100AH
Terminal Type	Standard Terminal	F10
	Optional Terminal	F11
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	UL94:VO
Rated Capacity	104.0 AH/5.20A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	100.0 AH/10.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	88.0 AH/17.6A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	76.2 AH/25.4A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	63.8 AH/63.8A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	1000A (5s)	
Internal Resistance	Approx 5.9mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 24.0A Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C
	Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Design Floating Life at 20°C	15 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions

F10 Terminal



ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

1 Ultracell (UK) Ltd | Vestey Business Park | Vestey Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk



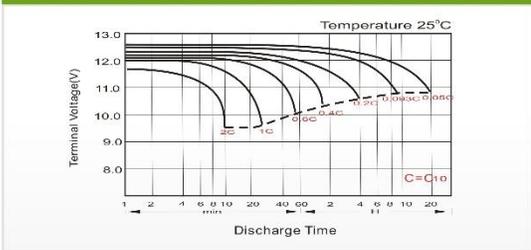
Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C (77°F)

F.V/Time	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	173.6	146.4	130.2	115.3	87.5	65.2	52.4	31.3	23.5	19.2	16.4	14.4	11.6	9.65	5.13
1.80V/cell	210.0	167.6	143.7	123.5	92.1	68.7	55.1	33.1	24.6	20.2	17.2	15.0	12.0	10.0	5.20
1.75V/cell	237.0	186.3	154.0	130.8	96.5	71.3	57.1	34.4	25.4	20.7	17.6	15.3	12.2	10.1	5.29
1.70V/cell	261.6	199.5	165.1	138.9	101.8	74.6	59.5	35.3	26.0	21.2	17.9	15.6	12.4	10.2	5.34
1.65V/cell	291.7	215.1	178.5	146.6	106.7	77.4	61.9	36.3	26.7	21.7	18.3	15.9	12.6	10.3	5.40
1.60V/cell	330.8	232.5	188.5	154.3	112.3	80.5	63.8	37.5	27.6	22.2	18.6	16.2	12.7	10.5	5.45

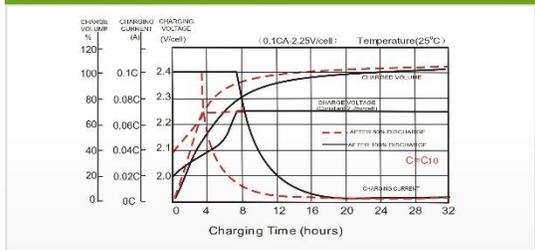
Constant Power Discharge (Watts) at 25°C (77°F)

F.V/Time	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	322.5	274.9	247.1	220.5	168.5	126.4	102.2	60.8	45.7	37.5	32.2	28.2	22.9	19.1	10.2
1.80V/cell	386.4	312.2	271.0	235.1	176.8	132.7	107.2	63.8	47.7	39.2	33.6	29.4	23.7	19.8	10.3
1.75V/cell	431.3	344.9	288.7	247.8	184.3	137.3	110.8	66.0	49.1	40.1	34.3	29.9	24.0	19.9	10.4
1.70V/cell	470.9	366.5	307.7	261.8	193.6	143.0	115.0	67.6	50.1	41.0	34.8	30.4	24.3	20.1	10.5
1.65V/cell	519.3	391.4	330.2	274.5	201.9	147.7	119.1	69.2	51.3	41.8	35.3	30.8	24.6	20.3	10.6
1.60V/cell	578.9	418.2	345.1	286.6	211.1	152.9	122.4	71.1	52.7	42.6	35.9	31.3	24.8	20.5	10.7

Discharge Characteristics



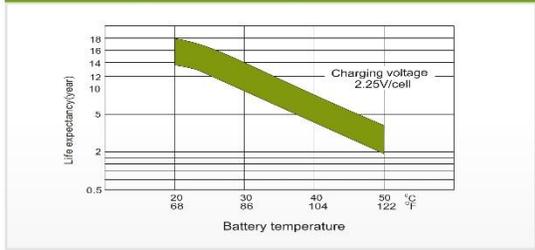
Float Charging Characteristics



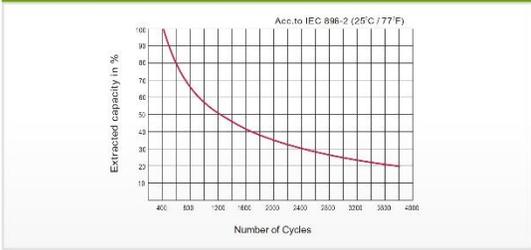
Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



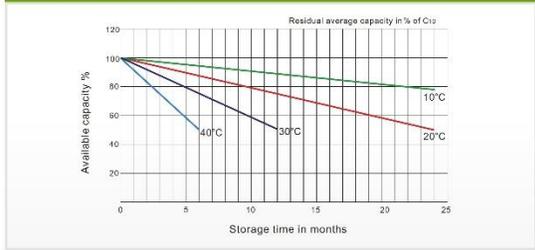
Effect of Temperature on Long Term Float Life



Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



General Relation of Capacity VS. Storage Time



ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

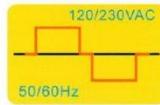
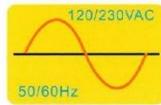
2 Ultracell (UK) Ltd | Vesty Business Park | Vesty Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk



Anexo 8: CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR

Power Star W7

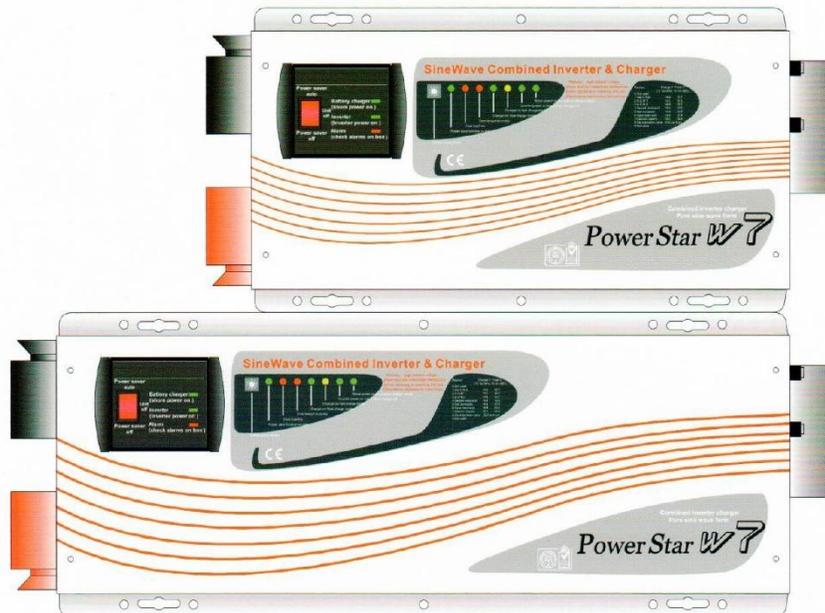
Product Information Guide



1000W	4000W
2000W	5000W
3000W	6000W

Continuous power
with P.F.C charger

SineWave Combined Inverter & Charger



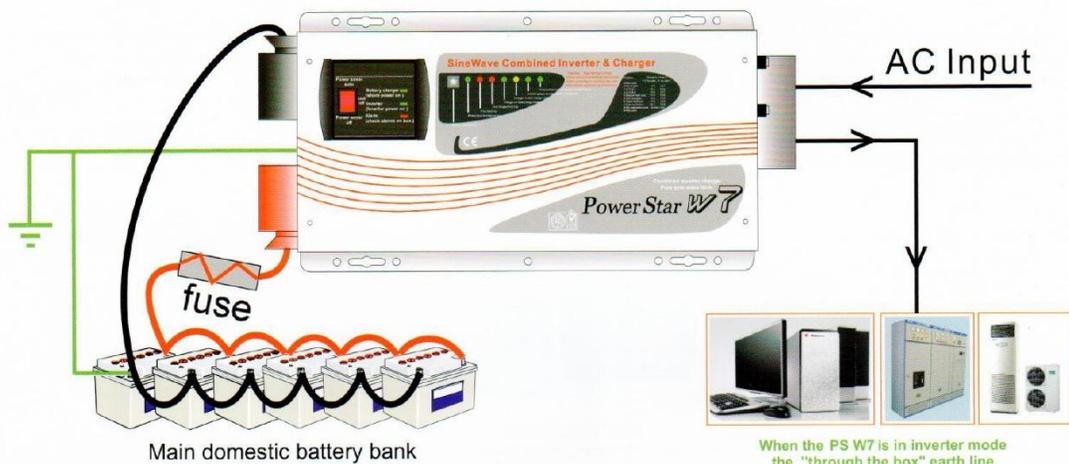
Models: 0612, 1012, 2012, 3012, 2024, 3024
0612E, 1012E, 2012E, 3012E, 2024E, 3024E
4024E, 5024E, 6024E, 4048E, 5048E, 6048E



Combined inverter & charger

Basic wiring for the Power Star W7 Series

Warning: High voltage, do not open unless qualified to do so; Please read instructions before working on this product.

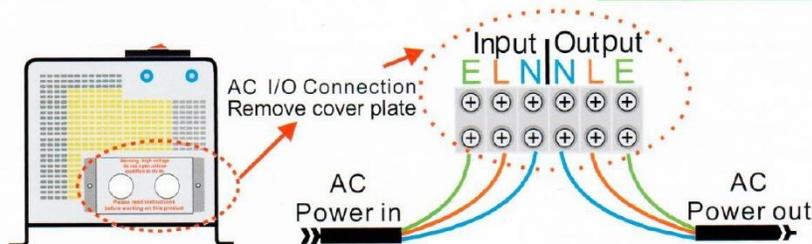
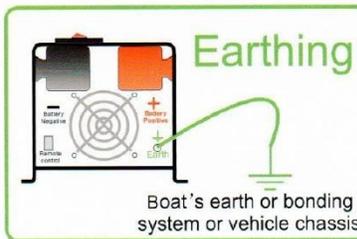


When the PS W7 is in inverter mode the "through the box" earth line is automatically disconnected from the input earth and joined to the output neutral, complying with the natural earth inverter requirements if you wish to maintain a through earth simply connect the input earth to the output earth

WHAT CABLE TO USE in mm²:

A charger or inverter	cable run distance 0 - 1.5m	cable run distance 1.5 - 4.0m
125-180 A	50 mm ²	70 mm ²
180-330 A	70 mm ²	90 mm ²

Please note that if there is a problem obtaining for example 90 mm² cable, use 2* 50 mm², or 3* 35 mm². One cable is always best but, cable is simply copper and all you require is the copper, so it does not matter if it is one cable or 10 cables as long as the square area adds up. Performance of any product can be improved by thicker cable and shorter runs, so if in doubt round up and keep the length as short as possible.



General specification

Input Wave form:	Sine wave(Utility or Generator)	
Nominal voltage:	120VAC	230VAC
Low voltage trip:	90v ± 4%	184v/154v ± 4%
Low voltage re engage:	100v ± 4%	194v/164v ± 4%
High voltage trip:	140v ± 4%	253v ± 4%
High voltage re engage:	135v ± 4%	243v ± 4%
Max input AC voltage:	150VAC	270VAC
Nominal input frequency:	50Hz or 60Hz (Auto detect)	
Low freq trip:	47 Hz for 50 Hz, 57Hz for 60Hz	
High freq trip:	55Hz for 50 Hz, 65Hz for 60Hz (Bypass mode) same as input	
Output wave form:	Circuit breaker	
Overload protection:	Circuit breaker	
Short circuit protection:	30 amp or 40 amp	
Transfer switch rating:	95%+	
Efficiency on line transfer mode:	10 ms Typical	
Line transfer time:	Yes	
Bypass without battery connected:	30 amp or 40 amp	
Max bypass current:	35 amp or 45 amp: Alarm	
Bypass over load current:	Pure sine wave or quasi sine wave	
Inverter specification / output		
Output wave form:	Pure sine wave or quasi sine wave	
Output continuous power watts:	1000 2000 3000 4000 5000 6000	
Output continuous power VA:	1000 2000 3000 4000 5000 6000	
Power factor:	0.9-1.0	
Nominal output voltage rms:	120/230VAC	
Output voltage regulation:	+/- 10% rms	
Output frequency:	50Hz ± 0.3Hz or 60Hz ± 0.3Hz	
Nominal efficiency:	>88%	
Surge ratings:	3000 6000 9000 12000 15000 18000	
Short circuit protection:	Yes, fault after 10 secs	
Inverter specification / input		
Nominal input voltage:	12v	24v 48v
Minimum start voltage:	10v	20v 40v
Low battery alarm:	10.5v	21v 42v
Low battery trip:	10v	20v 40v
High voltage alarm:	16v	32v 64v
Power saver:	Below 25 watts when enabled	
Power saver:	Same switched on/off on remote	
Charger mode specification		
Input voltage range:	95-127VAC	194-243VAC/ 164-243VAC(W)
Output voltage:	Dependent on battery type	
Charge current:	35A / 70A	
Battery initial voltage for start up:	0-15.7v for 12v(*2 for 24v; *4 for 48v)	
Over charge protection shutdown:	15.7v for 12v(*2 for 24v; *4 for 48v)	
Charger curves (4 stage constant current) battery types		
4 step digital controlled progressive charge		
Battery type:	Fast V	Float V(*2 for 24v; *4 for 48v)
Gel U.S.A	14.0	13.7
A.G.M. 1	14.1	13.4
A.G.M. 2	14.6	13.7
Sealed lead acid	14.4	13.6
Gel euro	14.4	13.8
Open lead acid	14.8	13.8
Calcium	15.1	13.6
De-sulphation	15.5 for 4 hrs	
Remote control / RS232 / USB	Yes. Optional	
Size: in mm	1000/2000/3000 Model:442*218*179mm'	
	4000/5000/6000 Model:598*218*179mm'	
Weight:	1000 2000 3000 4000 5000 6000	
	18kg 20kg 22kg 35kg 38kg 40kg	

Power star

Ordering Information

Typical part number ▶ PS W7 -S -20 -12 -E 00

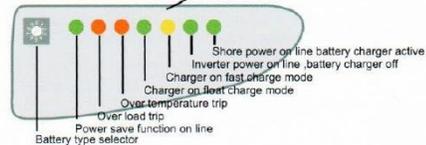
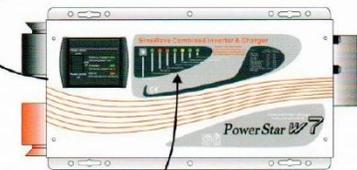
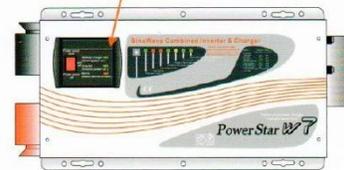
- Basic Series
PS W7 = Combined Inverter & Charger
- Waveform
S = Pure Sinewave Q = Quasi Sinewave
- Power Rating
10 = 1000W 20 = 2000W 30 = 3000W
40 = 4000W 50 = 5000W 60 = 6000W
- Battery Voltage
12 = 12VDC 24 = 24VDC 48 = 48VDC
- AC Voltage
E = 230VAC NC = 120VAC
- Suffixe
00 = Standard model 01 = Customer model

AC input current specification

Input C	SW Status
1A	SW ₁ ON
2A	SW ₁ +SW ₂ ON
3A	SW ₁ +SW ₂ +SW ₃ ON

Remote control installation

remove 4 screws holding this panel and disconnect the cable behind it



Indication & fault finding chart

Status	Function	L.E.D.s on main unit				L.E.D.s on remote			
		●	●	●	●	●	●	●	●
Charge Function	Constant current charge		on			on			on
	Constant voltage charge		flash			on			on
	Float		on			on			on
	Standby					on			
Inverter mode	inverter on					on			on
	Power saver on	on							
Alarms	Battery low voltage			on		beep 0.5 s	on	on	on
	Battery high voltage			on		beep 0.5 s	on	on	on
	Over load (inverter mode)	on		on		beep 0.5 s	on	on	on
	Over temp (inverter mode)	on		on		beep 0.5 s	on	on	on
	Over temp (line mode)	on		on		beep 0.5 s	on	on	on
	Over charge	on		on		beep 0.5 s	on	on	on
Fault Mode	Fan lock					beep continuous			
	Battery high voltage			on		beep continuous		on	on
	Inverter mode overload	on				beep continuous			
	Over temperature	on				beep continuous			
	Back voltage					flash			flash